

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

ПОГОДЖЕНО

Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження
(назва ННІ)

проф., д.т.н. _____ **В.В.**
Каплун
(підпис) (ПІБ)

« ____ » _____ 2026 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

В.о. завідувача кафедри автоматики
та робототехнічних систем
ім. акад. І.І. Мартиненка
(назва кафедри)

доц., к.т.н. _____ **О.О.**
Опришко
(підпис) (ПІБ)

« ____ » _____ 2026 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Дослідження і розробка комп'ютерно-інтегрованої системи керування виробництвом майонезу з використанням КТЗ ОВЕН»

Спеціальність:

174 — «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

(шифр і назва)

Освітня програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(назва)

Орієнтація освітньої програми: освітньо-наукова
(назва)

Гарант освітньої програми

_____ **Д.Т.Н., професор**
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Івашук В.В.
(П.І.Б)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

_____ **К.Т.Н., доцент**
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Кіктєв М.О.
(П.І.Б)

Виконав

_____ (підпис)

Якимець Б.Р.
(П.І.Б студента)

КИЇВ-2026

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри
автоматики та робототехнічних
систем ім. акад. І.І. Мартиненка
к.т.н., доц. О.О. Опришко

« _____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ**

Якимцю Богдану Романовичу

Спеціальність:

174— «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Орієнтація освітньої програми: освітньо-наукова

Тема магістерської кваліфікаційної роботи **«Дослідження і розробка
комп'ютерно-інтегрованої системи керування виробництвом
майонезу з використанням КТЗ ОВЕН»**

затверджена наказом від 28.11.2026 року №2057«С»

Термін подання студентом магістерської роботи 22.05.2026 року

Вихідні дані магістерської кваліфікаційної роботи: завдання кафедри на виконання магістерської кваліфікаційної роботи; нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації; матеріали дослідження, аналізу та моделювання; наукова література з тематики магістерської роботи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Офіційна настанова (завдання) від кафедри щодо змісту та обсягу магістерської роботи.
2. Чинні державні та галузеві нормативні документи, стандарти та правила, що стосуються проектування та впровадження систем автоматизації.
3. Зібрані та проаналізовані матеріали попередніх досліджень та аналітичних звітів.
4. Відповідна наукова та технічна література за темою магістерського проекту.

Дата видачі завдання «28» листопада 2024 року

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

(Підпис)

Кіктєв М.О.
(Прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(Підпис)

Якимеує Б.Р.
(Прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дипломна магістерська робота на тему «Дослідження і розробка комп'ютерно-інтегрованої системи керування виробництвом майонезу з використанням КТЗ ОВЕН», виконана Якимцем Богданом Романовичем за спеціальністю 174 - Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка, присвячена обґрунтуванню та практичній розробці структури і функціональних елементів системи автоматизації процесами маслозаводу для підвищення їхньої ефективності, стабільності та економічності. У ході дослідження було проведено системний аналіз існуючого обладнання, розроблено математичну модель та синтезовано алгоритми керування ключовими параметрами – температурою і рівнем. Запропоновано використання сучасного програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК-73, що дозволило створити функціональну та структурну схеми системи автоматизації, електричні схеми та програмну реалізацію контролеру.

Ключові слова: автоматизоване керування, маслозавод, гомогенізація, емульсія, ПЛК, регулятор, математична модель.

ABSTRACT

Master's thesis on the topic "Research and development of a computer-integrated mayonnaise production control system using the OWEN hardware", performed by Yakymets Bohdan in the specialty 174 - Automation, computer-integrated technologies and robotics, is dedicated to the justification and practical development of the structure and functional elements of the process automation system of a creamery to increase their efficiency, stability and cost-effectiveness. During the study, a system analysis of the existing equipment was conducted, a mathematical model was developed and algorithms for controlling key parameters - temperature and level were synthesized. The use of a modern programmable logic controller OWEN PLC-73 was proposed, which allowed creating a functional and structural diagram of the automation system, electrical diagrams and software implementation of the controller.

Keywords: automated control, creamery, homogenization, emulsion, PLC, regulator, mathematical model.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
Розділ 1. Характеристика виробництва продукції олійного заводу	8
1.1. Структура олійного заводу та його продукція	9
1.2. Підготовка окремих компонентів рецептурної сполуки	10
1.3. Приготування майонезної пасти	13
1.4. Приготування "грубої" майонезної емульсії	14
1.5. Гомогенізація емульсії майонезу	
Розділ 2. Математичне моделювання процесів при виробництві майонезу	18
2.1. Експериментальні дослідження процесів при виробництві майонезу	18
2.2. Обробка результатів експериментів	23
2.3. Побудова та дослідження динамічної моделі об'єкта керування	28
2.4. Загальні відомості про об'єкт регулювання	28
2.5. Перехідний процес	29
Розділ 3. Проектування системи автоматизації і дослідження її якості	32
3.1. Вибір технічних засобів автоматизації	32
3.2. Вибір алгоритму керування об'єктом	46
3.3. Оцінка якості автоматичних систем за стандартними показниками якості	48
Розділ 4. Розробка електричних схем автоматизації	51
4.1. Вибір пускозахисної апаратури проводів і кабелів	51
4.2. Принципова електрична схема	57
4.3. Розробка схеми з'єднань	59

4.4. Розробка схеми підключень	60
4.5. Розробка загального вигляду щита керування	62
4.6. Розрахунок надійності системи автоматичного керування	63
Розділ 5. Програмування логічного контролера	66
Розділ 6. Розрахунок техніко-економічної ефективності автоматизації систем виробництва майонезу	72
ВИСНОВОК	76
ЛІТЕРАТУРА	78
ДОДАТКИ	80
Додаток 1. Схема електрична з'єднань	80
Додаток 2. Сема електрична підключень	81
Додаток 3. Загальний вид щита керування	82
Додаток 4. Постер	83

ВСТУП

Актуальність теми. В умовах глобалізації ринків та посилення конкуренції, ефективність функціонування промислових підприємств, особливо харчової промисловості, безпосередньо залежить від рівня автоматизації виробничих процесів. Олійно-жировий комплекс України є однією з ключових галузей економіки, що потребує постійної модернізації для забезпечення стабільної якості продукції та зниження собівартості. Виробництво на олійному заводі характеризується складними технологічними процесами: від екстракції та рафінації олії до тонкого емульгування у майонезному цеху. Недостатній рівень автоматизованого керування цими процесами призводить до:

1. Нестабільної якості кінцевого продукту (через людський фактор та несвоєчасне реагування на відхилення параметрів).
2. Надмірних витрат ресурсів (енергія, сировина) через неоптимальні режими роботи обладнання.
3. Зниження продуктивності через простої та повільне переналагодження обладнання.

Розробка та впровадження сучасної системи автоматизованого керування технологічними процесами є критично важливим кроком для забезпечення енергоефективності, екологічності та конкурентоспроможності маслозаводу на сучасному ринку.

Метою дипломної роботи є теоретичне обґрунтування та практична розробка структури і функціональних елементів системи автоматизованого керування ключовими процесами на маслозаводі для підвищення їхньої ефективності, стабільності та економічності.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі **завдання**:

1. Провести аналіз існуючих технологічних процесів на олійному заводі (зокрема, процесу підготовки сировини, змішування та гомогенізації) з точки зору їх автоматизації.

2. Визначити основні об'єкти керування, технологічні параметри та необхідні засоби вимірювання.

3. Розробити математичні моделі ключових технологічних процесів, необхідні для синтезу алгоритмів керування.

4. Синтезувати та обґрунтувати вибір оптимальних алгоритмів автоматичного регулювання для підтримання заданих параметрів (температури, тиску, рівня, в'язкості).

5. Розробити функціональну та структурну схеми системи автоматизації, включаючи вибір апаратної бази (контролери, датчики, виконавчі механізми).

6. Оцінити очікувану техніко-економічну ефективність від впровадження розробленої системи автоматизації.

Об'єктом дослідження є технологічні процеси виробництва продукції у майонезному цеху.

Предметом дослідження є методи та засоби автоматизації, принципи побудови та функціонування системи автоматизованого керування технологічними процесами майонезного цеху .

У процесі роботи були використані такі методи:

- системний аналіз — для визначення функціональної структури об'єкта керування.
- теоретичні основи автоматичного керування — для синтезу та аналізу стійкості регуляторів і алгоритмів.
- математичне моделювання — для опису динаміки технологічних процесів та їхньої імітації.
- аналіз науково-технічної літератури та нормативної документації — для вибору апаратної бази та обґрунтування технічних рішень.

Дипломна робота складається зі вступу, 5 основних розділів, висновків, списку використаних 16 джерел та 2 додатків.

Розділ 1

Характеристика виробництва продукції майонезного цеху

1.1. Структура оліє-жирового комбінату та його продукція

Продукція оліє-жирового комбінату є дуже різноманітною і поділяється на кілька основних груп, які виробляються шляхом переробки насіння олійних культур (соняшник, соя, ріпак, льон тощо). Основні категорії продукції:

1. Рослинні олії - ключова продукція, це основний продукт, заради якого й існує завод:

- сира (нерафінована) олія - отримана після пресування або екстракції, яка не пройшла повного очищення. Використовується переважно для подальшої переробки;
- рафінована та дезодорована олія - очищена олія, яка втратила яскраво виражений смак, запах і має збільшений термін зберігання. Це олія, яку зазвичай купують у пляшках для смаження та салатів.

Відрізняють соняшникову, соєву, ріпакову, кукурудзяну та інші види. Олія холодного віджиму (менш поширена) - зберігає максимум корисних речовин, але має менший термін зберігання.

2. Продукція глибокої переробки жирів. Ці продукти виробляються у спеціалізованих цехах шляхом модифікації олій:

- майонези та майонезні соуси - емульсійна продукція на основі олії, яєчних продуктів, гірчиці, оцту та спецій;
- маргарини - емульсія жиру та води з добавками, отримана шляхом гідрогенізації олії. Використовується в кулінарії, хлібопеченні та кондитерському виробництві;
- спреди - суміш молочного жиру та рослинних олій, яка має меншу жирність, ніж вершкове масло;
- спеціалізовані жири — це жири для кондитерської, хлібопекарської промисловості, фритюрні жири тощо.

3. Побічна продукція (продукти переробки насіння), які є цінною сировиною, отриманою після видалення олії з насіння:

- шрот – високобілковий залишок після екстракції олії. Це основний компонент для виробництва комбікормів для тваринництва;
- макуха - залишок після пресування олії (менш глибока переробка, ніж шрот). Також використовується для годівлі сільськогосподарських тварин;
- лушпиння (лузга) - оболонка насіння, яка відокремлюється перед віджимом. Використовується як біопаливо (паливні гранули) або для виготовлення деяких будівельних матеріалів.

Отже, продукція маслозаводу варіюється від базової сировини (олії та шрот) до готових харчових продуктів (майонези, маргарини).

Технологічний процес виготовлення майонезу включає створення оптимальних умов, щоб отримати однорідну і стійку систему з майже нерозчинних компонентів, таких як олія і вода. При розробці цих умов враховуються фактори, такі як концентрація сухих компонентів, швидкість додавання олії та інтенсивність механічного впливу.

Виробництво майонезу складається з наступних стадій:

1. підготовка окремих компонентів рецептурної сполуки;
2. дозування компонентів і підготовка майонезної пасти (емульгуючої і структуруючої основи);
3. підготовка "грубої" емульсії;
4. підготовка тонкодисперсної емульсії (гомогенізація);
5. введення смакових і ароматичних добавок;
6. розфасовка продукції;
7. транспортування на склад та зберігання.

1.1. Підготовка окремих компонентів рецептурної сполуки

Сипучі компоненти, такі як сухе молоко, цукровий пісок, яєчний порошок, гірчичний порошок і сіль, просіюються через вібросита, на яких розміщені магніти для виловлення феромагнітних домішок. Відсутність грудочок у сухих компонентах призводить до збільшення їх здатності вбирати

вологу та розсіюватися під час набрякання, а також підвищує їх поверхнево-активні властивості та здатність емульгувати.

Прозорий сольовий розчин подається з солерозчинника до контейнера для приготування оцтово-сольового розчину. Вода додається до розчину залежно від потрібної концентрації, яка становить 13-15% для майонезів з високим вмістом жиру і 9-10% для низькокалорійних майонезів. Вакуум-насос вводиться також до цього контейнера і подає 80%-ний оцтовий кислоту в кількості, передбаченій рецептом. Концентрація оцтової кислоти в розчині повинна бути не більше 7 - 9 % для висококалорійних майонезів і не більше 5 - 6 % для низькокалорійних.

Якщо немає готового розчинника для солі, то суху сіль можна додавати безпосередньо в ємність з оцтово-сольовим розчином, яка оснащена мішалкою. Мішалка забезпечує перемішування розчину, щоб сіль повністю розчинилася..

Для уникнення небажаного гостро-кислого смаку в майонезі, спричиненого використанням 80%-ної оцтової кислоти, застосовують ароматизований оцет

Щоб уникнути неприємного гіркого присмаку в майонезі, гірчичний порошок підготовляють за таким методом. За 24 години до виготовлення майонезу, потрібну кількість гірчичного порошку розміщують у бачку з емальованої або нержавіючої сталі. Гірчичний порошок заливають гарячою водою (80-100 °C) у співвідношенні 1:2, добре перемішують до отримання однорідної консистенції і зрівнюють верхню поверхню гірчиці. На рівну поверхню гірчиці наливають шар гарячої води (100 °C) висотою 4-6 см. Бачок щільно закривають кришкою і залишають протягом доби. Потім верхній шар води зливають.

1.2. Приготування майонезної пасти

Одним з важливих умов для створення стійких емульсій є належна підготовка емульгаторів. Це включає отримання їх у вигляді однорідного колоїдного розчину з максимальною дисперсією, що забезпечує ефективну емульгуючу дію.

Яєчний порошок і сухе молоко є основними емульгаторами, які забезпечують необхідну стійкість емульсії.

Процес готування майонезної пасти включає розчинення сухих компонентів та їх змішування до отримання однорідної консистенції. Розчинення сухих компонентів відбувається у двох різних змішувачах: в одному змішувачі розчиняють сухе молоко з гірчичним порошком (якщо гірчичний порошок не був запарений раніше), а в іншому - яєчний порошок. Хоча можна розчиняти всі сухі компоненти разом у одному змішувачі, проте це не рекомендується, оскільки вони потребують різних температурних режимів обробки. При змішуванні пасти у одному змішувачі, продуктивність періодичної лінії виробництва майонезу зменшується, оскільки збільшується час, необхідний для готування пасти.

Під час приготування майонезної пасти використовуються два змішувачі для розчинення компонентів. Якщо гірчиця не була попередньо запарена у окремій ємності, процес розпочинається з її запарювання. В одному з малих змішувачів наливають гарячу воду (90-100 °C) і додають гірчичний порошок у співвідношенні 1:2-2,5. Потім вмикають мішалку й перемішують до отримання однорідної маси. До гірчичної маси додають теплу воду (35-40 °C), Співвідношення сухого молока й води залежить від типу майонезу: для жирних майонезів - 1:3, для нежирних - 1:4. Після завантаження всіх компонентів, мішалку вмикають і запускають пару в змішувачі. Для досягнення кращого розчинення компонентів та наступної пастеризації, температуру суміші підвищують до 90-95 °C і утримують при цій температурі протягом 20-25 хвилин, після чого суміш охолоджують до 40-45 °C.

Якщо гірчичний порошок був попередньо запарений, готову гірчичну масу додають у змішувач разом з іншими сухими компонентами перед пастеризацією. При цьому кількість води, яка була використана для запарювання гірчиці, враховується і додається до суміші

До другого змішувача додають яєчний порошок та воду, нагріту до температури 40 °C, у відношенні 1:(1,4-2) для висококалорійних майонезів та 1:(2,5-2,8) для майонезів зі зниженим вмістом жиру. Після цього запускають

мішалку, постачають пару у сорочку та підвищують температуру суміші до 60-65 °С, тримаючи при цій температурі протягом 20-25 хвилин. Для поліпшення дисперсності розчину періодично включають емульсатор у зворотному напрямку разом зі змішувачем. Після закінчення 20-25 хвилин розчин охолоджують до 30-40 °

Отримані розчини яєчного порошку і сухого молока з іншими компонентами можна змішувати у будь-якому співвідношенні за допомогою малих змішувачів шляхом перекачування розчину.

При приготуванні майонезної пасти в одному змішувачі, процес розчинення компонентів розпочинається з запарювання гірчиці, якщо вона не була попередньо підготовлена.

У змішувач для готування майонезної пасти додається гаряча вода з температурою 90-100°C і гірничий порошок у співвідношенні (2-2,5):1 відповідно. Ретельно перемішується до отримання однорідної маси. Потім до отриманої гірничої маси додаються вода з температурою 35-40°C, сухе молоко у співвідношенні 3:1 для висококалорійних майонезів і 4:1 для майонезів зі зниженим вмістом жиру, бікарбонат натрію, цукор-пісок і кукурудзяний фосфатний крохмаль. При ретельному перемішуванні вся суміш утримується при температурі 90-95°C протягом 20-25 хвилин.

Після розчинення й пастеризації суміші, її прохолоджують до температури 40-45 °С, і до змішувача додають воду і яєчний порошок у співвідношенні (1,4-2):1 для висококалорійних майонезів і (2,5-2,8):1 для майонезів зі зниженим вмістом жиру. Потім температуру суміші підігрівають до 60-65 °С і утримують при цій температурі протягом 20-25 хвилин. Щоб покращити дисперсність окремих компонентів пасти, розчин періодично (кожні 5 хвилин) пропускають через емульсатор у зворотному напрямку в змішувачі. Після цього отриману майонезну пасту прохолоджують до температури 30-40°C і передають у великий змішувач для готування "грубої" майонезної емульсії..

Для ефективної емульгуючої й стабілізуючої дії компонентів, таких

як гірчичний порошок, яєчний порошок, сухе молоко, важливо враховувати їхню готовність. Рекомендується докладно розтерти гірчицю, щоб уникнути наявності ненабряклих часток і грудочок. Те ж саме стосується і сухого молока та яєчного порошку. При їхньому змішанні повинне бути досягнуте ретельний взаємний розподіл. Це досягається шляхом змішування їх у змішувачі з пароводяною сорочкою, яка має мішалку для інтенсивного диспергування.

Готовність пасти можна визначити візуально, спостерігаючи за пробою, яка відбирається під час змішування. Проба пасти, нанесена на дерев'яну пластинку, повинна мати однорідну консистенцію. Час перемішування залежить від готовності пасти й підготовленості окремих компонентів до змішання.

Майонезна паста для високожирних майонезів повинна містити не менше 37-38% сухих речовин, тоді як для майонезів з меншим вмістом жиру ця концентрація повинна бути не менше 32-34%.

1.3. Приготування "грубої" майонезної емульсії

Для створення "грубої" емульсії використовуються більші змішувачі з мішалками рамного типу або з приводом, що дозволяє регулювати швидкість обертання. Ці змішувачі забезпечують низьку частоту обертання, що сприяє ефективному змішуванню. Важливо, щоб мішалки рівномірно перемішували компоненти в усіх шарах змішувача і уникати зон затримок чи застою.

Після підготовки майонезної пасти в малих змішувачах, її перекачують у великий змішувач. У великому змішувачі, при постійному перемішуванні, додають рослинну олію (20-25 °C) в необхідній кількості згідно рецепту. Протягом перших 7-10 хвилин олію додають повільно (4-6 л/хв), а потім з більшою швидкістю (10-12 л/хв). Можна розпочати додавання олії за 3-7 хвилин до завершення перекачування всієї майонезної пасти у великий змішувач. Щоб забезпечити рівномірний розподіл олії, вона подається у великий змішувач через спеціальний розподільник, який має дірки і нагадує змійовик.

Після завершення процесу зливу олії, у змішувач подається заздалегідь приготовлений розчин солі й оцту зі спеціального бачка при швидкості 6-8

літрів на хвилину. Після цього додають розчинні спеції. Важливо зауважити, що нерозчинні в емульсії спеції, а також смакові й ароматичні добавки, повинні бути додані після гомогенізації емульсії.

Необхідно дотримуватися точного порядку при додаванні олії та оцтово-сольового розчину до майонезної пасти. Це важливо, оскільки неправильне або швидке додавання може призвести до утворення зворотної емульсії, а на певному етапі емульгування - до роз'єднання фаз.

Отримана "груба" емульсія в змішувачі повинна мати тип "олія у воді" і бути стійкою, щоб не розшаровуватися під час проходження через гомогенізатор. Візуально така емульсія повинна мати однорідний вигляд і не розділятися на шари під слабким перемішуванням.

1.4. Гомогенізація емульсії майонезу

Останнім кроком у процесі виготовлення якісного майонезу є гомогенізація, яка здійснюється за допомогою поршневих гомогенізаторів. Гомогенізація емульсії майонезу є важливою і проводиться з урахуванням належного тиску. Тиск у гомогенізаторі регулюється шляхом налаштування проміжку в гомогенізуючій голівці.

Під час введення емульсії в гомогенізатор, встановлюється оптимальний тиск, який гарантує отримання майонезу з потрібною консистенцією. Поки не досягнуто необхідного тиску, майонез повертається з гомогенізатора до великого змішувача. Оптимальний тиск для висококалорійних майонезів знаходиться у діапазоні 0,90 - 1,1 МПа, а для низькокалорійних майонезів - у діапазоні 15,0 - 17,5 МПа.

У великому змішувачі рекомендується проводити слабе перемішування емульсії, оскільки інтенсивне перемішування може спричинити руйнування або розшарування емульсії, а довгий період без перемішування також може призвести до розшарування фаз.

Після досягнення необхідного тиску, готовий майонез з гомогенізатора перекачують до контейнера або ємності для готового майонезу.

Відхилення від оптимального тиску для певної концентрації емульсії

може мати наслідки. При перевищенні тиску, адсорбційні плівки, які утворюються між олійною й водною фазами, можуть бути руйновані, що призводить до злиття цих фаз (коалесценції). З іншого боку, при зниженні тиску не досягається достатньої диспергування фаз, що утруднює отримання тонко-диспергованої й стійкої емульсії.

Під час експлуатації поршневих гомогенізаторів важливо уникати втягування повітря і його накопичення під клапанами. Це може спричинити несправність клапанів і негативно позначитися на роботі гомогенізатора в цілому. Тому необхідно забезпечити належну герметичність гомогенізатора та уважно контролювати процес роботи, щоб уникнути втрати ефективності і забезпечити його нормальне функціонування..

При приготуванні майонезу з прянощами та смаковими добавками, ці інгредієнти додають у великий змішувач перед тим, як ввести розчин оцту й солі.

Оцтовокислі екстракти прянощів додаються вручну одночасно з розчином оцту у вигляді масляних розчинів. Ці розчини готуються у співвідношенні 1:100 або 1:50.

Технологічна схема зображена на рис. 1.1.

Цифрами позначено: 1 - Бункер з гірчичним порошком, 2 - Пластичний теплообмінник, 3 - Чани з олією, 4 - Резервуар з водою, 5 - Бункер з сухим молоком, 6 - Бункер з яєчним порошком, 7 - Бункер з цукром, 8 - Змішувачі малі, 9 - Змішувач великий, 10 – Гомогенізатор, 11 - Дозаторні бункери, 12 - Розливний апарат, 13 - Закаточний станок, 14 - Пакувальний станок.

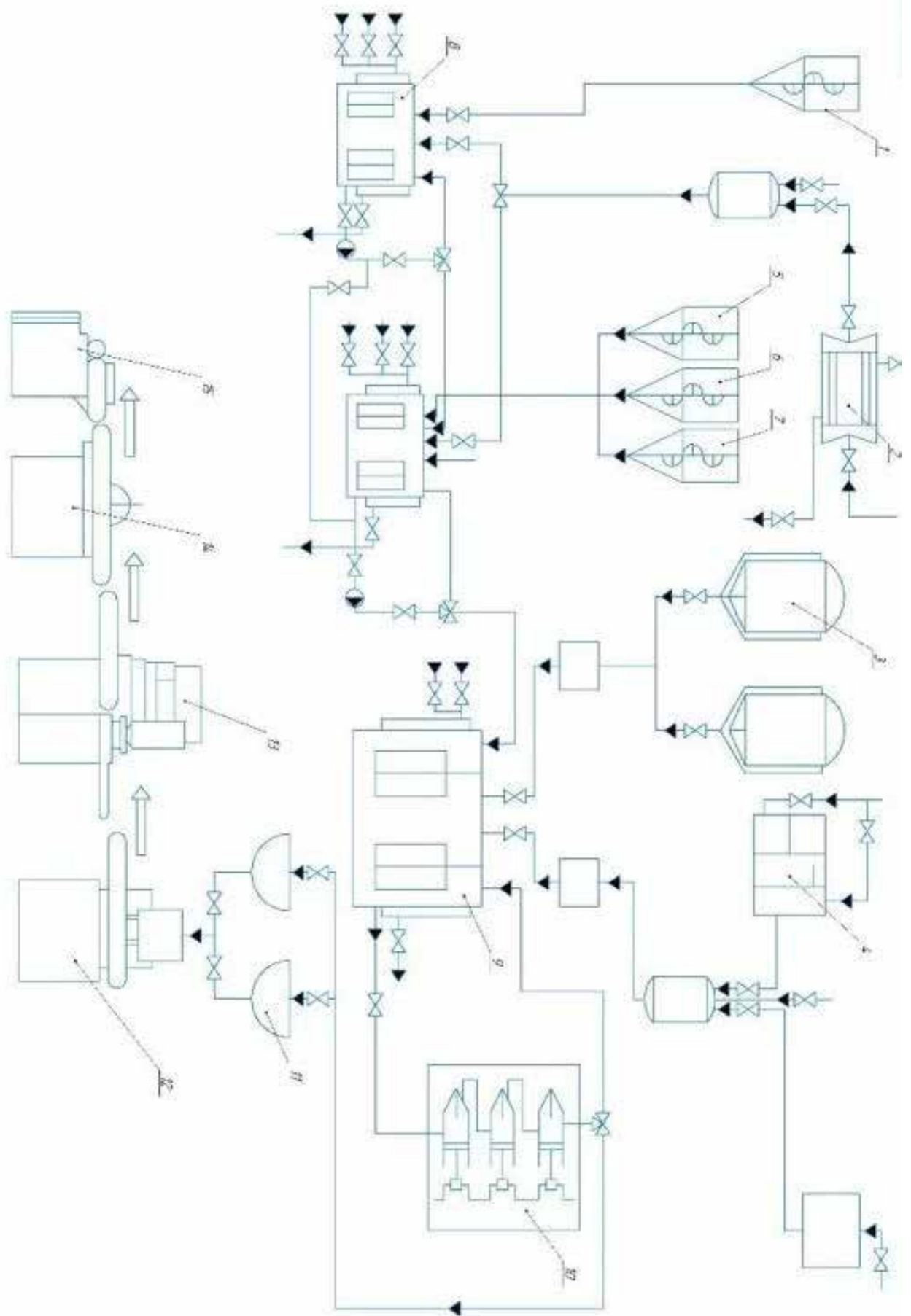


Рисунок 1.1. Технологічна схема

Процес виготовлення майонезу буде автоматизовано за допомогою великого теплообмінного змішувача, який на технологічній схемі позначений цифрою 9.

Функціональна схема автоматизації позначена на рис. 1.2.

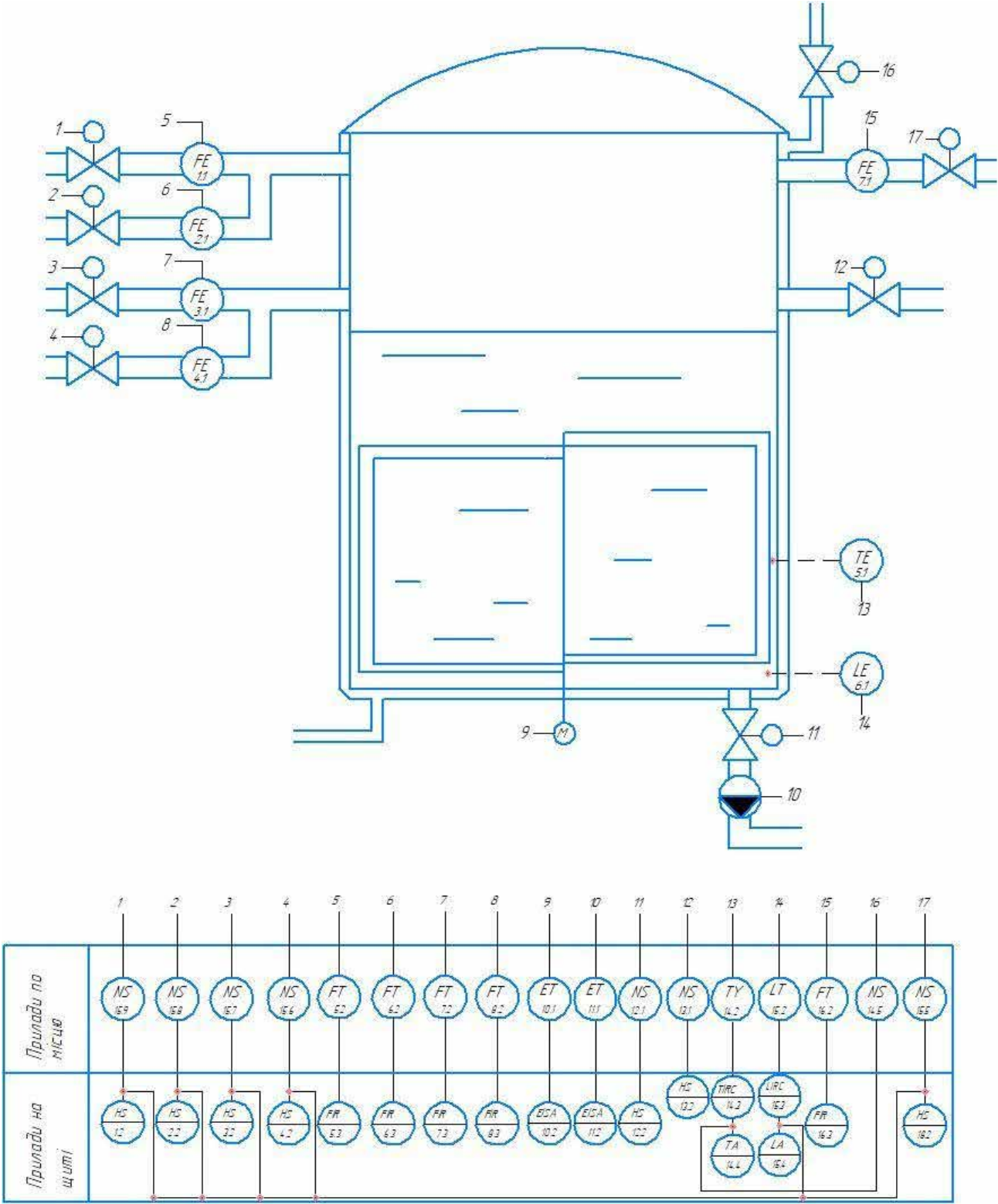


Рисунок 1.2 Функціональна схема автоматизації теплообмінного змішувач

Розділ 2

Математичне моделювання процесів при виробництві майонезу

2.1. Експериментальні дослідження процесів при виробництві майонезу

У роботі [3] було виконано реологічний аналіз водних розчинів низки природних камедей (зокрема, ксантану, гуару та ріжкового дерева), а також їхніх комбінацій. Метою цих експериментів було встановлення доцільності застосування зазначених камедей як ефективних стабілізаторів для майонезних емульсій. Для оцінки їхньої стабілізуючої здатності, спочатку досліджувалися водні розчини камедей у діапазоні концентрацій від 0,1 % до 1,0 %. На підставі отриманих даних були побудовані реологічні криві течії розчинів, які детально проілюстровані на рис. 2.1–2.5.

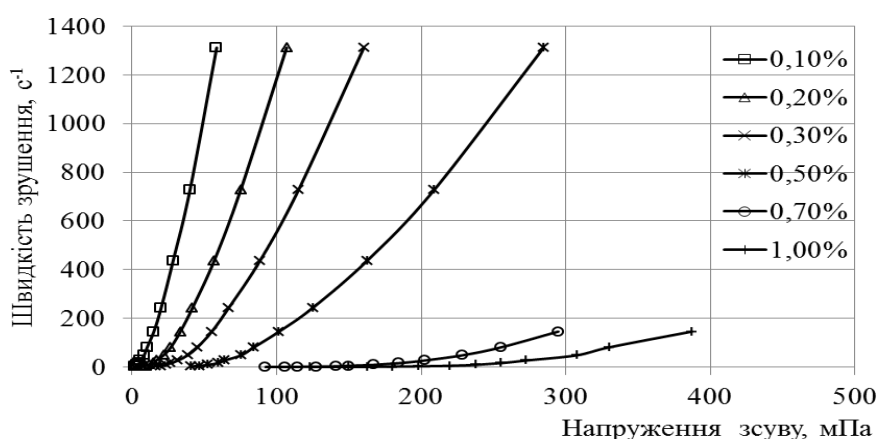


Рисунок 2.1 – Реологічні криві течії водного розчину камеді ксантану [3]

У джерелі [3] підтверджено, що водні розчини ксантанової камеді демонструють поведінку неньютонівських рідин. Цей висновок базується на нелінійному характері залежності швидкості зсуву від напруги зсуву. Шляхом графічного та аналітичного аналізу були визначені ключові реологічні параметри цих розчинів, включаючи напругу зруйнованої та незруйнованої структури, а також умовну межу плинності. Важливим відкриттям є те, що водні розчини ксантанової камеді виявляють тиксотропні властивості. Це означає, що їхня в'язкість тимчасово знижується під впливом механічного

навантаження (зсуву) і повністю відновлюється до початкового рівня після припинення дії напруження. Ця властивість наочно відображена на рисунку 2.2 у вигляді так званої "петлі гістерезису".

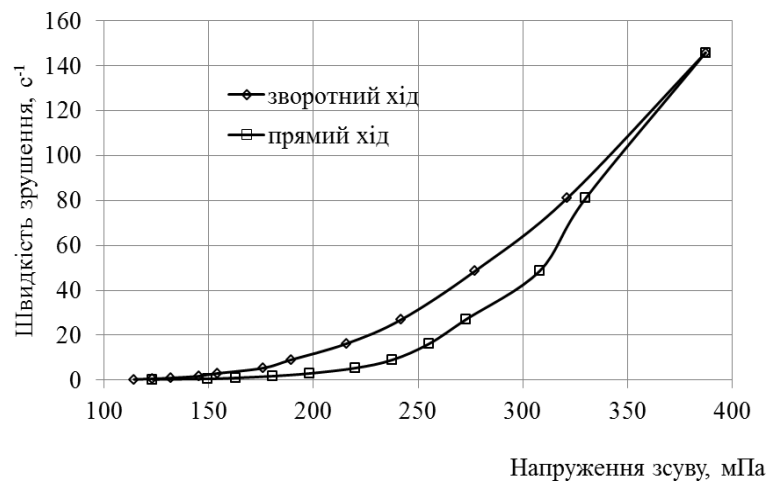


Рисунок 2.2 – «Петля гістерезису» водного розчину камеді ксантану [3]

Автори публікації [3] наочно продемонстрували (див. рис. 2.2), що для ксантанової камеді спостерігається "петля гістерезису": для досягнення певної швидкості зсуву необхідна вища напруга зсуву при первинному прикладанні навантаження (прямий хід), ніж при його подальшому зниженні (зворотний хід).

На відміну від ксантану, водні розчини камеді гуару виявляють неньютонівську поведінку лише при вищих концентраціях – а саме, понад 0,5 % (мас.). Якщо ж концентрація гуарової камеді не перевищує 0,5 %, її розчини поведуться майже як ньютонівські рідини, демонструючи практично лінійну залежність між швидкістю та напругою зсуву. Ці залежності ілюструються на рисунку 2.3.

Крім того, подальші дослідження виявили явище синергізму при спільному використанні камедей ксантану та гуару. Їхнє змішування призводить до різкого зростання в'язкості (зменшення швидкості зсуву при однаковій нарузі), що підтверджується даними на рисунку 2.4. Цей синергетичний ефект є важливим для технології стабілізації.

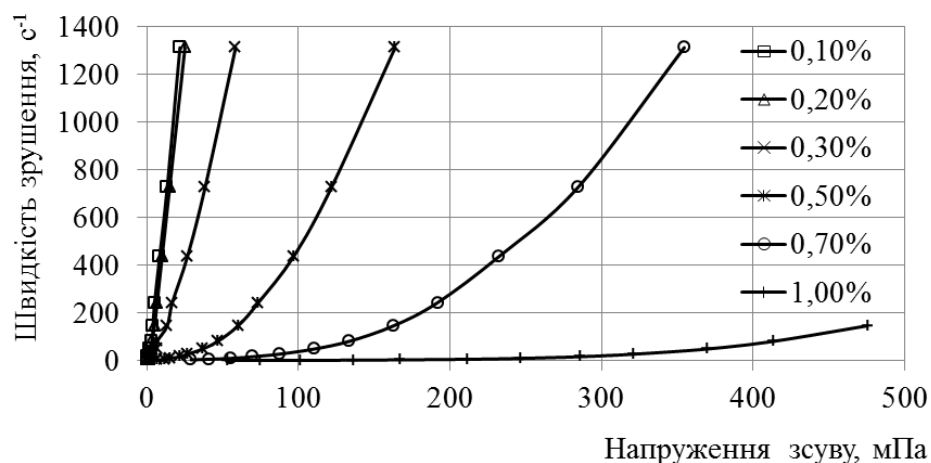


Рисунок 2.3 – Реологічні криві течії водного розчину камеді гуару [3].

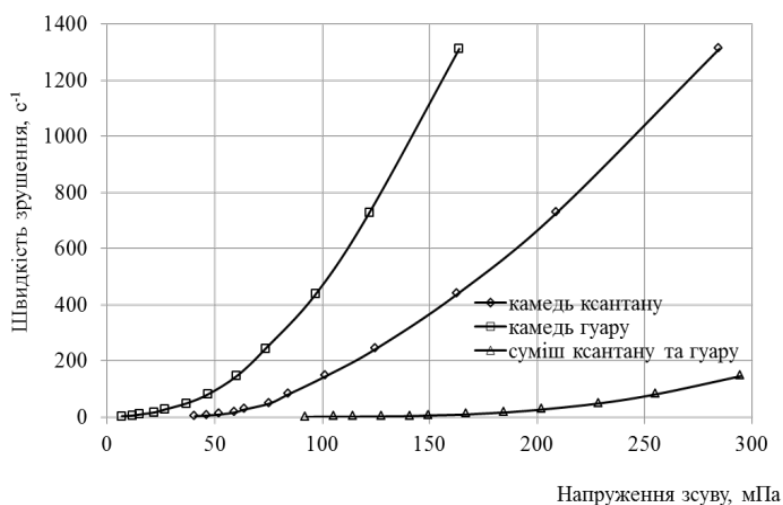


Рисунок 2.4 – Реологічні криві камеді ксантану (0,5 % мас.), гуару (0,5 % мас.) та їх суміші (0,25 % мас. камеді гуару + 0,25 % мас. камеді ксантану) [3].

Дослідження [3] наочно ілюструють потужний синергізм: при напруженні 300 мПа, швидкість зсуву в розчині ксантану ($>1300\text{с}^{-1}$) майже в дев'ять разів вища, ніж у суміші ксантану з гуаром ($\approx 150\text{с}^{-1}$), що свідчить про значне збільшення в'язкості останньої. З огляду на те, що ксантанова камедь здатна до синергічної взаємодії з усіма галактомананами (включно з камедями гуару та ріжкового дерева), подальше вивчення реологічних властивостей суміші ксантану та камеді ріжкового дерева також було здійснено, і його результати представлені на рисунку 2.5.



Рис. 2. 5 – Реологічні криві течії водних розчинів камеді рожкового дерева.

Згідно з рис. 2.5, розчини камеді ріжкового дерева демонструють неньютонівську поведінку лише тоді, коли їхня концентрація перевищує поріг у $\approx 0,7\%$; при менших значеннях залежність швидкості зсуву від напруги залишається лінійною. Важливо відзначити, що при змішуванні ксантанової камеді з камеддю ріжкового дерева синергічний ефект щодо збільшення в'язкості, виявлений із камеддю гуару, не спостерігається.

Для кількісної характеристики кожної камеді були визначені її ключові реологічні показники (індекс течії, напруження зруйнованої та незруйнованої систем, а також відповідні в'язкості), які для 1% розчинів наведені в табл. 2.1.

Додатково, для встановлення впливу температурного режиму на властивості цих гідроколоїдів, було виконано їхнє реологічне дослідження в діапазоні температур від 20°C до 80°C (див. рис. 2.6).

Таблиця 2.1. Характеристичні величини розчинів рослинних камедей [3]

Показник	Камедь ксантану	Камедь гуару	Камедь рожкового дерева
Напруження практично незруйнованої системи, Н/м ²	154	78	35
В'язкість практично незруйнованої системи, мПа/с	11,4	19,1	9,5
Напруження практично зруйнованої системи, Н/м ²	265	330	305
В'язкість практично зруйнованої системи, мПа/с	0,58	0,53	0,16
Індекс течії	0,17	0,83	0,59

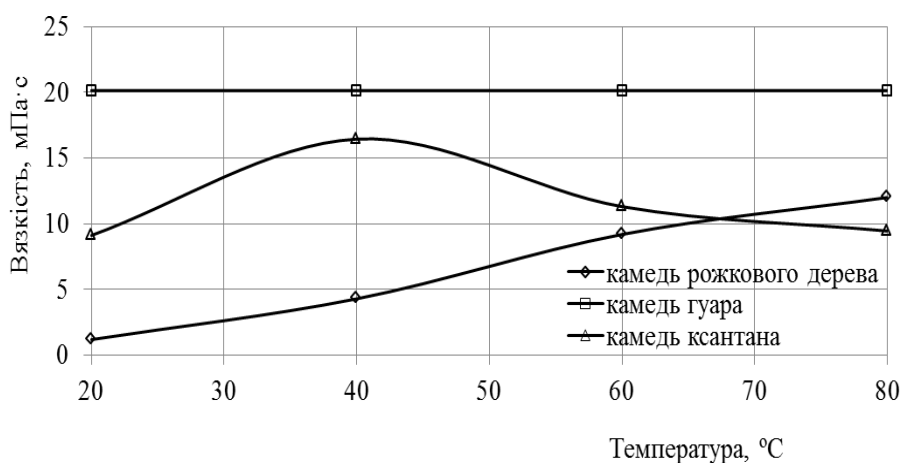


Рисунок 2.6 – Залежність ефективної в'язкості для камедей ксантану, гуару та рожкового дерева від температури [3].

Встановлено, що в'язкість водних розчинів камедей з підвищенням температури змінюється по-різному. Так, в'язкість водного розчину камеді гуару не змінюється під час збільшення температури, в в'язкість розчинів

камеді рожкового дерева підвищується зі збільшенням температури. Така поведінка свідчить про зміцнення структури, яка утворюється в розчині при підвищенні температури.

Разом з тим, водний розчин камеді ксантану характеризується залежністю яка має максимум при температурі розчину 40 °С. Така поведінка пояснюється тим, що при підвищенні температури до 40 °С структура, яка утворилась у розчині, поступово зміцнюється, після чого подальше підвищення призводить до зменшення взаємодії між окремими ділянками структури або між окремими ланцюгами камеді, в результаті чого в'язкість такого розчину починає поступово зменшуватися.

Виходячи з одержаних результатів виявлено, що температура 40°C є раціональною температурою для приготування розчинів камеді ксантану, оскільки в такому разі у розчинів утворюється структура, яка характеризується максимальною міцністю та забезпечує найбільшу в'язкість системи.

2.2. Обробка результатів експериментів

Далі представлені результати експериментального вивчення модельних емульсій, до складу яких були введені різні рослинні камеді. У процесі цих досліджень було встановлено, як ці добавки впливають на стійкість модельних емульсій, і розроблені математичні залежності, що дозволяють обчислювати в'язкість емульсій як функцію вмісту в них камедей. Крім того, в цьому розділі обґрунтовується найбільш раціональний спосіб введення рослинних камедей безпосередньо у майонезні емульсії.

З метою оцінки потенціалу рослинних камедей як стабілізаторів водно-олійних емульсій та визначення впливу їхньої концентрації на загальну стабільність системи, було проведено серію експериментів. У дослідженнях використовувалася модельна суміш, що містила 35 % олії. Така концентрація

жирової фази відповідає вмісту олії у низькожирних видах майонезу. Детальні рецептури використаних модельних сумішей наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Рецептури модельних сумішей [3]

Компонент	Кількість внесення компонентів, (г) для зразків					
	1	2	3	4	5	6
Рослинна олія	35	35	35	35	35	35
Вода	65	65	65	65	65	65
Яєчний жовток	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Концентрат молочного білку	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Камедь ксантану	-	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30
Камедь гуару	-	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
Камедь рожкового дерева	-	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Модельні емульсії готувалися в лабораторних умовах за допомогою гомогенізатора, працюючого на швидкості обертання мішалки в діапазоні 3000 до 5000хв⁻¹. Стійкість отриманих емульсій була оцінена відповідно до вимог ДСТУ 4560, результати чого наведено на Рисунку 2.7 .

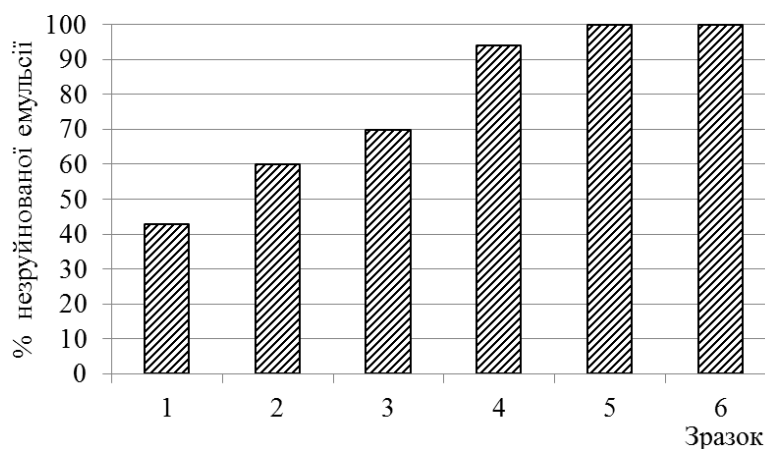


Рисунок 2.7 – Стійкість модельних емульсій з додаванням камедей ксантану, гуару та камеді рожкового дерева.

Аналіз даних (рис.2.7) показав, що необхідна, згідно з нормативною документацією, стійкість емульсії досягається лише у зразках №4, №5 та №6. Однак, зразок №6 мав надмірно міцну структуру, нехарактерну для кінцевого майонезного продукту. Виходячи з цього, було встановлено, що раціональна концентрація суміші камедей для низькожирного майонезу (35% жиру) знаходиться у межах 0,55–0,65%. При цьому слід враховувати, що через наявність додаткових руйнівних компонентів (солі, оцтової кислоти тощо) у промисловій рецептурі, може виникнути потреба у незначному збільшенні цієї кількості.

Додатково було доведено, що в'язкість зразків плавно зростає від першого до шостого зразка. Ця залежність стала підставою для проведення дрібно-факторного експерименту, спрямованого на визначення точного впливу різних камедей на в'язкість модельних емульсій. Метою цього етапу було отримання математичної залежності, здатної прогнозувати в'язкість системи як функцію від вмісту доданих рослинних камедей. Змінними факторами (факторами варіювання) були обрані концентрації камедей ксантану, гуару та ріжкового дерева, а також вміст води в емульсії. За результатами 20 проведених експериментів методом дрібно-факторного планування [3] була побудована відповідна математична залежність.

Встановлено [3], що регламентована нормативною документацією стійкість емульсії забезпечується для четвертого, п'ятого та шостого зразків. Разом з тим, відмічається, що емульсія, яка утворена в шостому зразку відрізняється дуже міцною структурою, яка не властива майонезам. Виходячи з цього, раціональною кількістю суміші камедей для майонезів з вмістом жиру 35 % слід вважати 0,55-0,65 %. Разом з тим, оскільки в майонези, окрім олії, води та емульгаторів додають ще значну кількість рецептурних компонентів, які можуть сприяти руйнуванню емульсії (сіль, оцтова кислота та ін.), отже ця кількість може бути збільшена.

Доведено, що в'язкість зразків збільшується при переході від першого зразка до шостого. Виходячи з цього, в подальшому проведено дрібно-

факторний експеримент для визначення впливу камедей на в'язкість модельних емульсій та одержання математичної залежності, яка б дозволяла прогнозувати в'язкість системи у залежності від кількості доданих рослинних камедей. Як фактори варіювання використано вміст камедей ксантану, гуару та рожкового дерева, а також вміст води в емульсії. За результатами проведення 20 експериментів методом дрібно-факторного експерименту побудовано залежність [3]

$$Y = 13.298 + 2.56 \cdot C_{\text{ксан}} + 4,84 \cdot C_{\text{гуар}}, \quad (2.1)$$

Аналіз отриманої залежності (1), де Y позначає в'язкість емульсії у Па·с, а $C_{\text{гуар}}$ та $C_{\text{ксан}}$ — концентрації камедей гуару та ксантану відповідно, дозволив зробити висновок, що ключовий вплив на в'язкість емульсії мають лише концентрації камедей гуару та ксантану. Інші змінні, введені в експериментальний план (такі як вміст води та концентрація камеді ріжкового дерева), не чинять значного впливу на в'язкість. Проте, подальші дослідження (розділ 5) показали, що камедь ріжкового дерева необхідна для формування відповідної текстури і, у поєднанні з іншими камедами, забезпечує загальну стійкість майонезних емульсій.

Для досягнення необхідної в'язкості та стійкості критично важливим є рівномірний розподіл усіх компонентів, особливо емульгаторів та стабілізаторів. Введення рослинних камедей становить технологічну складність, оскільки, будучи водорозчинними, вони часто утворюють небажані грудочки, що перешкоджає їхньому гомогенному розподілу. Для уникнення цієї проблеми, на основі проведених досліджень, було запропоновано вводити камеді у вигляді суспензії, попередньо змішавши їх із частиною рецептурної рослинної олії. Цей метод забезпечує їхнє рівномірне диспергування.

З метою встановлення раціонального співвідношення між різними рослинними камедами, яке б забезпечувало оптимальні органолептичні характеристики, було застосовано симплекс-гратчастий план Шеффе. Як

незалежні параметри у цьому дослідженні використовувалися концентрації трьох видів камедей, а функцією відгуку виступав відносний бал органолептичної оцінки. Додатково контролювалася в'язкість емульсії. Після обробки експериментальних даних отримано математичні залежності (2.2) та (2.3), які дозволяють прогнозувати в'язкість майонезної емульсії, а також кількісно оцінювати її органолептичні показники [3].

$$B = 3 \cdot C_{\text{гуар}} + 3 \cdot C_{\text{ксант}} + 2 \cdot C_{\text{рожок}} + 6,75 \cdot C_{\text{гуар}} \cdot C_{\text{ксант}} + 4,5 \cdot C_{\text{гуар}} \cdot C_{\text{рожок}} - \quad (2.2)$$

$$- 2,25 \cdot C_{\text{ксант}} \cdot C_{\text{рожок}} + 6,75 \cdot C_{\text{гуар}} \cdot C_{\text{ксант}} \cdot (C_{\text{гуар}} - C_{\text{ксант}}) + 4,5 \cdot C_{\text{гуар}} \cdot C_{\text{рожок}} \cdot (C_{\text{гуар}} - C_{\text{рожок}}) + 11,25 \cdot C_{\text{ксант}} \cdot C_{\text{рожок}} \cdot (C_{\text{ксант}} - C_{\text{рожок}}) + 9 \cdot C_{\text{гуар}} \cdot C_{\text{ксант}} \cdot C_{\text{рожок}},$$

$$\eta = 24 \cdot C_{\text{гуар}} + 16,5 \cdot C_{\text{ксант}} + 15,3 \cdot C_{\text{рожок}} + 14,175 \cdot C_{\text{гуар}} \cdot C_{\text{ксант}} + 1,8 \cdot C_{\text{гуар}} \cdot C_{\text{рожок}} - \quad (2.3)$$

$$- 3,825 \cdot C_{\text{ксант}} \cdot C_{\text{рожок}} + 24,975 \cdot C_{\text{гуар}} \cdot C_{\text{ксант}} \cdot (C_{\text{гуар}} - C_{\text{ксант}}) + 13,5 \cdot C_{\text{гуар}} \cdot C_{\text{рожок}} \cdot (C_{\text{гуар}} - C_{\text{рожок}}) + 12,825 \cdot C_{\text{ксант}} \cdot C_{\text{рожок}} \cdot (C_{\text{ксант}} - C_{\text{рожок}}) - 47$$

де B – відносний бал, який відображає органолептичні характеристики майонезу; η – в'язкість при $3,0 \text{ с}^{-1}$, $\text{Па} \cdot \text{с}$; $C_{\text{гуар}}$ – концентрація камеді гуару, %; $C_{\text{ксант}}$ – концентрація камеді ксантану, %; $C_{\text{рожок}}$ – концентрація камеді рожкового дерева, %.

Більш наочно отримані залежності (2, 3) представлено на Рисунок 2.8

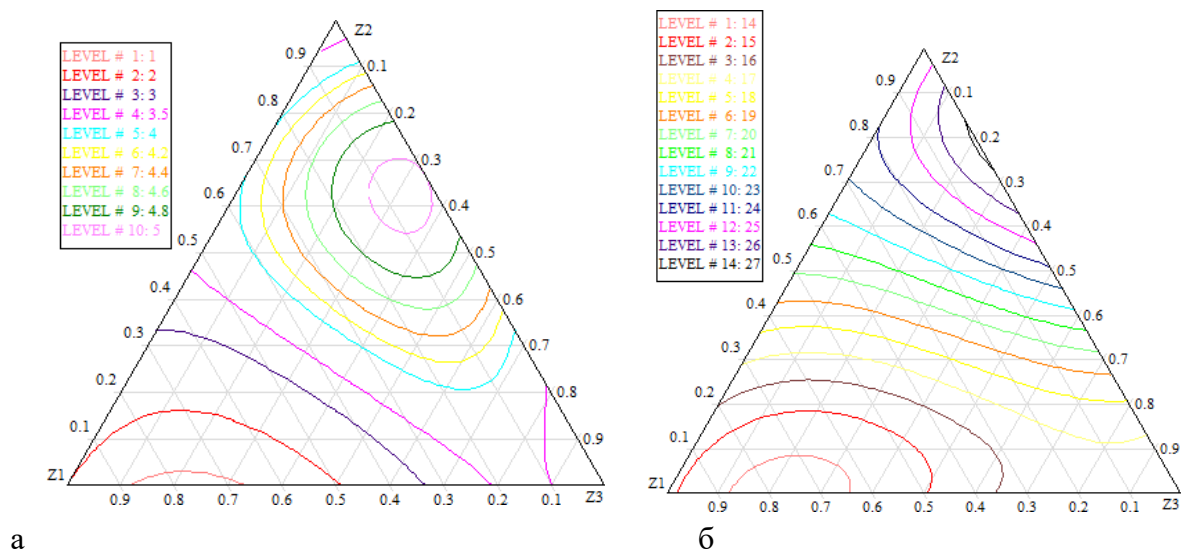


Рисунок 2.8 – Діаграми склад-властивість, які відображають залежність органолептичних характеристик (а) та в'язкості майонезних емульсій (б) від співвідношень компонентів стабілізатору [3].

Таким чином, обґрунтовано раціональне співвідношення рослинних

камедей в комплексному стабілізаторі має становити: камедь ксантану – 20 %; камедь гуару – 70 %, камедь рожкового дерева – 10 %. Саме таке співвідношення забезпечує необхідні органолептичні характеристики та в'язкість майонезної емульсії.

2.3. Побудова та дослідження динамічної моделі об'єкта керування

Математичне моделювання, є методом вивчення процесів та явищ шляхом створення їх математичних моделей та подальшого аналізу цих моделей, часто використовується з обчислювальної техніки.

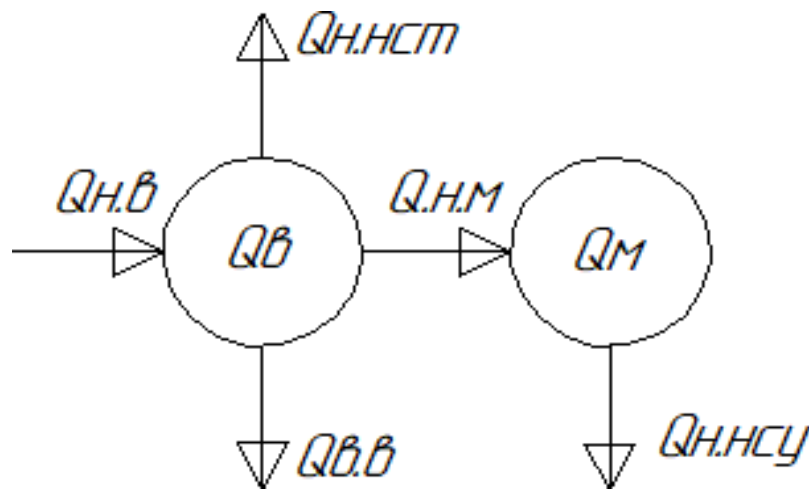


Рисунок 2.9. Схема теплових потоків при нагріванні майонезу $Q_{н.в}$ – теплота нагрітої води

$Q_{в.в}$ – теплота яка виходить із водою

$Q_{н.нст}$ – теплота яка виділяється на нагрівання навколишнього середовища.

$Q_{н.м}$ – теплота яка виділяється для нагріву майонезу

$Q_{н.нсу}$ – теплота яка виділяється на нагріву навколишнього середовища установкою.

2.4. Загальні відомості про об'єкт регулювання

Теплообмінна установка для готування майонезу має такі параметри: об'єм камери становить - 3 м³, об'єм майонезу, який може бути у цій камері становить - 1 м³, рамкова мішалка має швидкість обертання - 2400 об/хв, висота резервуару - 1.7 м, поверхня має площу теплопередачі - 7.82м².

Температура води, яка використовується для нагрівання, становить 90°C , температура всіх компонентів для приготування майонезу - 15°C . У системі циркулює 120 л води, а продуктивність насоса складає 600 л/год.

Теплоємність води становить $4100 \text{ Дж/кг}^{\circ}\text{C}$, густина води - 990 кг/м^3 , коефіцієнт теплопровідності води дорівнює $0.55 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$. Коефіцієнт теплопровідності майонезу складає $0.2 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$, а його теплоємність – $3814 \text{ Дж/кг}^{\circ}\text{C}$, густина майонезу – 933 кг/м^3 .

2.5. Перехідний процес

Перший етап створення системи автоматичного керування (САК) для виготовлення майонезу є проведення досліджень, що спрямовані на вивчення характеристик об'єкта керування. Одним з головних результатів цих досліджень є отримання передатної функції об'єкта керування.

На підприємстві була отримана характеристика, яка відображає залежність регульованої температури в теплообміннику (змішувачі) від часу при його запуску. Ця характеристика називається "крива розгону". Вона вказує, як швидко змінюється температура в залежності від часу.

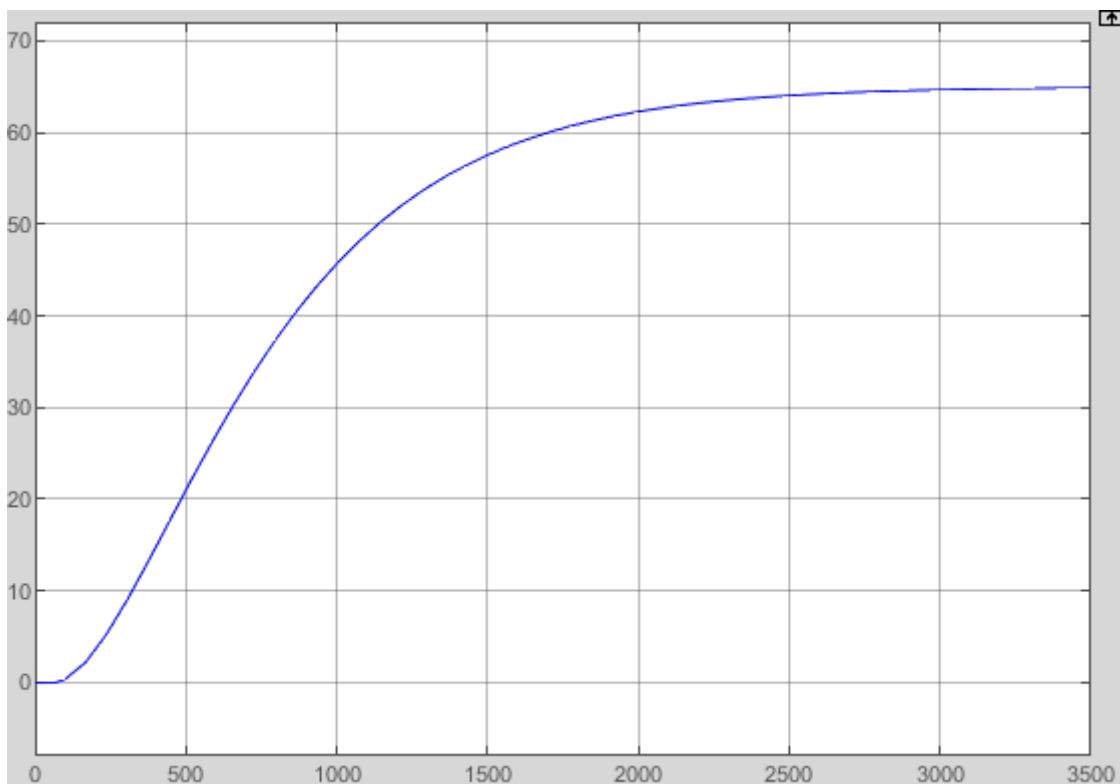


Рисунок 2.10. Крива розгону теплообмінника – змішувача

Була отримана крива розгону на виробництві за формулою:

$$y(t) = \frac{y(t_i) - y(0)}{y(\infty) - y(0)} = \frac{y(t_i) - 20}{65 - 20}$$

У таблиці 2.3 наведено результати розрахунків, необхідні для побудови нормованої кривої розгону.

Таблиця 2.3. Результати нормування кривої розгону

t, хв.	0	2	4	6	8	10	12
y (t_i)	0	0	5	12	18	27	33
t, хв.	14	16	18	20	22	24	26
y(t_i)	39	44	48	51	54	56	58
t,хв.	28	30	32	34	36	38	40
y(t_i)	59	60	61	62	63	63	63
t, хв.	42	44	46	48	50	52	55
y(t_i)	64	64	64	64	64	64	65

Нормована крива розгону зображена на рис. 2.11. Для статичних об'єктів, передатна функція, отримана на основі кривої розгону, може бути описана як інерційна ланка з запізненням.

$$W(s) = \frac{K_{oy}}{T_{oy}s+1} * e^{-\tau_{oy}s}$$

де k_{oy} - коефіцієнт передачі; T_{oy} - постійна часу, яка характеризує його інерційність, с; τ_{oy} - час чистого запізнення, с.

Для знаходження числових значень постійної часу TOY та часу запізнення τ_{OU} об'єкта можна скористатися дотичною до розгінної характеристики. Це може бути графік, на якому відображена залежність вихідної величини (наприклад, температури) від часу при зміні вхідного впливу (наприклад, керуючого сигналу).

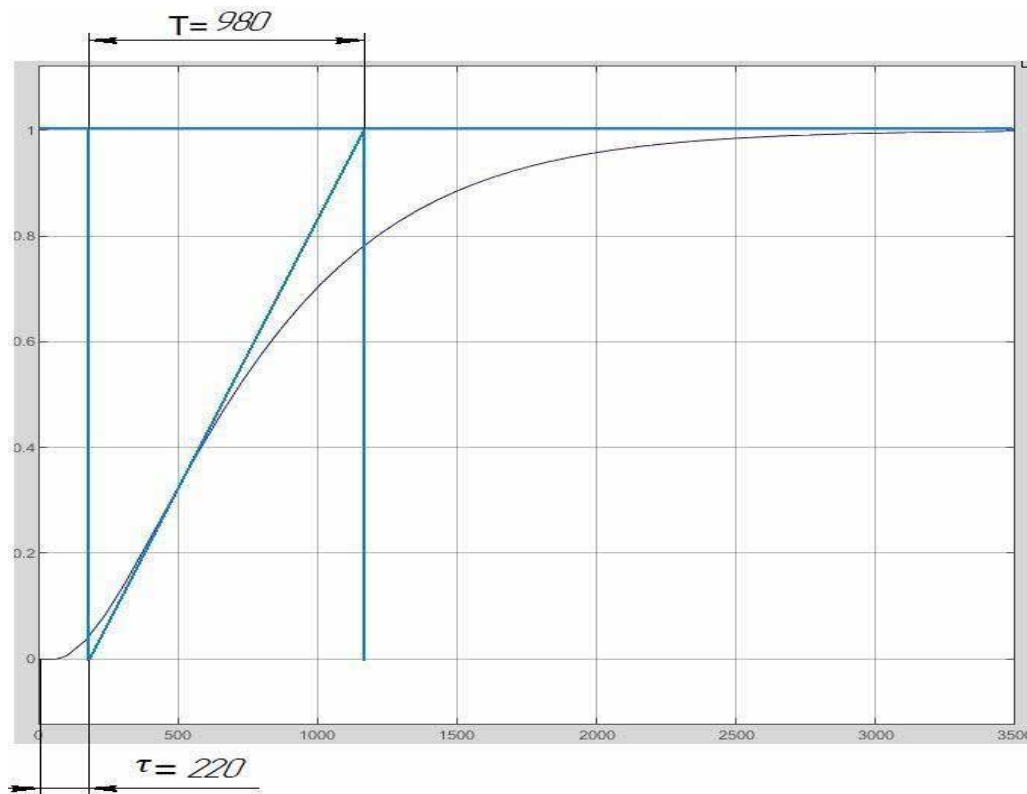


Рисунок 2.11. Визначення передатної функції теплообмінника - змішувача для каналу керування температурою майонезу графічним методом

Коефіцієнт передачі об'єкта керування визначаємо за виразом

$$k_{OY} = \frac{\theta_K - \theta_{\Pi}}{\Delta x}$$

де θ_K та θ_{Π} – є кінцеве та початкове значення температури майонезу, °C;

Δx – зміна вхідного впливу, %.

$$\theta_K = 65^{\circ}\text{C}, \theta_{\Pi} = 20^{\circ}\text{C}; \Delta x = 20\%.$$

$$k_{OY} = \frac{65 - 20}{20} = 2,25 \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\% \text{ ходу рег. орг.}} \right]$$

Значення постійної часу та часу чистого запізнення, визначені з нормованої розгінної характеристики, складають

$$T_{OY} = 980 \text{ c}, r_{OY} = 220 \text{ c}.$$

Передатна функція теплообмінника – змішувача для виготовлення майонезної емульсії по каналу регулювання температури

$$W_{OY}(s) = \frac{2.25}{980 \cdot s + 1} \cdot e^{-220s}$$

Розділ 3

Проектування системи автоматизації і дослідження її якості

3.1. Вибір технічних засобів автоматизації

3.1.1. Контур регулювання температури

Первинні вимірювальні перетворювачі-пристрої, які призначені для перетворення сигналу з вимірювального середовища на зручний для подальшого збереження, обробки, перетворення і т.д. сигнал. Вони дозволяють отримати вимірювальні дані в формі, яка може бути зручною для подальшого аналізу та використання.

Вибір TCM 50W як первинного вимірювального перетворювача для контуру регулювання температури є розумним рішенням. Термометри опору є надійними вимірювальними пристроями, відомі своєю високою надійністю та здатністю працювати тривалий час без поломок, простотою в експлуатації і монтажі, а також доступністю і вигідною ціною. Мідний термометр опору, який зображений на рис. 3.1, є одним з типів термометрів опору, які широко використовуються для вимірювання температури.



Рисунок 3.1 Мідний термометр опору

Технічні характеристики термометра опору відображені у таблиці 3.1

Таблиця 3.1. Технічні характеристики термометра

Характеристики	ДТСХХ4		
Номінальна статична характеристика (НСХ)	50М, 100М	50П, 100П	Pt100, Pt500, Pt1000
Діапазон температур, що вимірюються: • клас допуску А • клас допуску В та С	-50...+100°C -50...+150°C	-100...+250°C -196...+250°C	-60...+250°C
Умовний тиск	0,1...6,3 МПа (залежно від конструктивного виконання)		
Показник теплової інерції	не більше 10...30 с		
Опір ізоляції	не менше 100 МОм		
Кількість чутливих елементів	1 або 2		
Схема внутрішніх з'єднань провідників	2 – дводротова 3 – трьохдротова 4 – чотирьохдротова		
Виконання сенсора відносно корпусу	ізолюваний		
Довжина кабельного виводу	0,2 м – стандарт до 20 м – за замовленням		
Тип нарізного штуцера	метрична різь, трубна різь		
Матеріал захисної арматури	сталь 12Х18Н10Т латунь		
Ступінь захисту	IP54 (IP67 – для моделей 314, 414, 164, 174)		

$T_{ПВП}=12\text{с};$

Передатна функція ПВП виражається у вигляді інтегральної ланки і служить для визначення залежності між вхідним і вихідним сигналами. Ми розглядаємо і аналізуємо цю передатну функцію:

$$W_{ПВП}=K_{ПВП}/ T_{ПВП} \quad (3.1)$$

Температурний коефіцієнт опору для міді $\alpha_M=4,26 \cdot 10^{-3} [1/^\circ\text{C}]$; $K_{ПВП}=R_0 \cdot \alpha = 100 \cdot 4,26 \cdot 10^{-3}=0,426$;

$$W(p) = 0.426 / (12s + 1) \quad (3.2)$$

3.1.2. Контур регулювання рівня

Для контролю рівня наповнення резервуару теплообмінного змішувача в каналі регулювання, я обрав вібраційний рівнемір VEGASWING 61. Цей вибір обумовлений технологічними особливостями, оскільки необхідно лише дотримуватись заданого рівня, а не постійно вимірювати його. Вібраційний рівнемір VEGASWING 61

показаний на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 Сигналізатор рівня VEGASWING 61

Вібраційний сигналізатор рівня є універсальним датчиком, призначеним для вимірювання рівня рідин. Він може бути використаний у будь-якій позиції монтажу, що робить його дуже гнучким і зручним у використанні. Він забезпечує надійне та точне виявлення рідини з високою точністю до міліметра. Цей прилад часто застосовується для захисту від переповнення резервуарів і контейнерів. VEGASWING 61 є пристроєм, що характеризується високою надійністю. Основні характеристики цього рівнеміра наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 Основні характеристики рівнеміра

Застосування	сигналізація рівня рідин
Матеріал	нерж. сталь 316L, Hastelloy C4, емальована сталь, ECTFE, PFA
Приєднання:	різьба від G $\frac{3}{4}$ A, фланці від DN25 або гігієнічне
Робоча температура	-50...+250 ° C
Робочий тиск	-1...+64 бар (-100...+6400 кПа)

3.1.3. Контур регулювання витрати

Для вимірювання кількості різних рідин, що протікають через систему, я використовую спеціальний пристрій - ультразвуковий витратомір або лічильник ВЗЛЕТ МР. Цей пристрій здатний точно вимірювати швидкість потоку і обсяг різних рідин, таких як гаряча вода, холодна вода, стічні рідини, кислоти, луги, харчові продукти тощо. Він може бути використаний в одному або декількох трубопроводах, які перебувають під тиском в різних умовах експлуатації. Основними перевагами цього ультразвукового витратоміра-лічильника є його здатність контролювати і вимірювати кілька витрат одночасно, а також широкий спектр можливостей для виводу цих вимірних значень, а саме:

- на рідкокристалічний індикатор;
- у вигляді нормованого струмового сигналу (за замовленням);
- у вигляді імпульсів з нормованим вагою або логічних сигналів;
- по послідовному інтерфейсу RS-232/RS-485;
- по інтерфейсу Ethernet (за замовленням).

Ультразвуковий витратомір ВЗЛЕТ МР зображений на рис. 3.3. Основні характеристики рівнеміра наведені в табл. 3.3



Рисунок 3.3. Ультразвуковий витратомір ВЗЛЕТ МР

Таблиця 3.3. Основні характеристики рівнеміра

Найменування параметра	Значення параметра
Діаметр умовного проходу, мм	від 10 до 5 000
Швидкість потоку, м/с	от 0,1 до 20
Діапазон температури рідини, °С	від - 30 до +160
Температура навколишнього середовища для вторинного перетворювача (ВП), °С	от 0 до 50
Тиск в трубопроводі для врізних перетворювачів електроакустичних (ПЕА), МПа	не більше 2,5
Ступінь захисту ВП/ПЕА	IP54/IP68
Глибина архівів вимірювальної інформації, записів: - годинного - добового - місячного - інтервального - дозування	 1440 60 48 14400 512
Напруга живлення витратоміра, В	24
Споживана потужність, ВА	не більше 12
Середній час напрацювання на відмову, г	75000
Маса ВП, кг	не більше 3
Габаритні розміри ВП, мм	250 × 132 × 90

3.1.4 Вибір виконавчого механізму

Виконавчі механізми в системах автоматичного керування відповідають за переміщення регулюючого органу відповідно до отриманого керуючого сигналу. Їх головна функція полягає в тому, щоб реагувати на сигнали керування і забезпечити необхідні зміни в системі шляхом переміщення регулюючого органу. Виконавчі механізми можуть мати різні форми та принципи дії, залежно від конкретного застосування, але їх основна мета - забезпечити точне і відповідне переміщення регулюючого органу для досягнення бажаних параметрів і режимів роботи системи.

Обрано МЭО-40/10-0,25 Р-99К в якості виконавчих механізмів через їх відмінні характеристики, такі як надійність, простота у будові та економічність (рис. 3.4.).



Рисунок 3.4 Електричний виконавчий механізм типу МЭО Технічні характеристики виконавчого механізму наведені в табл. 3.4.

Передатна функція виконавчого механізму має вигляд інтегруючої ланки вигляду :

Таблиця 3.4 Технічні характеристики виконавчого механізму.

$$W(p) = \frac{k}{s}$$

Найменування параметру	значення
Номінальний крутний момент на вихідному валу, Н м	40
Номінальний час повного ходу вихідного валу, з	10
Номінальне значення повного ходу вихідного валу, об	0.25
Споживана потужність, В А	110
маса, кг	8
Напруга живлення, В	380
Частота харчування, Гц	50
Ступінь захисту	0
Блок сигналізації положення	реостатний
Режим роботи механізму - S4	частота включень до 630 в годину при повторному включенні до 5%
Максимальна частота включення	до 1200 в годину при повторному включенні до 5%

Коефіцієнт передачі виконавчого механізму розраховується за формулою:

φ – кут повороту вихідного валу;

t – номінальний час повного ходу вихідного валу. Знаходимо коефіцієнт передачі виконавчого механізму:

$$k = \frac{\Delta\varphi}{t}$$

$$k = \frac{120}{10} = 12 \frac{\text{град.}}{\text{сек.}}$$

Передатна функція виконавчого механізму має вигляд:

$$W(p) = \frac{12}{s}$$

3.1.5. Вибір електродвигунів і насосів

Я обрав електродвигун серії AIP 160S4 для змішування усіх компонентів у теплообмінному змішувачі. Цей електродвигун є трифазним, асинхронним, змінного струму, загальнопромисловим. Він використовується для комплектації різних агрегатів та механізмів як електропривод. Електродвигун призначений для роботи від мережі змінного струму частотою 50 Гц з напругою 220/380 В.

Електродвигун AIP 160 S4 має номінальну швидкість обертання 1500 обертів за хвилину.

Характеристика електродвигуна:

- Габарит (висота осі обертання вала): 160 мм;
- діаметр вала: 48 мм;
- потужність: 15.0 кВт;
- Сила струму: 30 А.
- IP: 54.

Estampinox EFI - це моноблочний відцентровий насос, який складається з декількох компонентів. Корпус насоса виготовлений з нержавіючої сталі, і для його виробництва використовується метод холодного штампування. Робоче колесо насоса також виготовлене з нержавіючої сталі і може бути зроблене методом холодного штампування або мікролітів, залежно від конкретної моделі насоса. Крім того, в насосі є торцеве ущільнення, кришка і вал. Estampinox EFI оснащений внутрішнім одинарним торцевим ущільненням, яке забезпечує надійне ущільнення та герметичність роботи насоса. Цей насос ідеально підходить для різних промислових застосувань, де потрібна ефективна перекачування рідин.

Матеріали:

- Деталі з нерж.сталі, що контактують з продуктом AISI 316L (1.4404)
- Інші деталі з нерж.сталі AISI 304 (1.4301)
- Прокладки, що контактують з продуктом EPDM

- Торцеве ущільнення:
- Обертова частина – Cer
- Стаціонарна частина – С
- Максимальні умови експлуатації:
- Максимальний тиск - 6 бар
- Температура-10°C до +90 °C
- Продуктивність-65 м³/h
- Максимальний диференц. напору - 42 м
- Максимальна швидкість - 3000 об/мин

3.1.6. Вибір запірної арматури

Запірна арматура – це пристрої для регулювання витрати потоку рідин, газів і тд. У якості запірної арматурми – я обрав сідельний регулювальний клапан VFS2.

Необхідні параметри для вибору регулюючого органу:

$\gamma = 1 \text{ г/см}^3$ - об'ємна маса води; $\nu = 0,3$ – в'язкість;

$Q_{\max} = 0.6 \text{ м}^3/\text{год}$, – максимальна витрата води;

$Q_{\min} = 0.12 \text{ м}^3/\text{год}$ – мінімальна витрата води;

$P_1 = 5 \text{ кг/см}^2$, $P_c = 3 \text{ кг/см}^2$, $P_{\max} = 1 \text{ кг/см}^2$ – перепади тисків.

Максимальна пропускна здатність регулюючого органу може бути обчислена за допомогою формули. Використовуючи цю формулу.

Регулюючий орган вибирають за наступної умови:

$$K_y = Q_{\max} * \sqrt{\frac{\gamma}{P_c - P_{\max}}} = 0.424 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

$$K_y > 1,2 \cdot K_{\max};$$

$$K_y > 1,2 \cdot K_{\max} = 1,2 \cdot 0.424 = 0.508 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

Знаходимо робочу ділянку витратної характеристики вибраного регулюючого органу за формулою (2.9):

Визначаємо відношення перепаду тиску на регулюючий орган при

$$K_L = Q_{max} * \sqrt{\frac{\gamma}{P_{max}}} = 0.6 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

$$n = \frac{K_y}{K_L},$$

$$n = \frac{0.424}{0.6} = 0.706$$

максимальній витраті до перепаду тиску в лінії за формулою (2.10):

Уточнюємо перепад тиску на виконавчому пристрої за формулою:

$$\Delta P_{ВП} = \frac{P_c}{1 + n^2};$$

$$\Delta P_{ВП} = \frac{3}{1 + 0.706^2} = 2 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Визначаємо витрату рідини через виконавчий пристрій в разі перепаду тиску на ньому за формулою:

$$Q_{ВП} = K_{\gamma PO} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{ВП}}{\gamma}}$$

$$Q_{ВП} = 0.424 \cdot \sqrt{\frac{2}{1}} = 0.6 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

Знаходимо відносну максимальну та мінімальну витрату рідини за формулами (2.12) та (2.13):

$$\mu_{max} = \frac{Q_{max}}{Q_{ВП}} = \frac{0.6}{0.6} = 1$$

$$\mu_{min} = \frac{Q_{min}}{Q_{ВП}} = \frac{0.12}{0.6} = 0,2$$

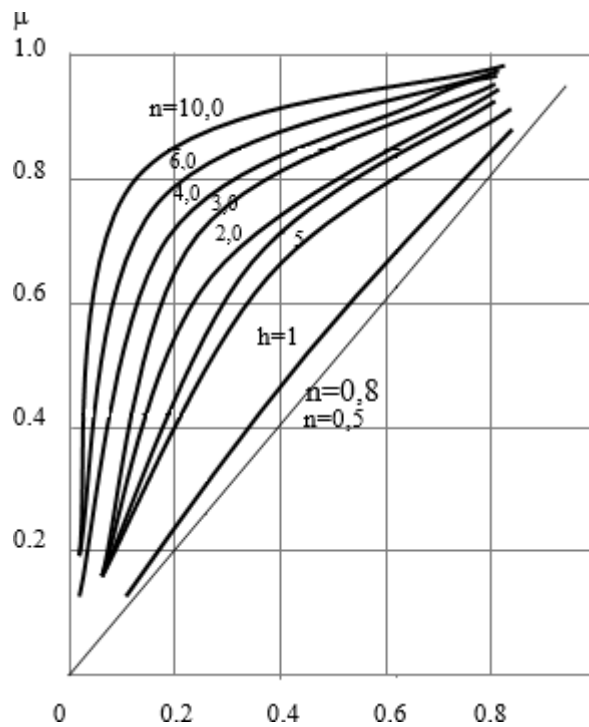


Рисунок 3.5. Робочі характеристики для регулювальних клапанів

$$I_{\min}=0.18 \quad I_{\max}=0.8$$

За графіком (рис. 3.5) вибираємо витратну характеристику виконавчого механізму, згідно відносного ходу затвора регулюючого органу:

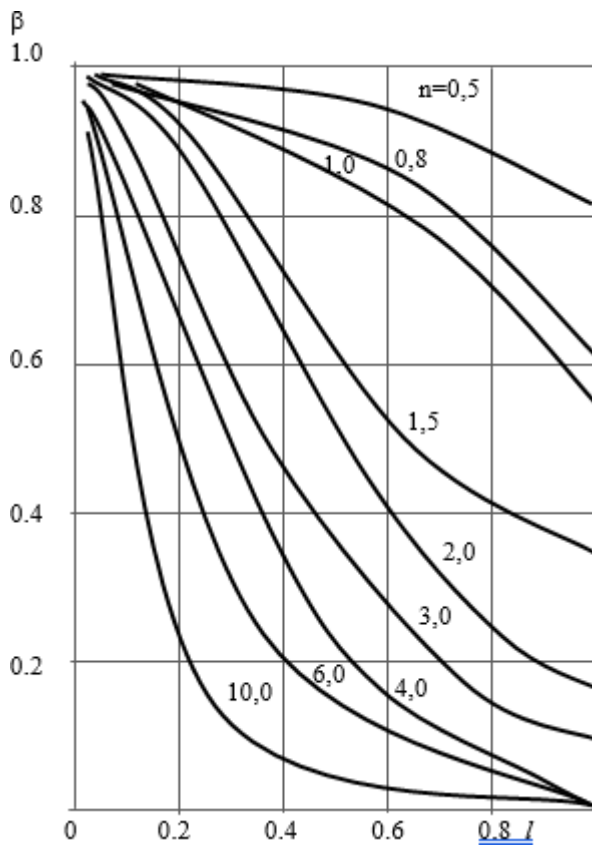


Рисунок 3.6. Зміни перепадів тисків на ВМ для регулювальних клапанів

При цьому відношення перепаду тиску на регулюючий орган до

перепаду тиску в системі змінюється від $\beta_{max} = 0,95$ до $\beta_{min} = 0,75$, що відповідає наступним перепадам (2.13) і (2.14):

$$\beta_{min} = \frac{\Delta P_{min}}{\Delta P_c}$$
$$\beta_{max} = \frac{\Delta P_{max}}{\Delta P_c}$$

Знаходимо значення перепаду тиск.

За допомогою довідникових даних вибираємо регулювальний клапан з діаметром $D_y = 15$ мм і пропускною здатністю $K_{yPO} = 4,0$ м³/год.

$$\Delta P_{min} = \beta_{min} * \Delta P_c = 2,25 \frac{\text{Кгс}}{\text{См}^2}$$

$$\Delta P_{max} = \beta_{max} * \Delta P_c = 2,85 \frac{\text{Кгс}}{\text{См}^2}$$

У якості запірної арматури – я обрав сідельний регулювальний клапан VFS2.



Рисунок 3.7 Сідельний регулювальний клапан VFS2

Технічні характеристики регулювального клапана наведені у табл. 2.5

Таблиця 3.5 Технічні характеристики регулювального клапана

Номінальний діаметр	DN	15						20	25	32	40	50	65	80	100
Пропускна здатність клапану, k_v	м³/г	0,4	0,63	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40	63	100	145
Хід штоку	мм	10						15			20			30	
Відносний діапазон регулювання		30:1		50:1				100:1							
Витратна характеристика		логарифмічна													
Фактор кавітації Z		> 0,4													
Протікання (згідно стандарту IEC534)		не більше 0,05% від k_v													
Номінальний тиск PN	бар	25													
Регульована середа		Водяна пара, підготовлена вода або водний розчин гліколю (до 50%)													
pH регульованої середи		7 ... 10													
Температура регульованої середи	°C	(-10) 2 ¹⁾ ... 200													
З'єднання		Фланці згідно стандарту ISO 7005-2													
Матеріали															
Корпус та кришка		Високоміцний чавун EN-GJS-400-18-LT (GGG40.3)											EN-GJS-400-1S (GGG 40)		
Сідло, конус (золотник) та шток		Нержавіюча сталь													
Ущільнення		Кільця з PTFE (замінювані)													

3.1.7. Вибір програмованого логічного контролера

Програмований логічний контролер (ПЛК) є електронним пристроєм, який використовується для автоматизованого керування виробничими процесами та обладнанням. У якості програмованого логічного контролера, я вибрав Овен ПЛК 73. Технічні характеристики Овен 73 наведені у табл. 3.6.



Рисунок 3.8. ПЛК Овен 73

Таблиця 3.6 Технічні характеристики Овен 73

Центральний процесор	32- розрядний RISC процесор 50 МГц на базі ядра ARM7
Розмір Retain-пам'яті (EEPROM)	448 байт
Обсяг оперативної пам'яті для зберігання змінних програм	10 кб
Об'єм пам'яті зберігання програм	280 кб
Об'єм пам'яті введення-виведення	600 байт-для PLK73-M 360 байт-до PLK73-L
Час роботи годинника реального часу після пропадання живлення	не менше трьох місяців
Конструктивне виконання	Корпус щитового кріплення. Габаритні розміри (ВхШхГ), мм (168 × 137 × 55) ± 1 мм
Ступінь захисту корпусу зі сторони лицевої панелі	IP55
Напруга живлення	90.245 В (частотою від 47до 63 Гц)
Споживана потужність, не більше	для постійного струму, 12 Вт для змінного струму, 18 Вт
Параметри вбудованого вторинного джерела живлення	вихідна напруга 24 ± 3 В, струм не більше 180 мА

Інтерфейси зв'язку наведений у табл. 3.7 і 3.8.

Таблиця 3.7 Інтерфейси зв'язку

Інтерфейси	2 інтерфейси опціонально: 1-й інтерфейс: RS-485, RS-232 або відсутній; 2-й інтерфейс: RS-485, RS-232 або відсутній.
Режим роботи інтерфейсів	Master, Slave
Підтримувані протоколи	OБEH, Modbus-ASCII/RTU, GateWay (протокол CODESYS)

Таблиця 3.8. Інтерфейси та протоколи, які підтримуються.

Протокол	Інтерфейс	Застосування
OБEH	RS-232 RS-485	Підтримання модулів введення /виведення OБEH Mx110 Робота у мережах OБEH спільно з TPM2xx
Modbus RTU Modbus ASCII	RS-232 RS-485	Підтримання модулів введення/виведення та операторських панелей (наприклад, OБEH СП3xx), зв'язок зі SCADA-системами
GateWay (протокол CODESYS)	RS-232	Програмування контролера, налагодження користувацької програми Робота з OPC сервером CODESYS

3.2. Вибір алгоритму керування об'єктом

З початку необхідно визначити, яке співвідношення між часом регулювання об'єкта автоматизації часом запізнення.

Для початку необхідно визначити, яке співвідношення між часом запізнення і часом регулювання об'єкта автоматизації

$$\frac{\tau}{T} = \frac{220}{980} = 0.222$$

якщо $\frac{\tau_{0y}}{T_{0y}} > 0.2$, перевагу віддають позиційному (релейному) алгоритму керування, але можливе використання і неперервного алгоритму. Вибір рішення залежить від вимог, які встановлені для процесу управління з точки зору технології.

якщо $0,2 < \frac{\tau_{0y}}{T_{0y}} < 1,0$, перевагу віддають неперервному або цифровому алгоритму керування (ПД-, ПІ- або П-алгоритм керування).

якщо $\frac{\tau_{0y}}{T_{0y}} > 1,0$, вибирають спеціальний цифровий регулятор з екстраполятором, що компенсує запізнювання в контурі керування.

Крім того, проводиться розрахунок динамічного коефіцієнта регулювання, що дозволяє вибрати оптимальний алгоритм для керування об'єктом.

Оскільки об'єкт керування є статичним, ми обираємо динамічний коефіцієнт регулювання з використанням даної формули:

$$R_d = \frac{y_1}{K_o y_{\max}} \quad (3.6)$$

де y_1 – максимальне динамічне відхилення K_o – коефіцієнт передачі об'єкта керування

$y_{\max}$ – максимально можливе збурення за навантаженнями $y_1 = 5\%$,
 $K_o = 2.25$, $y_{\max} = 10\%$

$$R_d = \frac{5}{2.25 \cdot 10} = 0.222 \quad (3.7)$$

Наступною чергою графічними залежностями дістаємо ПІ-алгоритм

керування

- 1- П-алгоритм
- 2- І-алгоритм
- 3- ПІ-алгоритм
- 4- ПІД-алгоритм

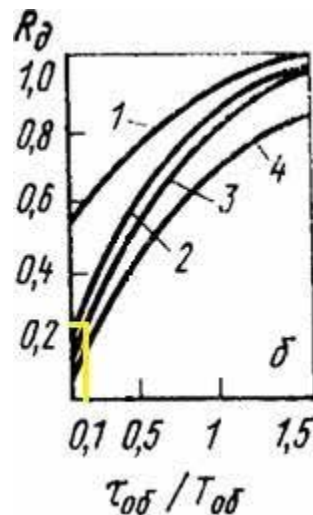


Рис 3.4. Графічна залежність

Якщо відношення часу чистого запізнення до часу регулювання в каналі "температура змішувача – теплообмінник – витрата гарячої води" становить 0.263, то рекомендується використовувати неперервний алгоритм керування. Для розрахунку параметрів настройки ПІ регулятора використовується метод CHR (Chien-Hrones-Reswick). Цей метод відрізняється від методу Зіглер-Нікольса, оскільки використовує критерій максимальної швидкості наростання при відсутності перерегулювання або при наявності не більше 20% перерегулювання. Використання такого критерію дозволяє отримати більший запас стійкості в системі.. Для аперіодичного процесу без перерегулювання (Aperiodic step response) та для коливального процесу з 20% перерегулюванням (20% Overshoot).

У табл. 3.9: $K_r = K_p$, $T_N = T_i$, $T_V = T_d$, $K_S = K_o$, $T_q = T_o$, $T_u = \tau$

Таблиця 3.9. Значення аперіодичного та коливального процесів

Controller		Aperiodic step response	20% Overshoot
P-Controller	K_r	$0.30 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$	$0.70 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$
PI-Controller	K_r	$0.60 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$	$0.70 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$
	T_N	$4.00 \cdot T_u$	$2.3 \cdot T_u$
PID-Controller	K_r	$0.95 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$	$1.20 \cdot \frac{T_g}{T_u \cdot K_s}$
	T_N	$2.40 \cdot T_u$	$2.00 \cdot T_u$
	T_V	$0.42 \cdot T_u$	$0.42 \cdot T_u$

За табличними даними, розраховуємо параметри налагодження пропорційної складової регулятора.

Для знаходження часу ізодрому:

$$K_r = 0.6 \cdot \frac{980}{220 \cdot 2.25} = 1.188 \quad (3.8)$$

$$T_i = 4 \cdot 220 = 880 \quad (3.9)$$

3.3. Оцінка якості автоматичних систем за стандартними показниками якості

Функція передачі незамкнутої системи автоматичного керування (3.10) може бути записана наступним чином:

$$\begin{aligned}
 W_{PO3}(s) &= W_{PI}(s) \cdot W_{BM}(s) \cdot W_{OY}(s) \cdot W_{CE}(s) \\
 W_{PO3}(s) &= 1.188 \cdot \left(1 + \frac{1}{880s}\right) \cdot \frac{12}{s} \cdot \frac{2.25 \cdot e^{-220 \cdot s}}{980 \cdot s + 1} \cdot \frac{0.426}{15 \cdot s + 1} = \\
 &= \frac{12020 \cdot s + 13.66}{12904000 \cdot s^4 + 875600 \cdot s^3 + 880 \cdot s^2} \cdot e^{-220 \cdot s} \quad (3.10) \\
 W_{3AM}(s) &= \frac{W_{PO3}(s)}{1 + W_{PO3}(s)} = \frac{\frac{12020 \cdot s + 13.66}{12904000 \cdot s^4 + 875600 \cdot s^3 + 880 \cdot s^2}}{1 + \frac{12020 \cdot s + 13.66}{12904000 \cdot s^4 + 875600 \cdot s^3 + 880 \cdot s^2}}
 \end{aligned}$$

У подальшому, в середовищі Matlab Simulink, ми будемо імітаційну

модель системи автоматичного керування. модель (3.4) виглядає наступним чином:

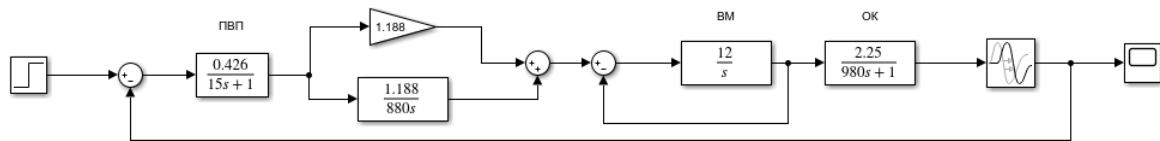


Рисунок 3.4 Імітаційна модель САК температури приготування майонезної пасти

З графіка (3.5) видно, що перехідна характеристика системи автоматичного керування виробництва майонезу демонструє задовільні показники якості:

- перерегулювання $\sigma = \frac{h(t)_{\max} - h(t)_{\text{уст}}}{h(t)_{\text{уст}}} \cdot 100\% = 0\%$;
- коливальність $n = 0$;
- час регулювання t
- $T_{\text{PEГ}} = 1850 \text{ c}$;
- відсутня статична похибка.

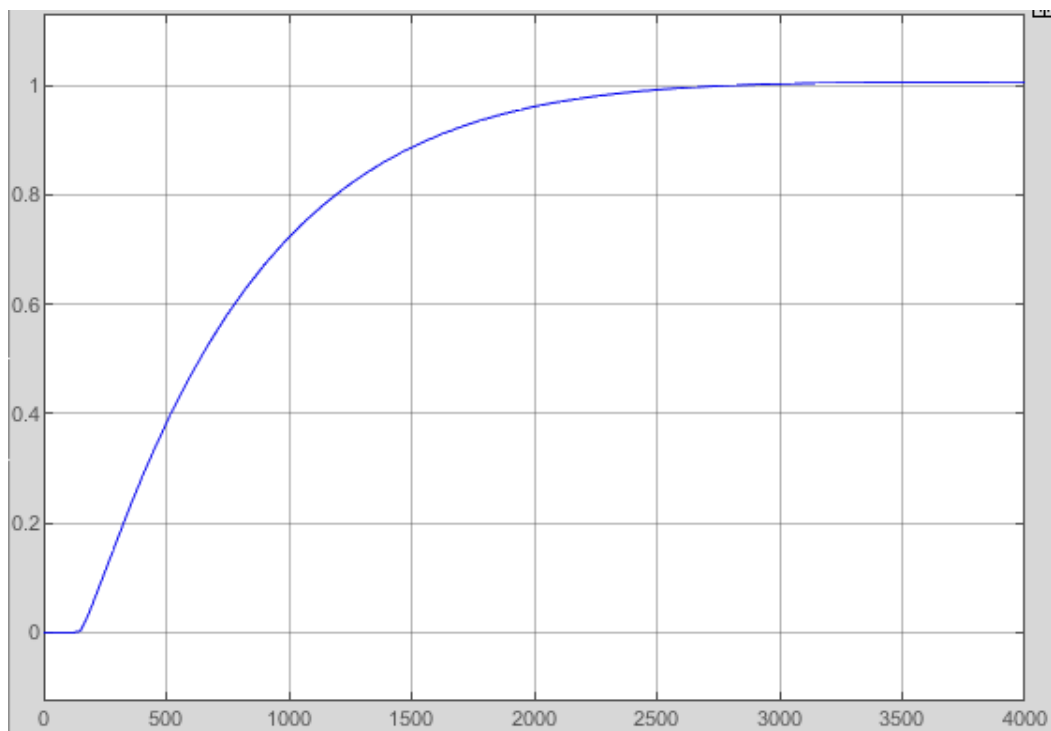


Рисунок 3.5. Перехідна характеристика САК виробництва майонезу

Так, з перехідної характеристики САК можна зробити висновок про стійкість системи. Якщо система досягає усталеного значення без коливань після збурення або зміни управління, це свідчить про стійкість системи. У цьому випадку, коли система приходить до усталеного значення і не спостерігаються жодні коливання, можна стверджувати, що система є стійкою. Це важливий показник для ефективного функціонування системи автоматичного керування, оскільки стійкість забезпечує стабільність і надійність роботи системи.

Розділ 4

4.1 Розробка електричних схем автоматизації

4.1.1 Вибір магнітного пускача

При виборі пускозахисної апаратури для систем автоматичного керування, враховують такі фактори, як тип струму, рівень напруги, потужність, кількість полюсів, умови захисту від ненормальних режимів роботи обладнання, кліматичне виконання та ступені захисту.

Магнітний пускач - це електромеханічний пристрій, що використовується для управління живленням електродвигунів. Цей пристрій виконує різні функції, такі як запуск, розгін, постійна робота, відключення живлення і захист електродвигунів від перевантажень.

Вибір електромагнітного пускача здійснюється відповідно до наступних умов:

- 1) При виборі електромагнітного пускача необхідно враховувати його тип або серію.
- 2) за номінальною напругою за умовою:

$$U_{н.мп.} \geq U_{м.},$$

де $U_{н.мп.}$ - номінальна напруга магнітного пускача, В; $U_{м.}$ - номінальна напруга електромережі, В;

- 3) за номінальним струмом за умовою:

$$I_{н.мп.} \geq I_{н.},$$

де $I_{н.мп.}$ - номінальний струм магнітного пускача, А; $I_{н.}$ - номінальний струм навантаження, А.

- 4) за номінальною напругою котушки електромагнітного пускача за умовою:

$$U_{к.мп} \geq U_{кк},$$

де $U_{к.мп}$ – номінальна напруга котушки магнітного пускача, В; $U_{кк}$

- напруга кола керування, В;

5) за наявністю теплового реле;

6) за ступенем захисту;

7) за кліматичним виконанням.

Для електродвигуна вибір електромагнітних пускачів КМ1 і КМ2 проводимо наступним чином:

$$U_m = 380 \text{ В}, I = 30 \text{ А}.$$

За наведеними даними вибираємо електромагнітний пускач КМІ-34012.

Таблиця 4.1. Технічні характеристики електромагнітного пускача КМІ-34012.

Технічні характеристики	
Номінальна напруга живлення ланцюга управ U_s АС 50 Гц:	230 В
Номінальна робочий струм I_e 400 В:	40 А
Тип підключення допоміжних ланцюгів:	гвинтове з'єднання
Кількість допоміжних норм замкнених-НЗ конт:	1
Кількість допоміжних норм розімкнених-НО конт:	1
Номінальна раб напруга змінного струму U_e :	230; 400; 660 В
Номінальна напруга ізоляції U_i :	660 В
Номінальна імпульсна напруга:	6 кВ
Умовний тепловий струм I_{th} при АС-1:	60 А
Номінальна потужність при АС-З 230 В:	11.0 кВт
Номінальна потужність при АС-З 400 В:	18.5 кВт
Номінальна потужність при АС-З 660 В:	30.0 кВт
Макс короточасне навантаження:	720 А
Умовний струм короткого замикання I_{nc} :	3000 А
Захист від надструмів - предохран gG :	50 А
Потужність розсіювання при I_e АС-З:	2,4 Вт

Вибір автоматичних вимикачів

Автоматичний вимикач - це пристрій для комутації контактів, який може включати, вимикати і тримати певний струм навантаження протягом певного часу, коли електричне коло знаходиться у робочому стані. Він також здатен вимикати струм в разі протікання аварійного струму через нього..

Автоматичні вимикачі вибираються таким чином, щоб номінальний струм головного кола вимикача ($I_{a.ном}$) та номінальний струм його теплових і електромагнітних вимикань ($I_{p.ном}$) були не меншими за тривалий робочий струм ($I_{тр.роб}$) ділянки мережі, яку вони захищають:

$$I_{a.ном} \geq I_{тр.роб}, \quad I_{p.ном} \geq I_{тр.роб}.$$

Загальна потужність системи:

$$P = 15000 + 4500 + (6 * 110) = 20\,160 \text{ Вт} \quad (4.1)$$

Для подальшого вибору автоматичного вимикача необхідно враховувати значення сили струму, яке має дорівнювати:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{20160}{380} = 53.05 \text{ А} \quad (4.2)$$

Таким чином, з урахуванням наведених даних, ми рекомендуємо вибрати автоматичний вимикач ІЕК ВА88-32 з рейтингом 63 А.

4.1.2 Вибір теплового реле

Я вибрав теплове реле РТЛ 2055 як засіб захисту для електродвигуна. Ці реле з серії РТЛ призначені для захисту електродвигунів від струмових перевантажень тривалості, які перевищують допустимі значення. Вони також забезпечують захист від асиметрії струмів в фазах і від відключення однієї з фаз. Технічні характеристики наведені у Таблиця 4.3

Таблиця 4.2

Технічна характеристика автоматичного вимикача ІЕК ВА88-32

Максимальний номінальний струм (базовий габарит) I_{nm} , А	125
Номінальний струм (уставка теплового розчеплювача), I_n , А	63
Уставка електромагнітного розчеплювача I_m , А	$10 I_n$
Розчеплювач надструмів	тепловий та електромагнітний
MP110	
MP211	
Номінальна робоча найбільша відключаюча здатність I_{cs} , кА	12,5
Номінальна гранична найбільша відключаюча здатність I_{cu} , при 220 В, кА	25
Номінальна гранична найбільша відключаюча здатність I_{cu} , при 690 В, кА	4
Механічна зносостійкість циклів Вкл-Відкл, не менше	8500
Електрична зносостійкість циклів Вкл-Відкл, не менше	2500
Виконання	втичне
	висувне

Таблиця 4.3. Технічні характеристики теплового реле РТЛ 2055

Виробник: ЕТАЛ (Україна)

Номінальна напруга, В: 660

Частота, Гц: 50/60

Ступінь захисту: IP 00

Номінальний струм, А: 80

Контакти: 1р + 1з

Потужність споживана одним полюсом, Вт: 3.03

Діапазон уставок реле, А: 30-41

Висота, мм: 116

Ширина, мм: 75

Глибина, мм: 76,3

Маса, кг: 0,505

Гарантія, міс: 12

Вибір перемикача

Перемикачі використовуються для зміни режиму роботи автоматики, устаткування або іншого пристрою з одного стану в інший, як і технічними режимами роботи, що вказуються підприємством. Кулачковий перемикач, який я вибрав, має модель EMAS PS020ZE210. Його технічні характеристики можна знайти в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 Технічні характеристики перемикач EMAS PS020ZE210

Виробник:	ЗОЛОТА	Типовид:	Вбудований
Країна:	Туреччина	Кількість фаз:	однофазний
Конструктивне виконання:	кулачковий	Номінальний струм:	20А
Тип пристрою:	поворотний перемикач	Ступінь пиловологозахисту:	IP20
Кількість полюсів:	1	Механічна зносостійкість:	100 тис. Циклів
Схема перемикачання:	1-0-2	Діапазон робочих температур:	від -5 до + 40 ° С

4.1.3 Вибір сигнальних ламп

В якості сигнальних ламп для автоматизації я обрав лампи IEK AD16DS діаметром 16 мм зеленого, жовтого і червоного кольорів. Ці лампи використовуються для індикації роботи устаткування і вказують на його стан або режим роботи, а також можуть сигналізувати про аварійний стан обладнання.

4.1.4 Вибір кнопок керування

Кнопки керування використовуються для дистанційного запуску і зупинки устаткування, такого як електродвигуни, насоси і т.д. В якості кнопок керування для технологічного устаткування я обрав кнопковий пост e.cs.stand.xal.d.211, який має дві кнопки.

4.1.5 Вибір проводів і кабелів

Щоб вибрати перетин кабелю, проводу або шнура відповідно до допустимого тривалого струму, ми можемо скористатися ПУЕ (Правила улаштування електроустановок). Глава 1.3 ПУЕ надає вказівки щодо вибору провідників з урахуванням нагрівання, економічної щільності струму та умов корони. Таблиці допустимих тривалих струмів для проводів, шнурів і кабелів з гумовою або пластмасовою ізоляцією наведені у даній главі. Серед найбільш поширених марок провідників є ПВС, ВВП, ВПП, ППВ, АППВ, ВВГ, АВВГ та інші.

Площу поперечного перерізу жил проводів, шнурів і кабелів вибирають

відповідно до допустимого тривалого струму.

$$I_{тр.доп.} \geq I_{роз.},$$

де $I_{роз.}$ – розрахунковий струм ділянки електричної мережі, А.

Максимально допустимий робочий струм для двигуна АІР 160S4 можна розрахувати за наступною формулою:

$$I_n = \frac{10^3 * P_n}{\sqrt{3} * U * \eta \eta * \cos \varphi} = 29.609 \text{ А} \quad (4.3)$$

За наведеними даними вибираємо кабель ВВГнГ 4х6 з мідними жилами, полівінілхлоридною ізоляцією, в полівінілхлоридній оболонці та перерізом силових жил 6 мм². Номінальний струм цього кабелю становить 40 А.

Для вибору кабелю для насосу також використовуємо цю формулу:

$$I_n = \frac{10^3 * P_n}{\sqrt{3} * U * \eta \eta * \cos \varphi} = 11.8 \text{ А} \quad (4.4)$$

За цими даними вибираємо кабель ВВГнГ 4х1.5 з поперечним перерізом жил 1.5 мм², який має номінальну силу струму 16 А.

4.1.6 Вибір кабелю для живлення шафи керування

За цими даними вибираємо кабель ВВГнГ 4х10 з мідними жилами, з полівінілхлоридною ізоляцією, в полівінілхлоридній оболонці, перерізом силових жил 10 мм² та номінальною силою струму 50 А для живлення шафи керування.

4.2 Принципова електрична схема

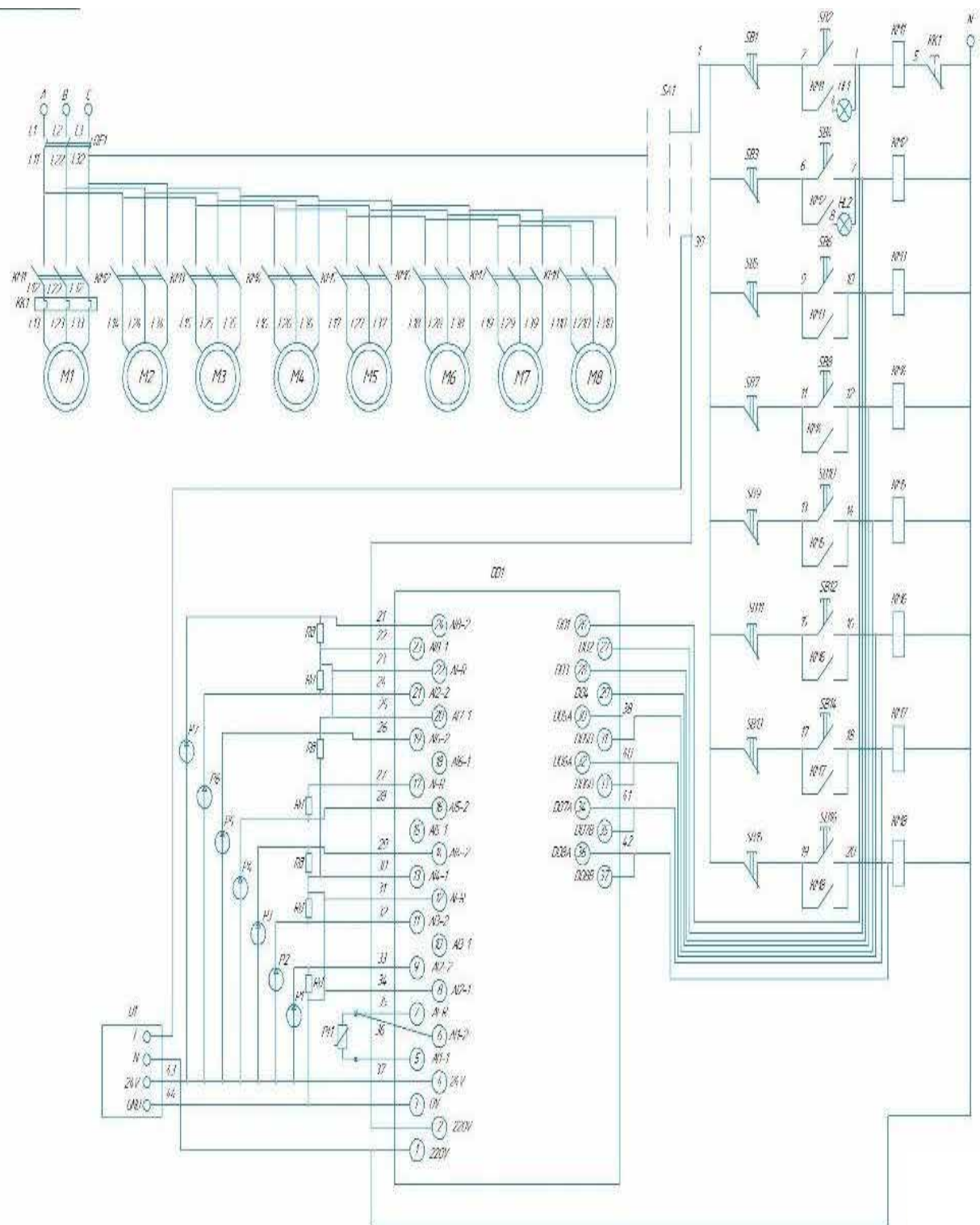


Рисунок 4.1. Фрагмент принципової електричної схеми

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим.
		1	QF	Автоматичний вимикач	1	IEK BA88-32
		2	M	Електродвигун	8	
		3	KM	Магнітний пускач	8	КМИ-34012
		4	KK	Теплове реле	1	РТЛ 2055
		5	SB	Кнопка	16	ecs.stand.xoLd.211
		6	SA	Перемикач	1	EMAS PS020ZE210
		7	DD	Програмований лог. конт.	1	ОВЕН 73
		8	HL	Сигнальна лампа	2	IEK AD16DS
		9	P	Датчик	8	
		10	Rθ	Підтягуючий резистор	7	SR PASSIVES 100 OM
		11	Rt	Терморезистор	1	ОВЕН ДТС 100M

Рисунок.4.2. Специфікація до принципової електричної схеми

Фрагментом принципової електричної схеми передбачено наявність двох режимів роботи - автоматичного і ручного. Для перемикання між цими режимами використовується перемикач SA1.

На схемі зображено 8 моторів, які відповідають: M1 – привід мішалки;

M2 – насос;

M3 – M8 – електродвигуни виконавчих механізмів МЕО 40\10.

Кнопки SB, які мають непарний порядковий номер, відповідають за зупинку електродвигуна, а кнопки із парним порядковим номером – за його запуск. Магнітні пускачі використовуються для дистанційної комутації електродвигунів. Кожен магнітний пускач має свій порядковий номер, який відповідає порядковому номеру електродвигуна, до якого він підключений.

Сигнальна лампа HL1 – відповідає за сигналізацію роботи привода мішалки, електродвигуна M1.

Сигнальна лампа HL2 – відповідає за сигналізацію роботи насоса.

До програмованого логічного контролера DD1 підключені наступні датчики до відповідних входів:

Pt1 – датчик температури ДТС 100M, що підключений за 3 провідною схемою підключення.

P1 – датчик рівня.

P2 – P7 – датчики витрати.

Блок живлення U1 використовується для живлення програмованого логічного контролера (ПЛК) і знаходиться у фізичному зв'язку з датчиками через конструкційну необхідність

4.3 Розробка схеми з'єднань

Відповідно до ГОСТ 2.702–75 "Правила выполнения электрических схем", схеми з'єднань є графічними представленнями з'єднань між компонентами установки або виробу. Ці схеми розробляються на основі принципових схем живлення і використовуються під час монтажу налагодження пристрою.

Схеми з'єднань виконують на підставі таких загальних правил:

- схеми з'єднань розробляють на один щит, пульт, статор, станцію керування.
- усі типи апаратів, приладів та арматури, що передбачені принциповою електричною схемою, мають бути повністю відображені на схемі з'єднань
- позиційне позначення приладів та засобів автоматизації, а також маркування ділянок кіл, що прийняті на принципових схемах, потрібно зберегти на схемі з'єднань.

Схеми з'єднань можуть бути виконані за допомогою трьох основних способів: адресного, графічного і табличного.

Адресний спосіб є широко поширеним в автоматизації і полягає в використанні адрес для зв'язку між елементами апаратури. Замість проведення ліній зв'язку між кожною парою елементів, адресний спосіб використовує цифрові або літерно-цифрові адреси, які проставляються на кожному апараті або елементі. Ці адреси вказують, з яким конкретним апаратом або елементом потрібно встановити електричний зв'язок згідно з принциповою схемою або порядковим номером елемента. Цей спосіб дозволяє уникнути перенасиченості схеми лініями зв'язку і полегшує її читання та розуміння.

Графічний спосіб використовується для показу з'єднань між апаратами шляхом умовних ліній на кресленні. Цей спосіб застосовується головним чином для щитів і пультів, де кількість апаратури є відносно невеликою. Графічний спосіб також використовується для побудови схем трубних проводок. Наприклад, якщо в одному пульті використовуються труби з різних матеріалів, таких як сталь, мідь, пластик, то для позначення цих труб використовують різні типи ліній (суцільні, штрихові, штрихові з двома крапками тощо) у відповідності з умовними позначеннями. Схема наведено в додатку 1.

4.4 Розробка схеми підключень

Відповідно до ГОСТ 2.702–75, схеми вмикання використовуються для візуалізації зовнішнього підключення апаратів, установок, щитів, пультів та іншого обладнання. Вони розробляються на основі принципових схем живлення, специфікацій приладів і обладнання, а також креслень виробничих приміщень, де показано розташування технологічного обладнання та трубопроводів. Ці схеми використовуються під час проведення монтажу проводки, яка забезпечує живлення щитів, пультів, установок, приладів та апаратів

Зазвичай існує два типи схем підключень: графічна та таблична. Графічна схема є більш поширеним варіантом. У графічній схемі використовуються умовні графічні символи для зображення різних елементів. Зокрема, вона використовується для показу наступних компонентів: відбірні пристрої та первинні перетворювачі, щити, пульти, локальні пульти керування, контролю, сигналізації та вимірювання, а також позащитові прилади та засоби автоматизації;

з'єднувальні та протяжні коробки, вільні коробки кінців термопари, електропроводки та кабелі, що прокладаються поза щитами; вузли приєднання електропроводів і приладів, апаратів та коробок; забірну апаратуру, елементів для з'єднання та відгалуження; комутаційні затискачі, розміщені поза щитами;

захисне заземлення.

Шафи, пульти, окремі прилади та апарати на схемах зображаються у вигляді прямокутників або колів, і всередині цих фігур розміщуються відповідні підписи, які ідентифікують ці елементи

На схемах підключення зв'язки одного призначення зображуються за допомогою суцільних ліній, які показують безперервний зв'язок між компонентами. Однак, в місцях приєднання до виконавчих механізмів та інших апаратів проводи розділяються, щоб нанести маркування на кожен окремий провід. Це дозволяє зрозуміти, який провід пов'язаний з конкретним приладом чи апаратом, спрощує монтаж і обслуговування системи, а також полегшує розуміння схеми підключення.

На схемах з'єднань, які відображають проводи або кабелі, наводять інформацію про номер проводки або підключення, марку проводу або кабелю, його переріз та довжину. Якщо проводка здійснена в трубі, то також вказується характеристика труби. Це допомагає ідентифікувати кожен окремий провід або кабель, встановлювати їх характеристики і забезпечувати належне підключення та монтаж системи. Інформація про номер, марку, переріз і довжину проводів і кабелів є важливою для електриків та технічного персоналу, які працюють зі з'єднаннями і обслуговують електричні системи..

Проводи, джгути та кабелі на схемах зображуються у вигляді ліній, які мають товщину звичайно в діапазоні від 0,4 до 1 мм..

Схеми підключень зазвичай створюються без збереження масштабу, в зручному для користування вигляді. Це означає, що розміри та пропорції компонентів можуть бути змінені, щоб забезпечити чіткість та зрозумілість схеми. Головна мета полягає у передачі необхідної інформації про підключення та взаємозв'язки між компонентами, а не в точному відтворенні реальних розмірів. Схему наведено в додатку 2.

4.5 Розробка загального вигляду щита керування

Щити і пульти є місцями керування, контролю та сигналізації електрифікованих і автоматизованих систем. У них розташована апаратура керування, контрольно-вимірювальні пристрої, пристрої сигналізації та захисту. Фасадні сторони щитів і пультів часто мають різноманітні елементи, які сприяють зрозумінню та зручному користуванню. Це допомагає операторам і технічному персоналу легко орієнтуватись і здійснювати керування та моніторинг системи, а також забезпечує зручність і безпеку в експлуатації.

Щити поділяють за виконанням на:

відкриті (панельні) та захищені (шафові);

щити і пульти можуть бути розділені на дві категорії в залежності від їх призначення. Оперативні щити та пульти використовуються для керування та контролю технологічними процесами, в них знаходяться інструменти і пристрої, необхідні для оператора. Неоперативні щити та пульти використовуються для розміщення апаратури та приладів, які не використовуються безпосередньо оператором для керування чи спостереження за технологічним процесом;

щити і пульти можна поділити на місцеві категорії, які розташовуються поряд з електрифікованим та автоматизованим устаткуванням. Це дозволяє операторам мати зручний доступ до необхідних керувальних елементів та пристроїв для ефективного керування та контролю за устаткуванням;

агрегатні щити і пульти мають апаратуру для керування, контролю та сигналізації одного окремого агрегату. Вони забезпечують ефективне управління та моніторинг окремих компонентів. У свою чергу, блочні щити і пульти розміщують засоби електрифікації та автоматизації для кількох агрегатів, які об'єднані в комплексну установку, що спрощує інтеграцію та керування всією системою;

центральні (розміщують апаратуру електрифікації та автоматизації, що

відноситься до всього технологічного процесу або комплексу технологічно пов'язаних виробництв);

допоміжні (розміщують реєструвальні прилади та лічильники, релейні щити, щити живлення тощо);

Загальний вид щитка керування наведено в додатку 3.

4.6 Розрахунок надійності системи автоматичного керування

Надійність системи визначається її здатністю виконувати встановлені функції при певних умовах експлуатації. Якщо система має низьку надійність, це може призвести до зниження продуктивності, збільшення потреби у обслуговуючому персоналі та зростання витрат на ремонт і обслуговування. Для оцінки надійності автоматичної системи керування необхідно розрахувати інтенсивність відмови кожного окремого елемента і скласти відповідну таблицю, наприклад, таблицю 4.5, де будуть згруповані ці дані.

Тепер знаходимо загальну інтенсивність відмов.

Знаючи строк нормальної експлуатації $t = 10000$ годин, ми можемо визначити результуючу імовірність відмови $P(t)$ за цей період:

$$P_{рез}(t) = e^{-k \cdot \sum \lambda_i \cdot t} \quad (4.6)$$

де k – коефіцієнт, що враховує вплив зовнішнього середовища (приймаємо 1);

$$P(t) = e^{-54.2745 \cdot 10^{-6} \cdot 10000} = 0.581 \quad (4.7)$$

Отже протягом 10000 годин роботи пристроїв, їх ймовірність відмови складає 0,581.

У випадках, коли результуюча надійність об'єкта не відповідає заданим технічним вимогам, застосовується резервування як метод підвищення надійності.

Таблиця 4.5. Розрахунки інтенсивності кожного окремого елемента

№ п/п	Назва елемента	Кількість елементів, 54т.	Інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/год	Загальна інтенсивність відмов $\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/год
1.	Кнопкові вимикачі «Пуск,Стоп»	16	0.063	1.008
2.	Електромагнітні пускатчі	8	0.25	2
3.	Тепловий вимикач	1	0.1375	0.1375
4.	Електродвигун змінного струму	8	5.24	41.92
5.	Пакетні перемикачі	1	0.175	0.175
6.	Терморезистор	1	0.087	0.087
7.	Сигнальні лампи	2	0.091	0.182
8.	Автоматичний вимикач	1	0.22	0.22
9.	Датчик рівня контактний	1	1.5	1.5
10.	Датчик витрати	6	1	6
11.	Блок живлення	1	0.6	0.6
12.	Контакти	17	0.025	0.425
13.	Розетки	1	0.02	0.02

Мінімальна задана ймовірність безвідмовної роботи $P_3(t) = 0.95 >$

$P_{рез}(t) = 0.581$. Щоб підвищити надійність схеми застосовуємо метод навантаженого резервування. Резервувати потрібно: електромагнітні пускатчі

(8 шт.), теплове реле (1шт.), кнопки (16шт.).

Отже виходячи із формули (4.8):

$$P_3(t) = P_1(t) - P_2(t) \quad (4.8)$$

Де $P_1(t)$ – імовірність безвідмовної роботи схеми, що резервується;

$P_2(t)$ – імовірність безвідмовної роботи частини схеми, що резервуванню не підлягає

$$P_2(t) = e^{-3.1455 \cdot 10^{-6} \cdot 10000} = 0,969 \quad (4.9)$$

$$P_1(t) = \frac{P_{рез}(t)}{P_2(t)} = \frac{0.581}{0.969} = 0.599 \quad (4.10)$$

Якщо врахувати, що навантажене резервування включає паралельне з'єднання елементів однакового типу, то можемо використати формулу для отримання нової формулювання:

$$m = \frac{\log(1 - 0.599)}{\log(1 - e^{-3.1455 \cdot 10^{-6} \cdot 10000})} \approx 1 \quad (4.11)$$

Так, достатньо мати лише один елемент (для SB1), який буде з'єднаний паралельно, щоб забезпечити вимагану надійність для всієї схеми.

Розділ 5

Програмування логічного контролера

Для програмування логічного контролера використовуватиметься програмне середовище CODESYS V3.5. Програма буде створюватися з використанням двох мов програмування, а саме структурованої текстової мови (Structured Text - ST) і функціонально-блокової діаграми (Function Block Diagram - FBD).

У мові програмування FBD будуть використовуватися логічні блоки, а також блоки, що утворені за рахунок програм, написаних на мові ST. Загальна структура програми на мові FBD має вигляд (рис. 5.1.)

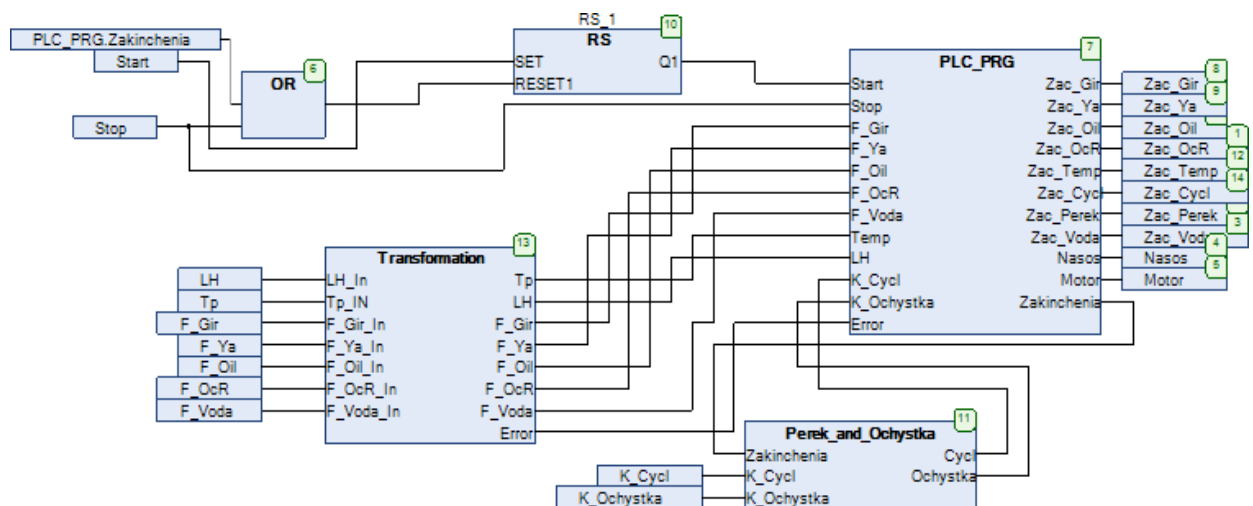


Рисунок 5.1 Структура програми

PLC_RPG є головним блоком, що керує всіма процесами автоматизації, зокрема процесом варіння майонезу. У ньому містяться описи основних змінних і функцій, які відповідають за цей процес. Його входніми параметрами є вихідні параметри блоку Transformation, який забезпечує перетворення сигналів з датчиків у цифровий код. Програмний блок Perek_and_Ochystka відповідає за режими роботи системи, зокрема циклічний режим або режим перекачки, а також за подальший режим очистки теплообмінного змішувача. Головний блок програми складається із наступних змінних наведено на рис. 5.2. Блок PLC_RPG написаний на мові програмування ST. Текст програми показано на рис. 5.3.

✖ VAR_INPUT	Error	BOOL	Помилка датчика
✖ VAR_INPUT	Start	BOOL	Включення
✖ VAR_INPUT	Stop	BOOL	Виключення
✖ VAR_INPUT	F_Gir	REAL	Витрата гірчиці
✖ VAR_INPUT	F_Ya	REAL	Витрата яєчного порошку і тд.
✖ VAR_INPUT	F_Oil	REAL	Витрата олії
✖ VAR_INPUT	F_OcR	REAL	Витрата оцетово - сольового розчину
✖ VAR_INPUT	F_Voda	REAL	Витрата води для очистки
✖ VAR_OUTPUT	Zac_Gir	BOOL	Заслінка гірчиці
✖ VAR_OUTPUT	Zac_Ya	BOOL	Заслінка яєчного порошку
✖ VAR_OUTPUT	Zac_Oil	BOOL	Заслінка олії
✖ VAR_OUTPUT	Zac_OcR	BOOL	Заслінка оцетово - сольового розчину
✖ VAR_OUTPUT	Zac_Temp	BOOL	Заслінка регулювання температури
✖ VAR_OUTPUT	Zac_Cycl	BOOL	Заслінка перекачки з циклом
✖ VAR_OUTPUT	Zac_Perek	BOOL	Заслінка перекачки на гомогенізатор
✖ VAR_OUTPUT	Zac_Voda	BOOL	Заслінка води для очистки
✖ VAR_INPUT	Temp	REAL	Значення температури
✖ VAR_INPUT	LH	REAL	Значення рівня
✖ VAR_OUTPUT	Nasos	BOOL	Вкл./Викл. насоса
✖ VAR_OUTPUT	Motor	BOOL	Вкл./Викл. двигуна мішалки
✖ VAR	TON_1	TON	Таймери
✖ VAR	TON_2	TON	
✖ VAR	SA1	BOOL	
✖ VAR	a1	STRING	
✖ VAR_INPUT	K_Cycl	BOOL	Кнопка циклічного режиму роботи
✖ VAR_INPUT	K_Ochystka	BOOL	Кнопка режиму очистки
✖ VAR	TON_4	TON	
✖ VAR_OUTPUT	Zakinchenia	BOOL	

Рисунок 5.2. Змінні блоку PLC_RPG

```

IF Start = TRUE THEN
    Motor := TRUE;
IF LH > 3 THEN
    Zac_Gir:=FALSE;
    Zac_Ya:=FALSE;
    Zac_Oil:=FALSE;
    Zac_OcR:=FALSE;
    Zac_Voda:=FALSE;
ELSE
    Zac_Gir:=TRUE;
    Zac_Ya:=TRUE;
    Zac_Oil:=TRUE;
    Zac_OcR:=TRUE;
END_IF

```

Рисунок 5.3. Текст програми

```

// Перевірка потоку рідини в трубопроводі
TON_1(in:= Zac_Gir OR Zac_Ya OR Zac_Oil OR Zac_OcR, PT:= T#15S);
  IF Zac_Gir = TRUE AND F_Gir = 0.0 AND TON_1.Q = TRUE THEN
    Start := FALSE;
    Zac_Gir:= FALSE;
  END_IF
  IF Zac_Ya = TRUE AND F_Ya = 0.0 AND TON_1.Q = TRUE THEN
    Start := FALSE;
    Zac_Ya:= FALSE;
  END_IF
  IF Zac_Oil = TRUE AND F_Oil = 0.0 AND TON_1.Q = TRUE THEN
    Start := FALSE;
    Zac_Oil:= FALSE;
  END_IF
  IF Zac_OcR = TRUE AND F_OcR = 0.0 AND TON_1.Q = TRUE THEN
    Start := FALSE;
    Zac_OcR:= FALSE;
  END_IF
// Контур температури
IF Temp <60 AND Stop = FALSE THEN
  Zac_Temp:= TRUE;
END_IF
IF Temp < 65 AND Temp > 60 THEN
  Zac_Temp:= FALSE;
END_IF
IF Temp > 65 THEN
  SA1 := TRUE;
  Zac_Temp:= FALSE;
ELSE
  SA1 := FALSE;
END_IF
IF K_Cycl = TRUE AND Zac_Gir = FALSE AND Zac_Ya = FALSE AND Zac_OcR = FALSE AND Zac_Oil
  Zac_Cycl:= TRUE;
  Nasos := TRUE;
  Zac_Perek := TRUE;
  Zac_Gir := FALSE;
  Zac_Ya := FALSE;
  Zac_OcR := FALSE;
  Zac_Oil := FALSE;
END_IF
TON_2(IN := K_Cycl, PT:= T#10S);
  IF K_Cycl = TRUE AND TON_2.Q = TRUE THEN
    Zac_Cycl := FALSE;
    IF LH = 0 THEN
      Motor := FALSE;
      Nasos := FALSE;
      Zac_Perek := FALSE;
      Zac_Temp := FALSE;
      Zac_Gir := FALSE;
    
```

Рисунок 5.3 (продовження)

```

        Zac_Ya := FALSE;
        Zac_OcR := FALSE;
        Zac_Oil := FALSE;
    END_IF
END_IF
    IF K_Cycl = TRUE AND Ton_2.Q = TRUE AND K_Ochystka = TRUE AND LH = 0 AND Zac_Cycl = FALSE AND
AND Zac_Gir = FALSE AND Zac_Ya = FALSE AND Zac_OcR = FALSE AND Zac_Oil = FALSE THEN
        Zac_Temp := FALSE;
        Motor := TRUE;
        Zac_Voda := TRUE;
        Zac_Gir:=FALSE;
        Zac_Ya:=FALSE;
        Zac_Oil:=FALSE;
        Zac_OcR:=FALSE;
        Zac_Perek:= TRUE;
        TON_4(IN:= K_Ochystka, PT:= T#10S);
    END_IF
    IF K_Ochystka = TRUE AND TON_4.Q = TRUE THEN
        K_Ochystka := FALSE;
        Motor := FALSE;
        Zac_Voda:= FALSE;
        Zac_Temp := FALSE;
        Zac_Perek:= FALSE;
        Zakinchenia := TRUE;
        Zac_Gir := FALSE;
        Zac_Ya := FALSE;
        Zac_OcR := FALSE;
        Zac_Oil := FALSE;
    END_IF
    IF Zakinchenia = TRUE OR STOP = TRUE THEN
        K_Cycl := FALSE;
        Zac_Temp := FALSE;
        Motor := FALSE;
        Zac_Voda:= FALSE;
        Motor := FALSE;
        Zac_Gir := FALSE;
        Zac_Ya := FALSE;
        Zac_OcR := FALSE;
        Zac_Oil := FALSE;
    END_IF
END_IF

```

Рисунок 5.3 (продовження)

Блок перетворення сигналу має наступний вигляд (рис. 5.4):

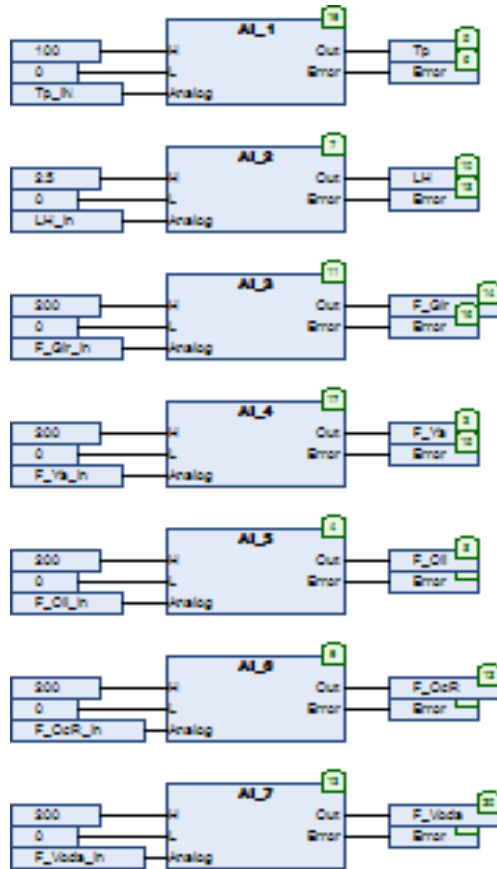


Рисунок 5.4. Блок Transformation

Кожен блок має вхідні значення, серед яких перші два представляють максимальне і мінімальне значення, які може виміряти датчик. Останнє вхідне значення представляє сигнал, отриманий від самого датчика.

Блок AI_n складається з наступного коду (рис. 5.5).

```

Out := (H-L)/27648*Analog+L;
H_Code:= 27648;
L_Code:= 10;
IF Analog > H_Code AND Analog < L_Code THEN
    Error := TRUE;
END_IF

```

Рисунок 5.5. Блок AI_n

Маркер Error відповідає за сигналізацію ненормальної роботи датчика. Якщо значення сигналу менше 10, це означає, що датчик пережив обрив. А

якщо значення сигналу більше 27648, це може вказувати на неправильну калібровку датчика або неправильно встановлені максимальні межі для нього. Програма циклу, перекачки і очистки активується шляхом натискання відповідної кнопки на панелі оператора. Вона має таку структуру:

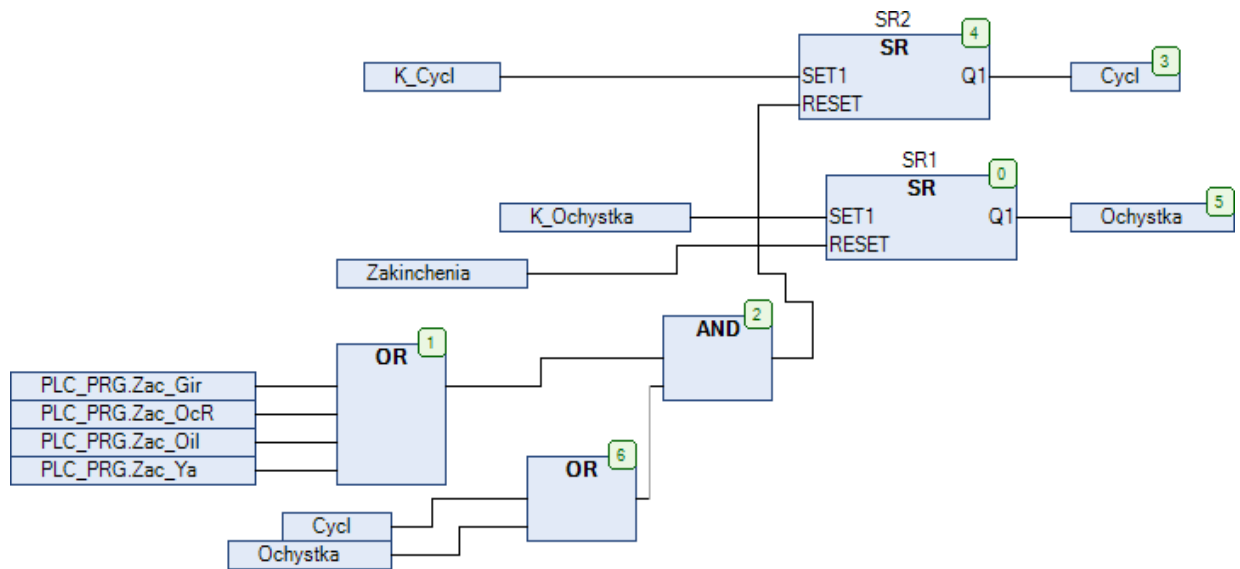


Рисунок 5.4. Структура програми циклу, перекачки і очистки

Ця програма розроблена з урахуванням всіх технологічних вимог і забезпечує належне та правильне функціонування автоматизованої системи.

Розділ 6

Розрахунок техніко-економічної ефективності автоматизації систем виробництва майонезу.

Виробничо-технічні напрямки охоплюють заходи, спрямовані на покращення якості сировини для його використання в виробництві, вдосконалення конструкції машин, устаткування і виробів, використання більш економічних видів сировини та палива, впровадження нової техніки і передових технологій. Ці заходи спрямовані на максимальне по-меншення технологічних відходів і втрат матеріальних ресурсів у процесі виробництва, а також на максимальне використання вторинних матеріальних ресурсів.

Основні організаційно-економічні напрямки економії матеріальних ресурсів включають комплекс заходів, спрямованих на покращення наукового рівня нормування і планування матеріалоємності промислової продукції. Це включає розробку та впровадження технічно обґрунтованих норм і нормативів витрати матеріальних ресурсів.

Основний шлях зниження витрат матеріальних ресурсів на кожному підприємстві полягає в збільшенні виробництва кінцевої продукції при тому ж обсязі сировини і матеріалів. Це залежить від рівня технічного оснащення виробництва, кваліфікації працівників, організації матеріально-технічного забезпечення, а також від раціонального використання норм витрати і запасів матеріальних ресурсів. Велике значення має зменшення втрат у виробничому процесі, що може призвести до економії матеріальних ресурсів на рівні 15-20%.

Таблиця 6.1. Кошторис системи автоматичного керування

Назва	Кільк.	Вартість, тис.грн
Датчик температури ОВЕН ДТС 100М	1	0,274
Датчик витрати ВЗЛЕТ МР	1	35,000
Датчик рівню VEGASWING 61	1	9,060
Електродвигун АИР 160S4	1	9,200
МСО-40/10-0,25 Р-99К	6	9,000
Насос Estampinox EPI	1	8,000
Електромагнітні пускачі КМИ-34012	8	5,404
Тепловий вимикач РТЛ 2055	1	0,749
Сигнальні лампи ІЕК AD16DS	2	0,054
Автоматичний вимикач ІЕК ВА88-32	1	0,860
Блок живлення 24 В	1	0,380
Пакетний перемикач EMAS PS020ZE210	1	0,215
Програмний контролер ОВЕН 73	1	5,632
Кнопковий пост е.cs.stand.xal.d.211	8	0,949
Кабель 175м.		4,600
Всього	34	89,377

Витрати на монтажні роботи технічних засобів автоматизації на сучасному ринку праці буде становити приблизно 17-20% від вартості технічних засобів, тоді:

$$K_m = 0.18 * 89\,377 = 16\,087,86 \text{ грн.} \quad (6.1)$$

Якщо прийняти, що вартість транспортних витрат, пов'язаних з доставкою, погрузочними роботами та іншими витратами, становить 2% від вартості засобів автоматизації, то:

$$K_{\text{транс.}} = 0,02 * 89\,377 = 1\,787,54 \text{ грн.} \quad (6.2)$$

Якщо прийняти, що інші експлуатаційні витрати, такі як прокладання кабелю та інші подібні витрати, становлять також 2% від вартості засобів автоматизації, то:

$$K_{\text{ін.}} = 0,02 * 89\,377 = 1787,54 \text{ грн.} \quad (6.3)$$

Отже капітальні вкладення у дану систему автоматизації будуть становити:

$$K = K_{\text{з.а.}} + K_{\text{м}} + K_{\text{транс.}} + K_{\text{ін}} = 109\,039,94 \text{ грн.} \quad (6.4)$$

Якщо ми визначимо повну суму капітальних вкладень, то зможемо розрахувати, скільки коштів буде амортизовано протягом певного періоду. В даному випадку, амортизація буде проводитися за пропорційним методом протягом 5 років. Тому сума амортизаційних відрахувань становитиме:

$$A_p = \frac{K}{T_a} = \frac{109\,039,94}{5} = 21\,804,99 \text{ грн.}$$

Якщо ми розглядаємо витрати, пов'язані з експлуатацією системи автоматизації, то одним зі значних складників є ремонт устаткування цієї системи. При некапітальному ремонті, можна прийняти, що вартість затрат не перевищує 20% від вартості обладнання, то:

$$K_{\text{рем.}} = 0.2 * 89\,377 = 17\,875,4 \text{ грн.} \quad (6.6)$$

Кількість використаної електроенергії в місяць для цієї системи будуть становити:

$$E_v = (P * 6) * 22 = (20\,160 * 6) * 22 = 2\,661,12 \text{ кВт.} \quad (6.7)$$

Де P – потужність системи автоматизації у кВт; 6 –

час роботи системи на 1 зміну;

22 – кількість робочих днів на місяць;

Вартість затрат на електроенергію в місяць:

$$K_e = E_v * C = 2\,661,12 * 1,68 = 4\,470,68 \text{ грн.} \quad (6.8)$$

де С – тариф на оплату електроенергії за 1кВт.

Також потрібно розрахувати витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу даної системи. Для забезпечення нормального функціонування та швидкого реагування на випадок виникнення непередбачуваних ситуацій потрібно мати двох працівників. Заробітна плата розраховується на основі тарифної ставки, де вартість години роботи становить 60 грн.

Витрати на оплату праці в місяць:

$$K_{o.п.} = ((60 * 8) * 22) * 2 = 21\,120 \text{ грн.} \quad (6.9)$$

Експлуатаційні витрати за місяць становлять:

$$K_e = A_m + K_{рем.} + K_e + K_{o.п.} = 45\,283,16 \text{ грн.} \quad (6.10)$$

При відомих експлуатаційних витратах, можна знайти собівартість виготовленої продукції, тоді:

$$B_m = (1 * 5) * 22 = 110 \text{ т. майонезу}$$

Де 1 – це продуктивності системи за годину; 5 – кількість циклів виробництва.

Тоді частка собівартість тони виробленої продукції буде дорівнювати:

$$CB = \frac{K_e}{B_m} = \frac{45\,283,16}{110} = 411,66 \text{ грн.}$$

Повна собівартість продукції із затратами на складники дорівнює 5000.

Прибуток реалізований з продажу майонезу = 3000 грн.

Тоді термін окупності системи буде дорівнювати:

$$T_{ок} = \frac{K}{Ч} = \frac{109\,039,94}{3000 * 12} = 3,02 \quad (5.12)$$

Отже термін окупності даної системи становить 3 роки і 1 місяць, що є економічно доцільним інвестуванням.

Висновок

У даній дипломній роботі було проведено дослідження процесу виготовлення майонезної емульсії з використанням регулювання температури майонезу через канал. У першому розділі докладно описано технологію виробництва майонезу методом періодичного виготовлення, а також розроблена технологічна і функціональна схема автоматизації даного процесу.

У другому розділі було вибрано технічні засоби автоматизації, які включають первинні вимірювальні пристрої для вимірювання температури, витрати речовини та рівня, а також виконавчі механізми, програмований логічний контролер від компанії ОВЕН, регулюючий орган, електродвигун і насос. Були проведені розрахунки передатних функцій для засобів автоматизації по каналу регулювання температури, а також виконаний розрахунок для вибору регулюючого органу.

У третьому розділі був проведений розрахунок нормованої кривої за отриманою розгінною характеристикою для визначення передатної функції об'єкта автоматизації. Також була створена імітаційна модель даної системи автоматизації у середовищі Matlab Simulink. Проведено дослідження основних параметрів якості системи з використанням цієї моделі.

У четвертому розділі був проведений розрахунок потужності системи з метою вибору відповідних пристроїв для пуску, налаштування та захисту системи. Був розроблений фрагмент електричної принципової схеми системи автоматизації, а також схеми з'єднань, підключень і загальний вигляд шафи керування. Описані основні вимоги, які були враховані при розробці цих креслень. Також була здійснена оцінка надійності системи та проведене резервування необхідних елементів для забезпечення надійності роботи.

У п'ятому розділі були проведені розрахунки, пов'язані з економічним аспектом даної системи автоматизації. Були розраховані витрати, необхідні для придбання, транспортування та монтажу засобів автоматизації, а також експлуатаційні витрати. Крім того, був проведений розрахунок собівартості

виробленої продукції. На основі цих даних було визначено термін окупності системи автоматизації, тобто час, протягом якого інвестиції в систему повернуться завдяки економічним вигодам, отриманим в результаті автоматизації процесу.

У шостому розділі було проведено програмування обраного раніше логічного контролера. Для програмування використовувалося середовище CODESYS. Було детально описано, з яких основних блоків і мов складалася програма, а також наведена її структура і основні змінні. Це дозволяє контролеру виконувати необхідні функції і керувати процесами автоматизації згідно з встановленими алгоритмами і умовами.

Література

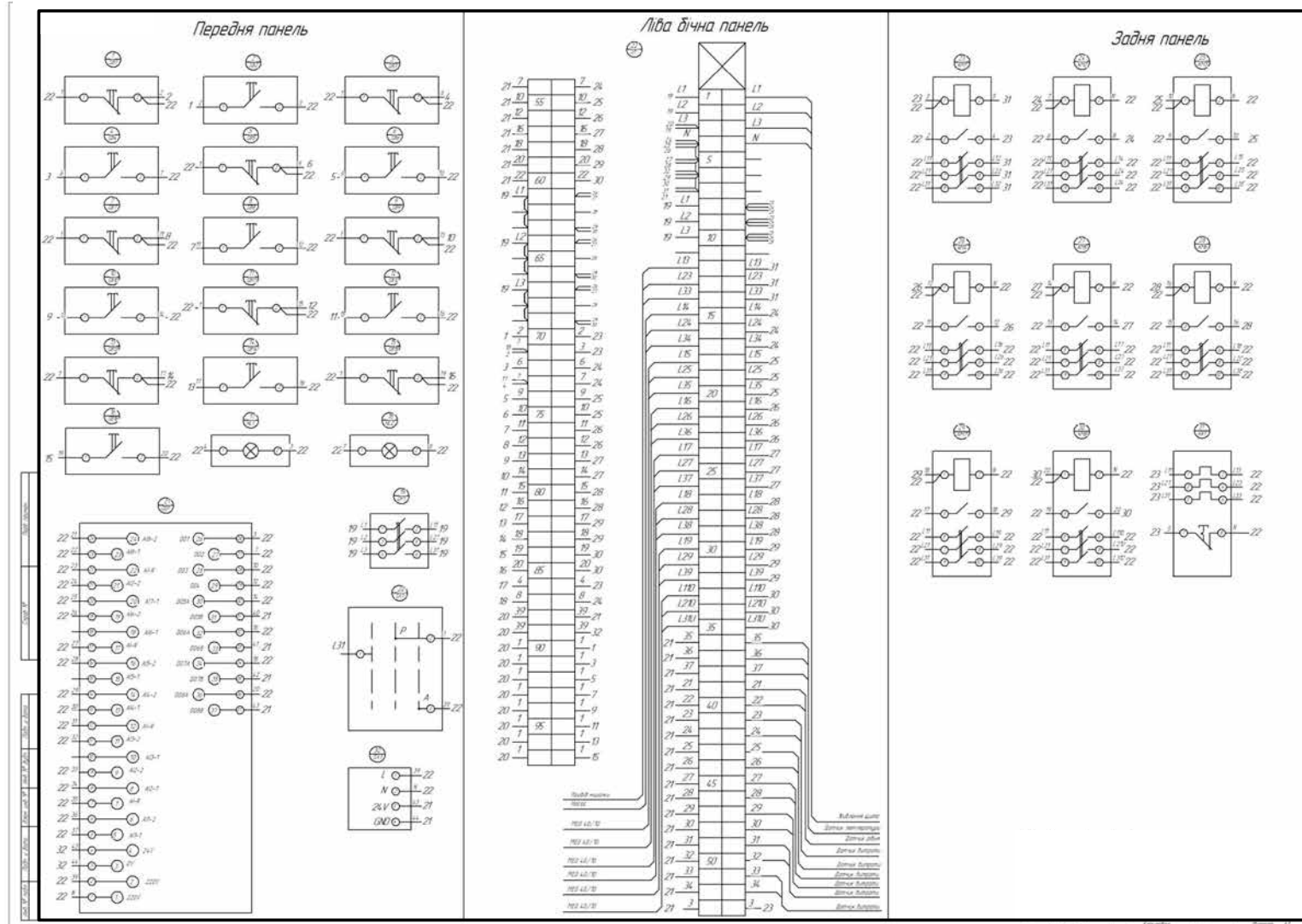
1. І.І. Мартиненко, В.П. Лисенко, Л.П. Тищенко, І.М. Болбот Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК. – 2008. – 330 с.
2. В.П. Лисенко, І.М. Болбот, С.А. Шворов, В.В. Коваль, Н.А. Заєць, Т.І. Лендел, К.В. Наконечна, А.І. Болбот. Основні методи та методики підготовки кваліфікаційної роботи магістрів. Навчальний посібник (для студентів зі спеціальності 174 - Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка). Київ, 2023. – 462 с.
3. Бахмач В.О. Удосконалення технології виробництва майонезів на основі комплексного стабілізатора. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, спеціальність 05.18.06 – технологія жирів, ефірних масел і парфумерно-косметичних продуктів, Харків, НТУУ «ХПІ», 2014. – 25 с.
4. Рамадан Х. Е., А.Т. Безусов, З.Ю. Средницька. Розробка технології фрукто-овочевих майонезів. Харчова наука і технологія, 2008. № 4 (5). С. 38–41.
5. Лисенко В.П., Решетюк В.М., Цигульов І.Т. Основи автоматики: теорія і практика (ч.1). Видання 2-е, перероблене і доповнене. / Лисенко В.П., Решетюк В.М., Цигульов І.Т. – К.: Освіта України, 2013. – 720 с.
6. Технологія майонезів, салатних соусів та дрессингів : Навч. посібник / В. К. Тимченко, А. К. Зябченкова, А. А. Савус. – Харків: НТУ «ХПІ», 2007.-160 с.
7. Носенко Т.Т., Бабенко В.І., Бахмач В.О., Кубайчук О.О. Оптимізація рецептури майонезних емульсій з яєчним білком. Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2018. Т. 24, 4. с. 185–194.
8. Бахмач В.О, Пешук Л.В. Удосконалення технології майонезів з використанням рослинної сировини. Харчова промисловість. 2015 № 18. с. 27–36.
9. Статистичні задачі та аналіз в технологіях [Електронний ресурс]: лабораторний практикум для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» освітньо-професійної програми «Хімічні технології харчових добавок та косметичних засобів»

денної та заочної форм навчання. / уклад. Т. Г. Мисюра, Н.В. Попова. – К.: НУХТ, 2019. – 127 с.

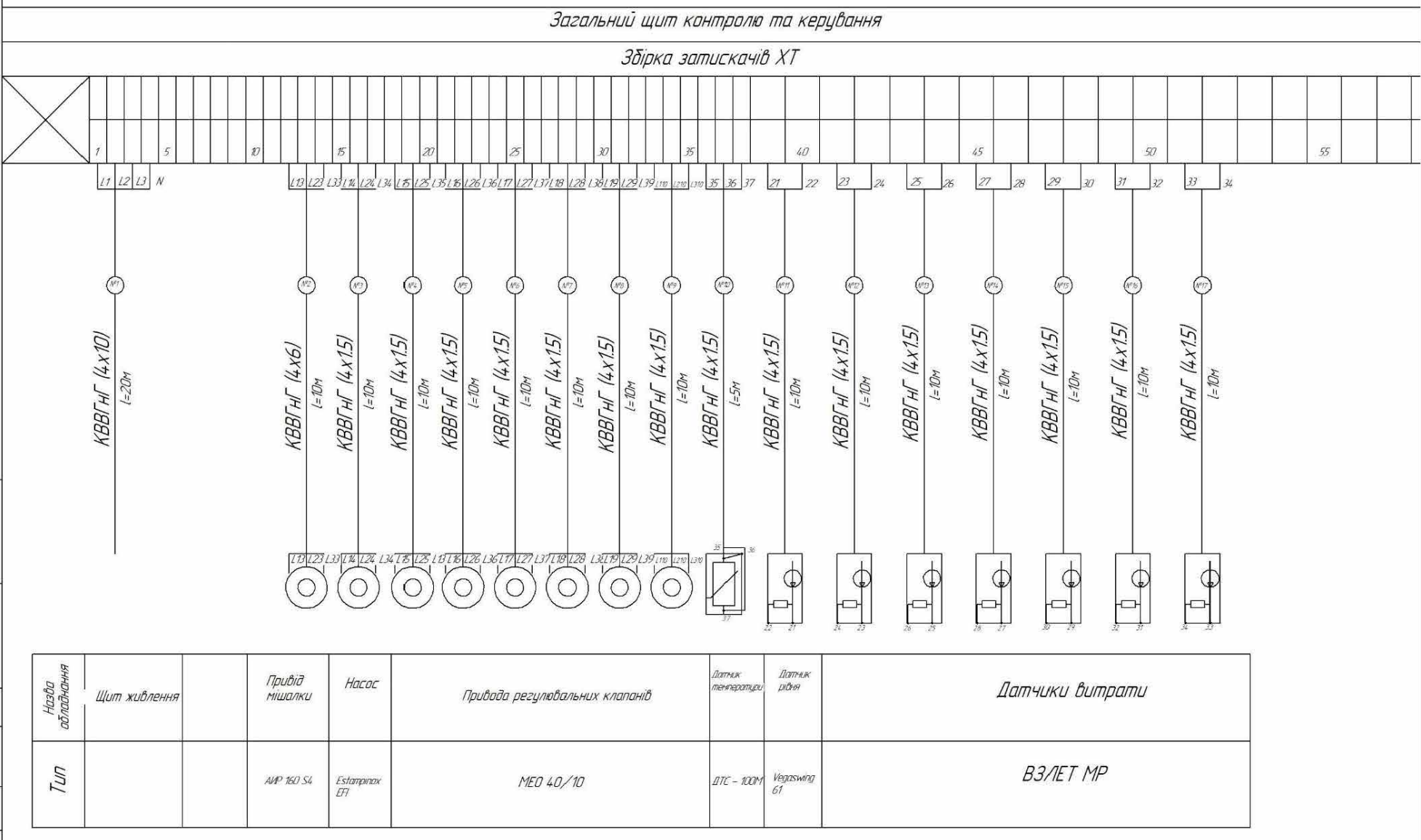
10. Попович М. Г., Ковальчук О. В. П58 Теорія автоматичного керування: Підручник. — 2-ге вид.: Либідь, 2007. — 656 с.
11. Palacios, C. The Role of Nutrients in Bone Health, from A to Z . Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2006. Vol. 46, № 8. P. 621–628. doi:10.1080/10408390500466174
12. Cox, B. G. Acids and Bases: Solvent Effects on Acid-Base Strength [Text] / B. Cox. Oxford: Oxford University Press, 2013. 143 p. doi:10.1093/acprof:oso/9780199670512.001.0001
13. Liu, H. Rheological, texture and sensory properties of lowfat mayonnaise with different fat mimetics. LWT – Food Science and Technology, 2007. Vol. 40, № 6. P. 946–954. doi:10.1016/j.lwt.2006.11.007
14. Codesys v3(OBEH)-<http://cleverhouse.club/brand/owen-ru/programming-plc-from-codesys.html>
15. Kaskad Electro <http://www.kaskadelectro.ru/>
16. Онлайн магазин-<https://prom.ua>

ДОДАТКИ

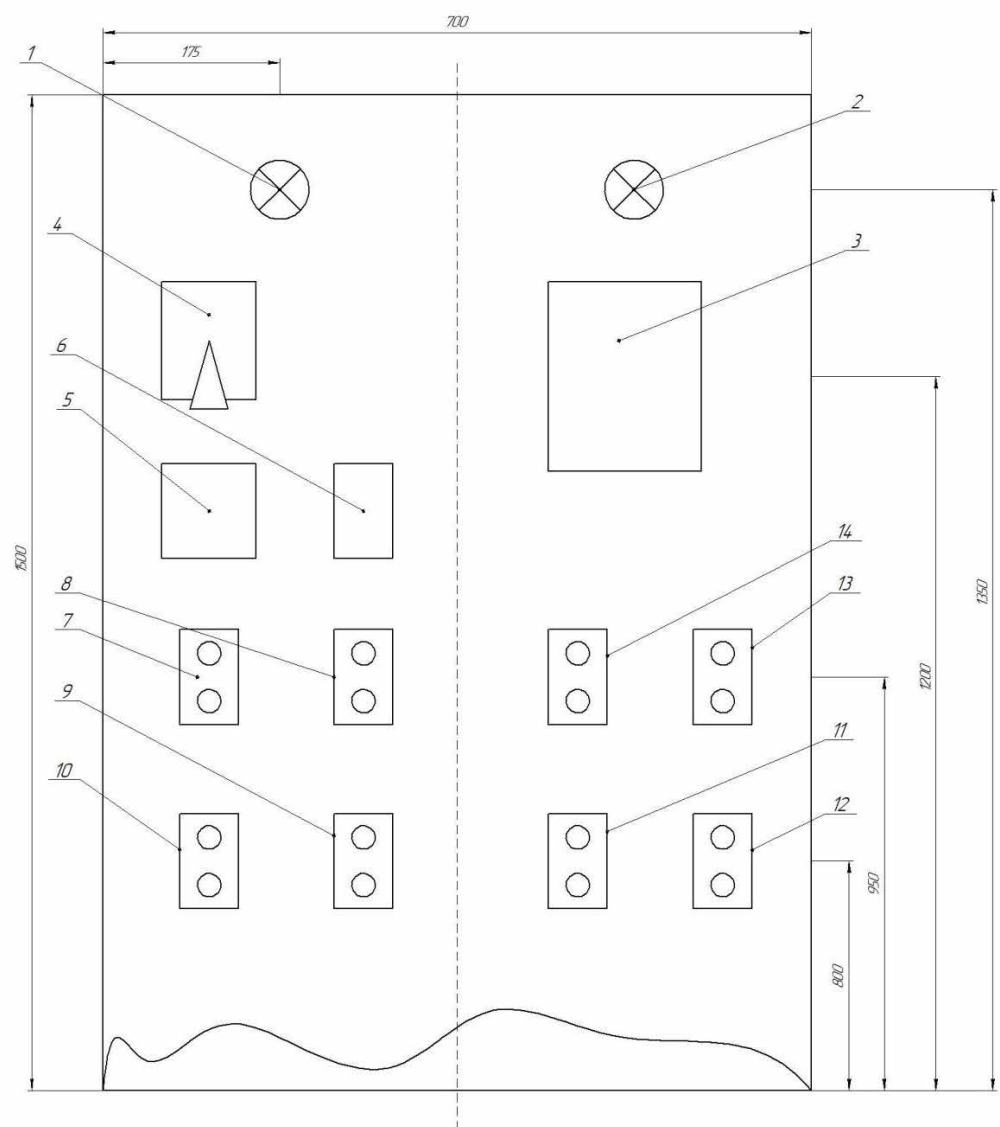
Додаток 1. Електрична схема з'єднань



Додаток 2. Електрична схема підключень



Додаток 3. Загальний вид щита керування



№	Найменування	Примітка
1	Сигнальна лампа HL1	
2	Сигнальна лампа HL2	
3	Програмований логічний контролер ОВЕН 73	
4	Автоматичний вимикач QF1	
5	Блок живлення	
6	Пакетний перемикач SA1	
7	Кнопковий пост (2 кнопки)	
8	Кнопковий пост (2 кнопки)	
9	Кнопковий пост (2 кнопки)	
10	Кнопковий пост (2 кнопки)	
11	Кнопковий пост (2 кнопки)	
12	Кнопковий пост (2 кнопки)	
13	Кнопковий пост (2 кнопки)	
14	Кнопковий пост (2 кнопки)	