

Форма № Н-9.02
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 664.346+681.51
ПОГОДЖЕНО ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Директор ННІ Завідувач кафедри

Енергетики, автоматики і
енергозбереження

Автоматики та робототехнічних
систем ім. акад. І.І. Мартиненка

Каплун В.В. Лисенко В.П.
« » 20 р. « » 20 р.

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА
на тему «РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-
ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ

ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МАЙОНЕЗУ НА МАРГАРИНОВОМУ ЗАВОДІ НА
БАЗІ КТЗ ОВЕИ»

Спеціальність: 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Спеціалізація: освітньо-професійна

Виконав Юрченко Д.О.

Керівник магістерської роботи

Мірошник В.О., к.т.н., доц.

НУБІП України

НУБІП України

КНІВ – 2020

РЕФЕРАТ

У даній магістерській роботі описано процес розробки та дослідження комп'ютерно-інтегрованих систем керування процесом гомогенізації майонезу на маргариновому заводі на базі КТЗ Овен.

Дана робота має 88 сторінок, 7 розділів (аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації, дослідження об'єкта автоматизації, вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань, дослідження системи автоматизації, використання системи інтернет речей у процесі виробництва, схеми системи автоматизації, розрахунок економічної ефективності впровадження САК), 5 додатків, 52 рисунок, 18 таблиць.

Магістерська робота розроблена студентом групи АКІТ-20002М Юрченко Дмитро Олегович. Керівник роботи – Мірошник Володимир Олександрович.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ЗМІСТ

ВСТУП..... 4

РОЗДІЛ I. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА
АВТОМАТИЗАЦІЇ..... 5

РОЗДІЛ II. ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ..... 13

РОЗДІЛ III. ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ..... 19

РОЗДІЛ IV. ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ..... 38

РОЗДІЛ V. ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ У ПРОЦЕСІ
ВИРІВНИЦТВА..... 44

РОЗДІЛ VI. СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ..... 64

РОЗДІЛ VII. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ
ВПРОВАДЖЕННЯ САК..... 77

ВИСНОВКИ..... 82

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ..... 83

ДОДАТКИ..... 84

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

Майонез – це харчовий продукт, який складається з рослинної олії, сухого молока, яєчного порошку, гірчичного порошку, цукру, сіллю та інших харчових та смакових добавок. На даний момент, у світі, існує декілька рецептів майонезу, які мають відмінність у жирності самого продукту («Європейський» 72%, «Провансаль» 67%, «Салатний» 50%, «Делікатесний» 28%).

Так, як даний соус є досить популярний у світі постає питання у оптимізації процесу виготовлення даного продукту, а саме зменшити брак при виробництві.

У даній магістерській роботі буде розглянуто процес гомогенізації майонезу, так як даний процес є одним з головних процесів при виробництві.

Звідси метою роботи є удосконалення процесу гомогенізації, розробивши керування рівнем у головному баку, використавши сучасні технічні засоби автоматизації, поєднавши їх з технологією інтернет речей для передачі даних на відстань, а саме використання Wi-Fi мережі.

Виходячи з мети, об'єктом дослідження є процес гомогенізації у головному баку-змішувачі. А предметом дослідження є якісні характеристики під час процесу гомогенізації майонезної емульсії та збільшення економічного ефекту за рахунок зменшення браку на виробництві та зменшення обслуговуючого персоналу.

Для досягнення поставленої мети потрібно розглянути такі завдання:

1. Проаналізувати технологічний процес гомогенізації майонезу.
2. Провести дослідження об'єкту автоматизації.
3. Підібрати технічні засоби автоматизації, а також технічні засоби для використання технології інтернет речей, розробити структурну схему даного процесу та програмне забезпечення функціонування процесу.
4. Провести розрахунок економічного ефекту та терміну окупності проекту.

НУБІП України

РОЗДІЛ І. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1. Технологічний процес виробництва майонезу

Технологічний процес виробництва майонезу передбачає створення оптимальних умов, що дозволяють одержати однорідну й стійку систему із практично нерозчинних один одному компонентів (олії та води).

Розглядаються такі фактори, як концентрація сухих інгредієнтів, швидкість подачі олії, міцність на механічний удар тощо [2].

Технологічна схема всього процесу зображена на рис. 1.1.

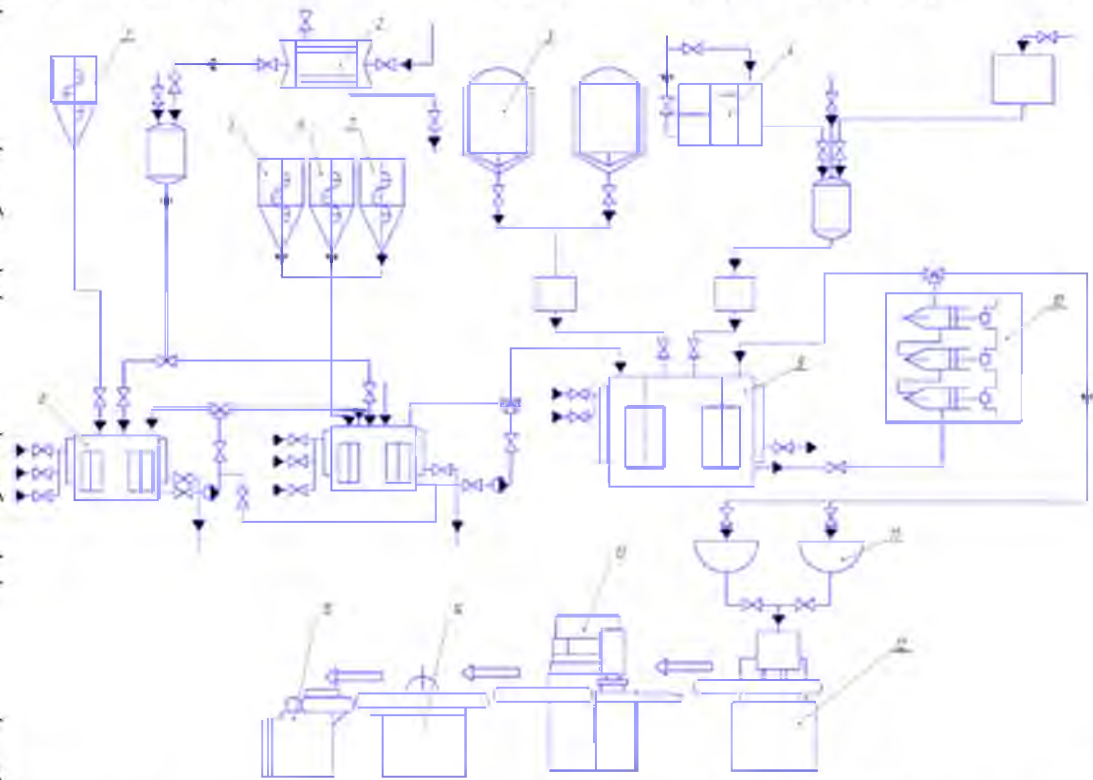


Рис. 1.1. Технологічна схема виробництва майонезу (1 – бункер з гірничим

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 – змішувачі великі, 10 – гомогенізатор, 11 –

дозаторні бункери, 12 – розливний апарат, 13 – закатувальний станок, 14 –

пакувальний станок)

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.

Одним із важливих завдань сучасного виробництва олії та жиру є створення високоякісних емульсійних продуктів. Тому у магістерській роботі буде розглянуто процес приготування тонкої емульсії майонезу [2].

Технологія включає наступні операції (рис. 1.2): подача грубої емульсії майонезу в основний резервуар; пропуск грубої емульсії через гомогенний диспергатор; дозування олії та оцту; перенесення готового майонезу в готовий бак.

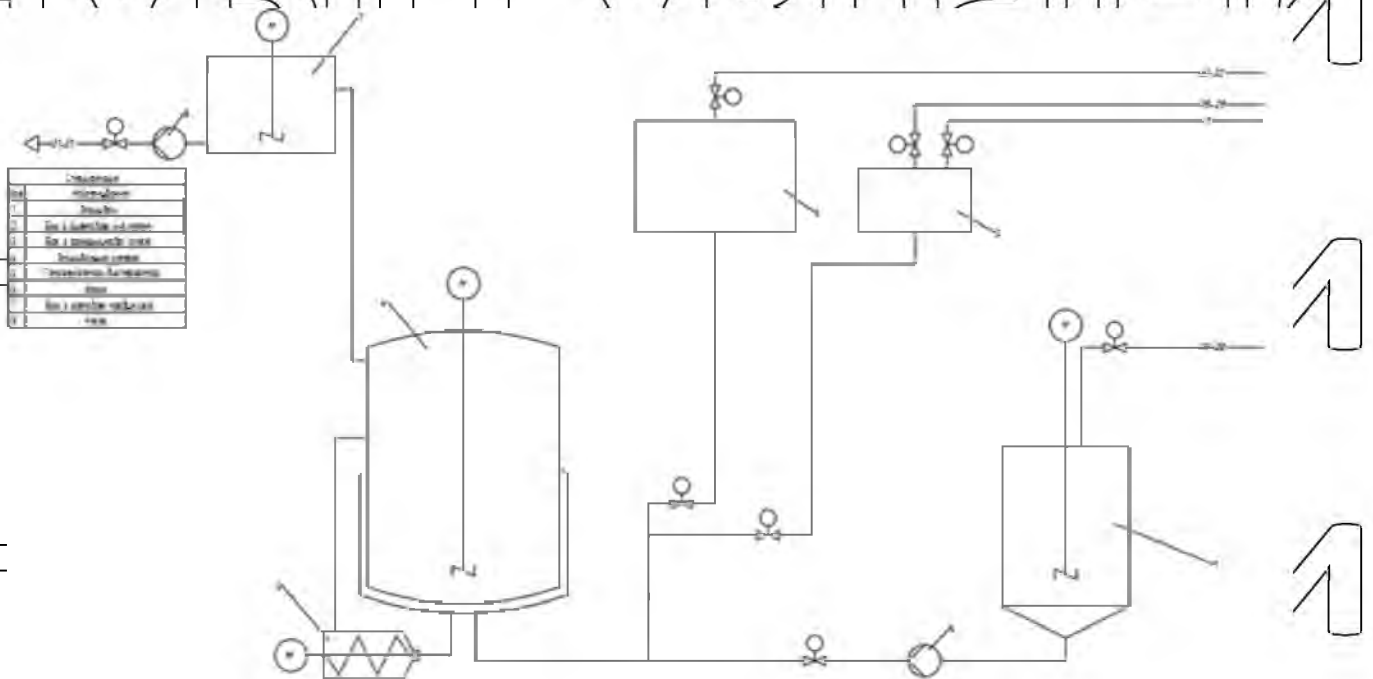


Рис. 1.2. Технологічна схема автоматизації гомогенізації майонезу

Грубу майонезну емульсію подають в камеру змішувача 1 в якій вона підтримує форму до подачі у головний бак-змішувач 4 по трубопроводу через насос 6. З моменту введення компонентів у змішувальну камеру включається скребковий змішувач зі швидкістю 18 хв⁻¹. Після подачі емульсії вона проходить

через гомогенізатор-диспергатор 5. За допомогою каналу рециркуляції утворюється замкнений контур "змішувальна камера-дисперсійна камера-змішувальна камера" [2].

Приготований майонез охолоджували і при безперервному перемішуванні та рециркуляції вводили з масляного бака 3 через пристрій подачі масла (дозуючий пристрій) з ємності 3 в рослинне масло з температурою $22,5^{\circ}\text{C}$. Потім задалегідь визначена кількість оцтової кислоти подається дозуючим пристроєм з резервуара 2 [2].

Циркуляція виконується в камері змішувача 4 для отримання рівномірної якості. Вивантаження продукту здійснюється гомогенізатором-диспергатором. Накачайте готовий майонез в бак (для готового продукту) 7, а потім в вакувальний насос 8.

Карту параметрів технологічного процесу (табл. 1.1) складають у результаті вивчення технологічного процесу.

Табл. 1.1
Карта параметрів технологічного процесу

№	Технологічний параметр	Номінальні значення	Допустимі відхилення
1	Тиск	1 МПа	$\pm 0,1$ МПа
2	Температура рослинної олії	$22,5^{\circ}\text{C}$	$\pm 2,5^{\circ}\text{C}$
3	Температура майонезної пасти	35°C	$\pm 5^{\circ}\text{C}$
4	Температура готової продукції	20°C	$\pm 3^{\circ}\text{C}$
5	Оберти двигунів	18 об/хв	$1 \cdot 10^{-18}$ об/хв

План функцій автоматизації виконується на основі технічного плану. Цей процес виконується періодичним методом (рис. 2.3). Через лінії 28-28 груба емульсія майонезу потрапляє в проміжний бак, де його змішують для підтримки і підтримки концентрації майонезу на тому ж рівні. Датчик рівня рідини 1.1 вимірює верхній і нижній рівні наповнення резервуара накопичувального клапана 1.3. Після цього емульсія досягає основного резервуара через насос, де змішується з частотою 18 хв^{-1} . Після наповнення резервуара рівень рідини 8.1

охолоджується. Після запуску починається процес гомогенізації. Гомогенізацію майонезної емульсії слід ретельно стежити за необхідним нижнім тиском. Тиск на гомогенізатор встановлюється регулюванням зазору в гомогенізуючій головці. Додаючи емульсію до гомогенізатора, встановіть оптимальний тиск, щоб надати майонезу потрібну консистенцію. Перед встановленням необхідного тиску (датчик тиску 6.1) майонез після гомогенізатора знову потрапить у великий змішувач. Для жирного майонезу оптимальний тиск становить 0,90-1,1 МПа [2].

У великих змішувачах емульсії погано змішуються, оскільки надмірне змішування може спричинити руйнування емульсії або зміну фаз, а занадто тривале просіювання також може спричинити розшарування. Для емульсії з певною концентрацією відхилення від оптимального тиску спричинить руйнування: у разі надмірного тиску адсорбційна мембрана буде зруйнована, що призведе до злиття та водної фази. У випадку зниженого тиску тонкої дисперсії неможливо досягти, виключаючи таким чином отримання тонкої дисперсії та стабільної емульсії [2].

Після проходження через гомогенізатор розведена емульсія охолоджується. Керується датчиком температури 5.1. Продовжуйте помішувати емульсію. Після охолодження рослинна олія надходить з масляного бака 3, який контролюється датчиком рівня 4.1. Подача масла регулюється клапанами 4.3 і 4.4. Після змащування додайте воду та оцет, який контролюється за допомогою манометра рівня 3.1, а потім по черзі керуйте клапанами 3.3, 3.4, 3.5. Стіввідношення додавання оцту становить 1:50 або 1: 100. Після змішування готовий продукт направляється в резервуар разом з готовим продуктом, де він переміщується. Клапан 11.3 керується сигналом датчика рівня рідини 11.1. Майонез готовий до упаковки [2].

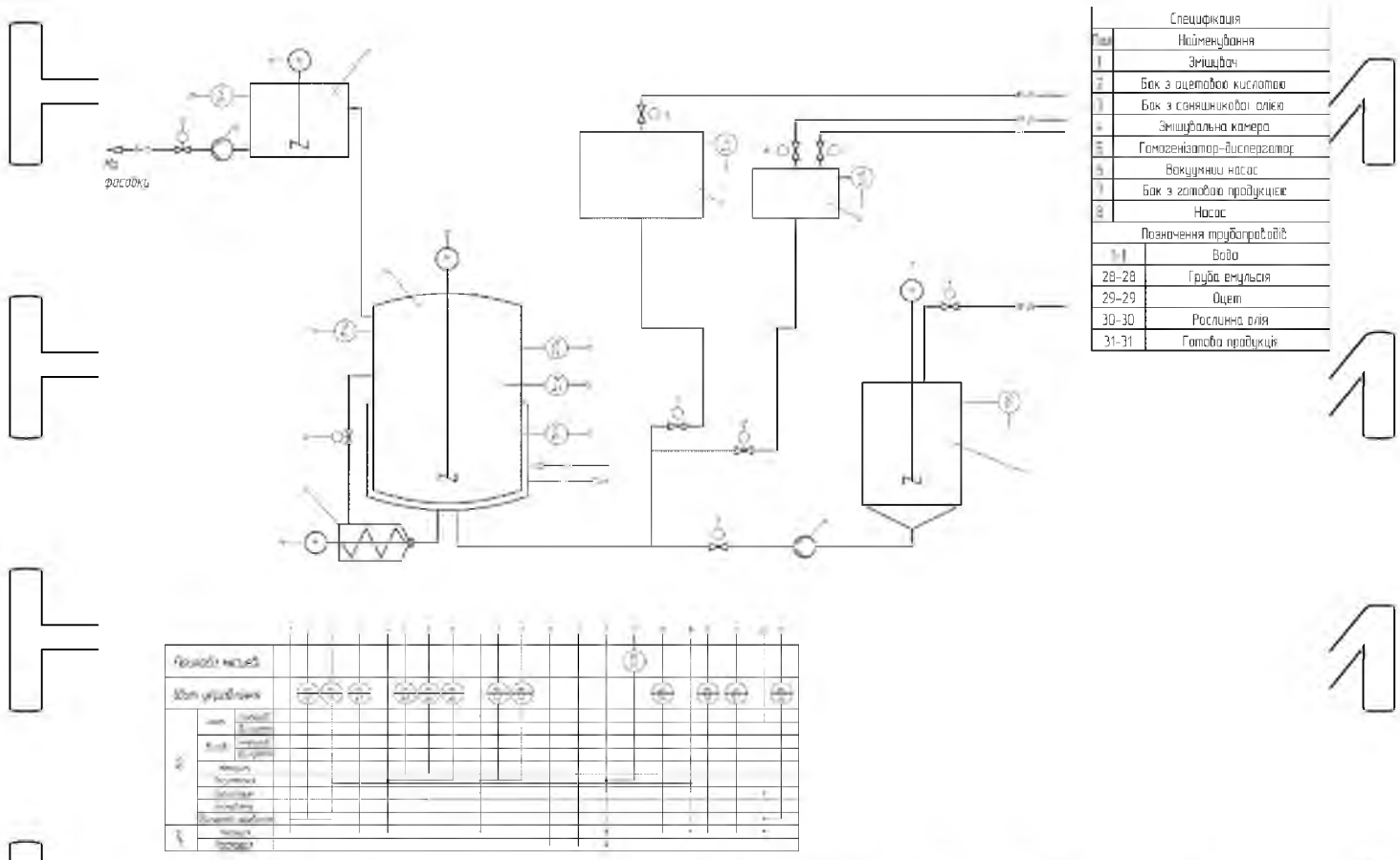


Рис. 1.3 Функціональна схема автоматизації гомогенізації майонезу

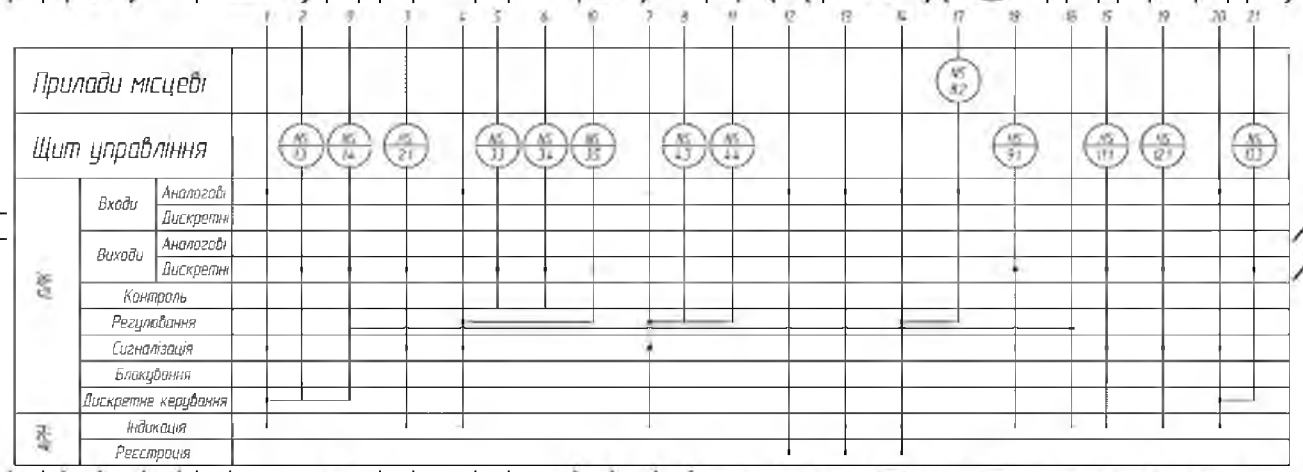


Рис. 1.4. Розширена таблиця схеми автоматизації

Необхідно контролювати: рівень грубої емульсії, рівень оптової води, рівень рослинного масла, температура основного резервуара, тиск грубої емульсії в головному резервуарі, рівень основного резервуара, рівень готового бака.

Підлягає регулюванню: рівень грубої емульсії, рівень оптової води, рівень рослинного масла, тиск грубої емульсії в головному резервуарі, рівень у головній бочці, рівень у баку з готовою продукцією

Індикація: рівень грубої емульсії, рівень оцту з водою, рівень рослинного масла, температура в основній ємності, температура води в середині кожуха, тиск грубої емульсії в головному резервуарі, рівень рідини в головному резервуарі, рівень у готовому баку Рівень.

Сигналізація: тиск сирої емульсії, рівень сирої емульсії, рівень оцту з водою, рівень рослинного масла, рівень рідини в головному резервуарі, рівень рідини в готовому баку.

Тому розробка функціональних рішень автоматизації процесів доповнить існуючі системи автоматизації. Для цього сценарію потрібно знайти нове обладнання або оновити інструменти, встановлені під час цього процесу.

1.2. Параметричний аналіз технологічного процесу як об'єкти автоматизації

Процес гомогенізації майонезу відбувається у баку періодичної дії, в якому спочатку виконується наповнення цього баку, перемішування для підтримки емульсії на певному рівні та сам процес гомогенізації. Для проведення параметричного аналізу спочатку складемо спрощену схему ОК (рис. 1.5).

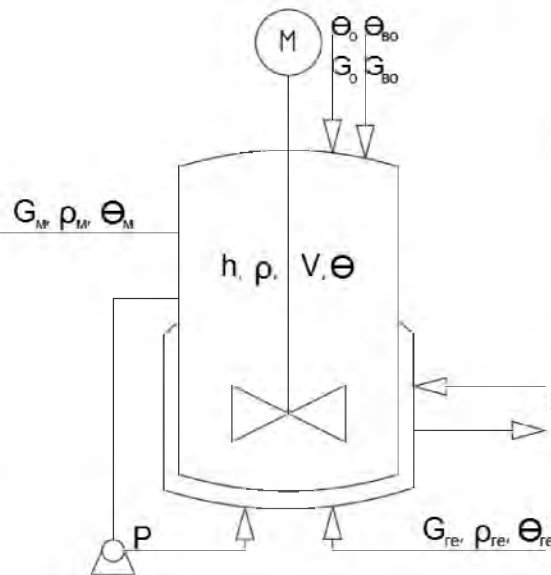


Рис. 1.5. Спрощена схема ОК

- Отже, при інформаційному аналізі процесу виявило, що:
- керуючими змінними є $\theta_{ж}$ (температура), ρ (густина) та h ;
 - керуючими діями є G_e , P_T , θ_e , G_o , G_{Bo} ;
 - контрольованими збуреннями є $\theta_{oц}$, θ_B , θ_o ;

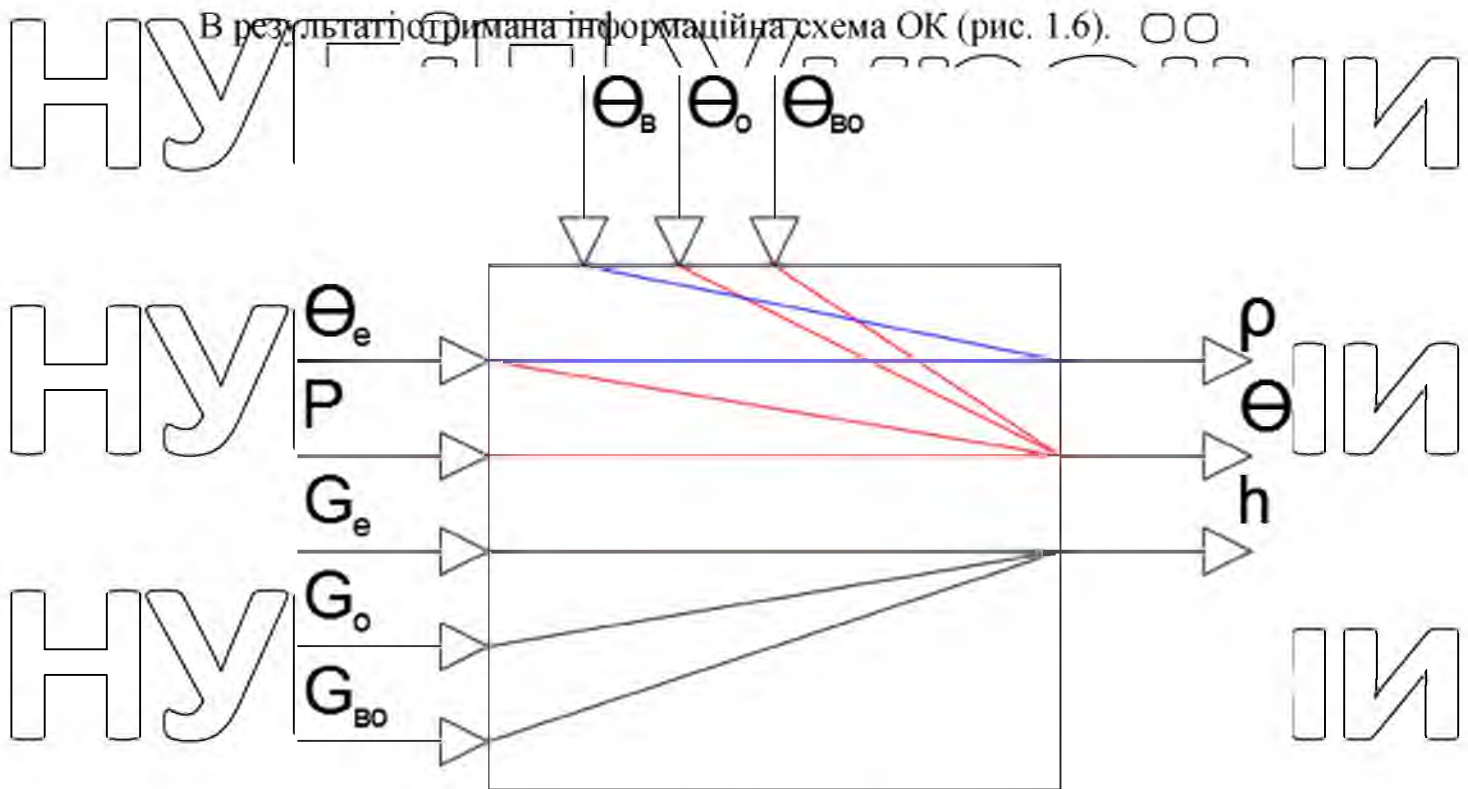


Рис. 1.6. Інформаційна схема об'єкта керування

1.3. Мета та задачі випускної магістерської роботи

Мета роботи: удосконалення процесу гомогенізації, розробивши систему автоматичного керування рівня у головному баку, використавши сучасні технічні засоби автоматизації, а також використати технологію інтернет речей для передачі даних на відстань, використовуючи Wi-Fi мережу.

Об'єктом дослідження процес гомогенізації майонезної пасти у головному баку-змішувачі.

Предметом дослідження є якісні характеристики під час процесу гомогенізації майонезної емульсії та збільшення економічного ефекту за рахунок зменшення браку на виробництві та зменшення обслуговуючого персоналу.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі *завдання*:

- Проаналізувати технологічний процес гомогенізації майонезу, як об'єкта автоматизації;
- Дослідити об'єкт автоматизації;
- Розробити систему інтернет речей для даного процесу;
- Розробити схеми системи автоматизації;

НУБІП України

Розрахувати економічний ефект та термін окупності від впровадження системи автоматичного керування.

НУБІП України

У першому розділі розглянуто технологічний процес виробництва майонезу та вибрано саме процес гомогенізації для проведення автоматизації цього процесу. Складено карту параметрів даного процесу. Розроблено

НУБІП України

функціональну схему процесу гомогенізації майонезу та зроблений параметричний аналіз процесу, де було визначено, що керуючими параметрами є рівень наповнення грубої емульсії у головному баку, температура готового

НУБІП України

продукту та густина продукції. Керуючими параметрами для цього є витрата грубої емульсії, олії та води з оцтом, тиск у гомогенізаторі. Контрольованими збуреннями є температура олії, води з оцтом, температура охолоджуючої води.

НУБІП України

Складено мету магістерської роботи, визначено об'єкт дослідження та що є предметом дослідження. Для досягнення мети складено завдання.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

В даному розділі буде розглянуто дослідження процесу гомогенізації майонезу, де опис технологічного об'єкту можна представити у вигляді математичних рівнянь, графіків та таблиць, які показують взаємозв'язок між вхідними та вихідними параметрами, а також параметрами, що керують моделлю об'єкта.

Для цього складемо матеріальний баланс.

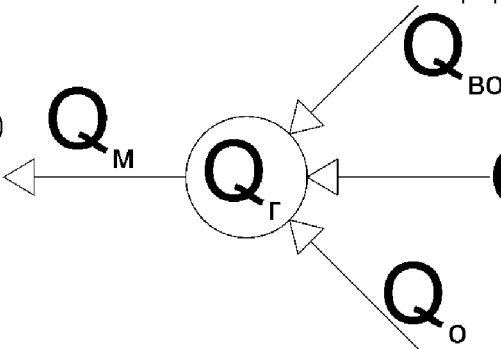


Рис. 2.1 Матеріальний баланс гомогенізації майонезу в статичному режимі

$$G_e + G_0 + G_{Bo} = G_M, \quad (2.1)$$

Де G_e – масова витрата грубої емульсії, що поступає у головний бак;

G_0 – масова витрата олії, що поступає у головний бак;

G_{Bo} – масова витрата води з оцтом, що поступає у головний бак;

G_M – масова витрата готової продукції, що поступає в бак для фасовки продукції.

В динаміці рівняння матиме такий вигляд:

$$\frac{dG_\Gamma}{dt} = G_e + G_0 + G_{Bo} - G_M, \quad (2.2)$$

Де G_Γ – масова витрата, що відбувається у головному баку.

$$G_\Gamma = V_\Gamma \cdot \rho_M = S \cdot h \cdot \rho_M, \quad (2.3)$$

Де V_Γ – об'єм головного бака;

ρ_M – густина майонезу;

S – поперечний переріз баку;

h – висота баку.

В результаті отримали

$$\frac{dSh\rho_M}{dt} = G_e + G_0 + G_{Bo} - G_M, \quad (2.4)$$

Проте даний об'єкт описується не лише витратою речовин, а також вмістом сухих речовин Q

$$\frac{dG_r \cdot Q_r}{dt} = G_e \cdot Q_e + G_o \cdot Q_o - G_M \cdot Q_M \quad (2.5)$$

та жирністю самого продукту K

$$\frac{dG_r \cdot K_r}{dt} = G_e \cdot K_e + G_o \cdot K_o - G_M \cdot K_M \quad (2.6)$$

Динамічні рівняння матимуть вигляд:

$$\left. \begin{aligned} S \cdot \rho_M \frac{dh}{dt} &= G_e + G_o + G_{BO} + G_M \\ S \cdot h \cdot \rho_M \frac{dQ_M}{dt} &= G_e \cdot Q_e + G_o \cdot Q_o - G_M \cdot Q_M \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

$$S \cdot h \cdot \rho_M \frac{dK_M}{dt} = G_e \cdot K_e + G_o \cdot K_o - G_M \cdot K_M$$

Де Q_M, Q_e, Q_o – вміст сухих речовин у майонезі, грубій емульсії та олії;
 K_M, K_e, K_o – коефіцієнт жирності майонезу, грубої емульсії і олії.

Витік суміші з головного баку буде залежати від характеристики баку та ступеня витіку рідини через кран на виході з баку a_c і буде вираховуватися за даною формулою:

$$G_M = a_c \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (2.8)$$

Отже, отримавши математичну модель об'єкта керування, використаємо дану модель в програмному середовищі MATLAB Simulink для імітації даного процесу (рис. 2.2).

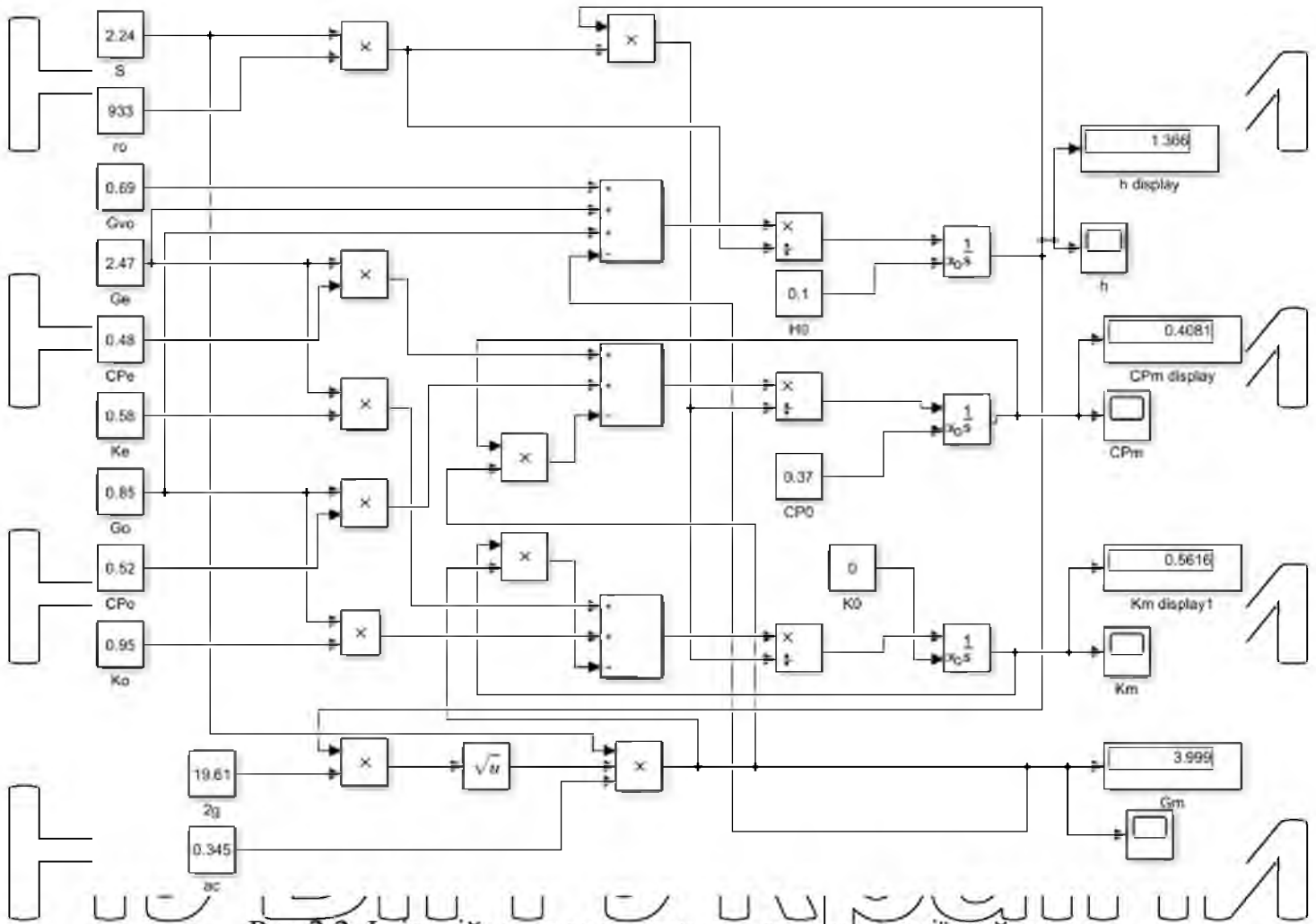


Рис 2.2. Імітаційна модель процесу гомогенізації майонезу

В результаті дослідження імітаційної моделі отримано, що бак заповнюється продукцією за 7000 с (рис. 2.3). Вміст сухих речовин складає 40%, що є нормальним показником, так як він повинен бути нижче 37% (рис. 2.4.). коефіцієнт жирності складає 56% (рис. 2.5.).

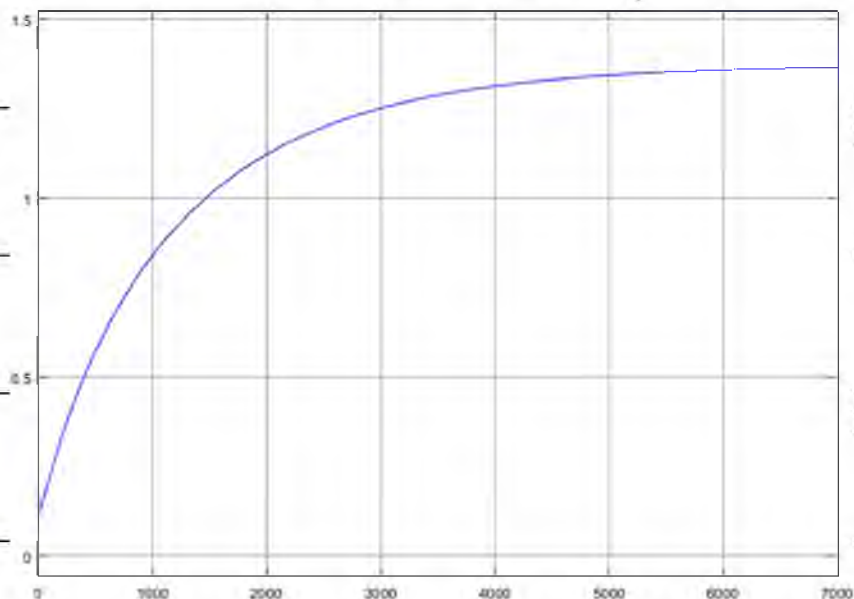


Рис. 2.3. Перехідна характеристика заповнення баку процесу гомогенізації

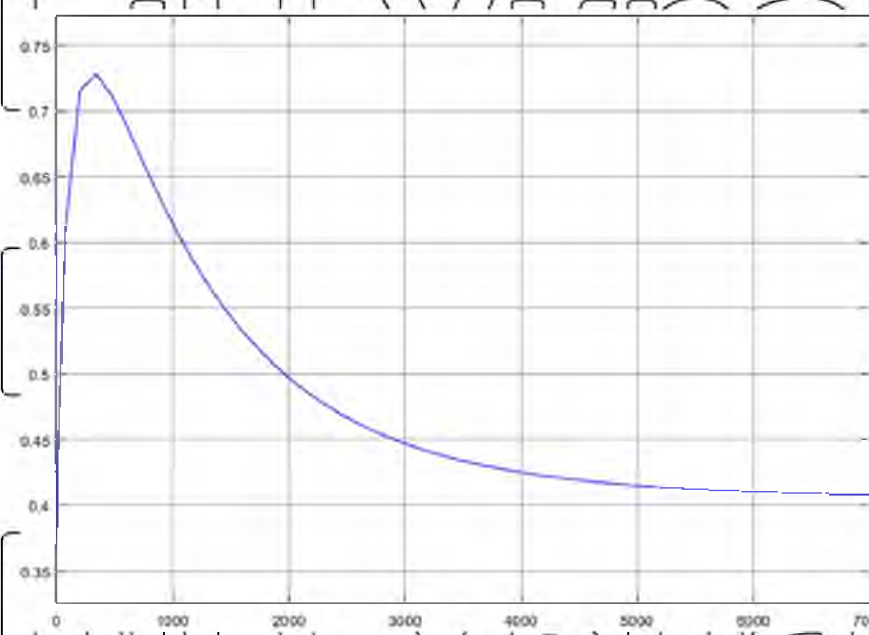


Рис. 2.4. Перехідна характеристика вмісту сухих речовин у готовій продукції

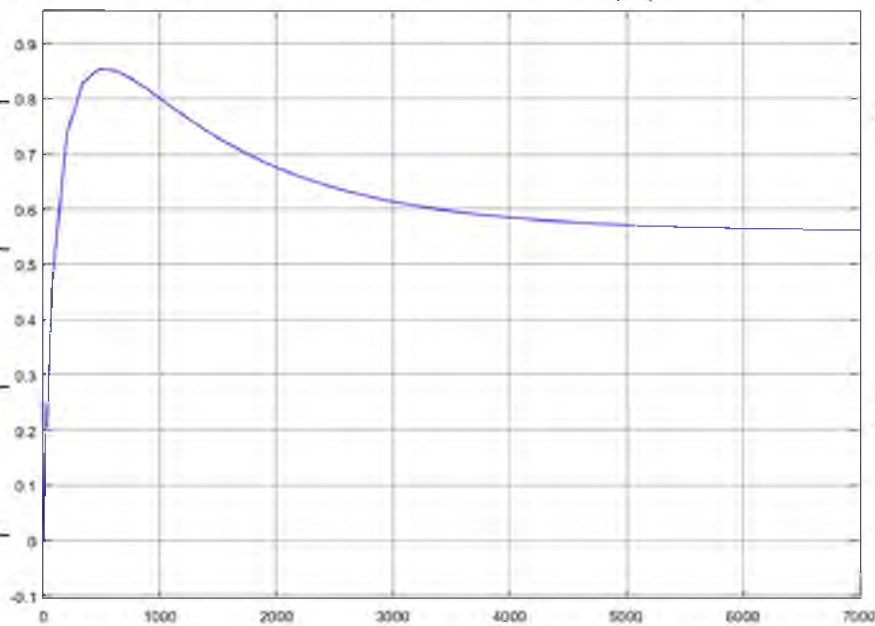


Рис. 2.5. Перехідна характеристика коефіцієнту жирності готового процесу

Для визначення передатної функції по каналу керування рівнем використаємо розгінну характеристику наповнення бака майонезною пастою (рис. 2.3).

У даному разі використаємо графічний метод для отримання передатної функції. Спочатку про нормуємо розгінну характеристику за таким виразом:

$$h(t_i) = \frac{h_n(t_i) - h_n(0)}{h_n(t_{max}) - h_n(0)} = \frac{h_n(t_i) - 0.1}{1.366 - 0.1} \quad (2.9)$$

Де $h_n(t_i)$ – проміжне значення параметра в i -й момент часу t ;

$h_p(0)$ – початкове значення параметра;

$h_p(t_1)$ – кінцеве значення параметра;

$h(t)$ – значення нормованої кривої розгону.

Для статичних об'єктів передатна функція, отримана за кривою розгону, представляється у вигляді інерційної ланки із запізненням:

$$W_{OK}(s) = \frac{k_{OK} e^{-\tau_{OK} s}}{T_{OU} s + 1}, \quad (2.10)$$

Де k_{OK} – коефіцієнт передачі об'єкта;

T_{OK} – постійна часу об'єкта, що характеризує його інерційність, с;

τ_{OK} – час чистого запізнення, с.

Значення постійної часу T_{OK} об'єкта знаходять за дотичною, яку проводять до точки перегину розгінної характеристики (рис. 2.6). Точка перегину відповідає середині відрізка часу, на якому спостерігається максимальний приріст ординати кривої розгону.

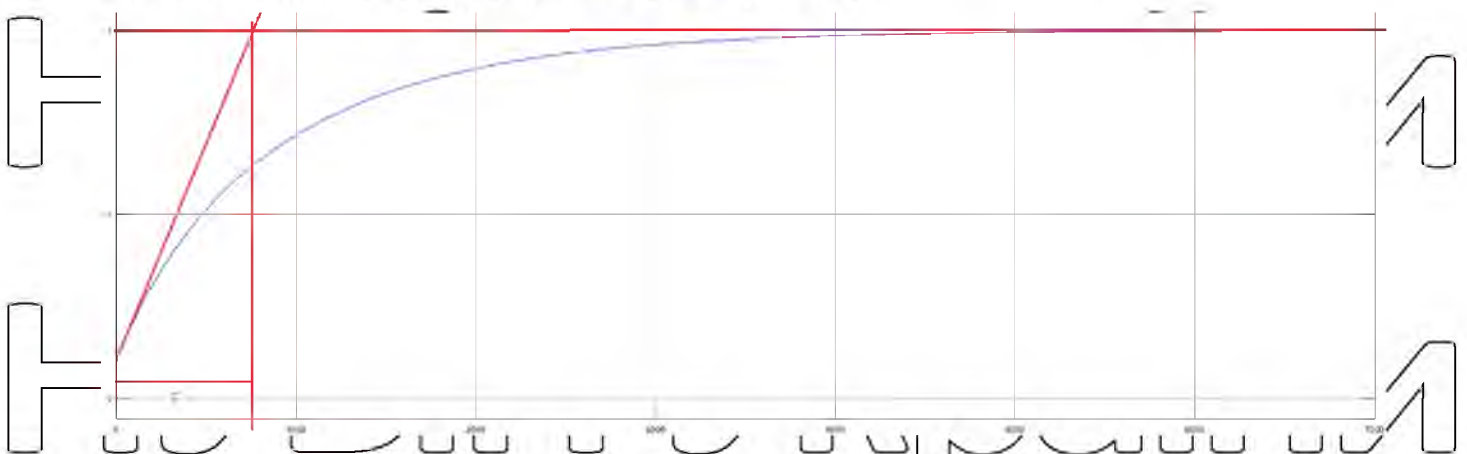


Рис. 2.6. Крива розгону ОК

Постійна часу складає $T_{OK} = 800$ с.

Час запізнення у даному процесі буде транспортним, тому запізнення вираховуватися за такою формулою:

$$\tau_T = \frac{V_T}{v_{cm}}, \quad (2.11)$$

Де τ_T – транспортне запізнення об'єкта керування, с;

V_T – об'єм труби, м³. Розраховується за такою формулою:

$$V_T = \frac{\pi \cdot d^2}{4} l_T, \quad (2.12)$$

d – діаметр трубопроводу, м;

l_T – довжина труби до баку після насоса, м;

V_{em} – об'ємна витрата емульсії, що надходить до баку, м³/с.
Визначається за такою формулою:

$$V_{em} = \frac{G_e}{\rho}, \quad (2.13)$$

G_e – масова витрата емульсії, що надходить до баку, кг/с;

ρ – густина майонезу, кг/м³.
Час транспортного запізнення $\tau_t = 18$ с.
Коефіцієнт передачі об'єкта керування рівню визначаємо за формулою

$$k_{OK} = \frac{\Delta y}{\Delta x}, \quad (2.14)$$

Де Δy – різниця значень рівня в баку, при зміні вхідного впливу, м;
 Δx – різниця значень зміни подачі емульсії

$$k_{OK} = \frac{0,067}{0,1} = 0,67 \left[\frac{м}{кг/с} \right]$$

Отже, передатні функція процесу гомогенізації майонезу по каналу

керування рівня матиме вигляд:

$$W_{OK}(s) = \frac{0,67}{800s + 1} \cdot e^{-18s}$$

Підсумовуючи цей розділ було складено матеріальний баланс процесу гомогенізації майонезу. По матеріальному балансу та параметричному аналізу складено статичні та динамічні рівняння процесу, що в свою чергу дозволило скласти імітаційну модель процесу, з якої було визначено (пронормалізувавши криву розгону) передатну функцію об'єкта.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ III. ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ

3.1. Вибір алгоритму керування та розрахунок параметрів регулятора

Статичні та динамічні рівняння, котрі складені у розділі 2 дають змогу визначити алгоритм керування на стадії проєктування системи. Будь-яка система автоматичного керування складається з контролера та об'єкта управління. Останнє відіграє важливу роль у виборі алгоритму керування. Визначено, що критерієм для правильного вибору алгоритму може бути співвідношення часу запізнення об'єкта до постійної часу.

При виборі алгоритму слід пам'ятати, що структура передатної функції має

відповідати виразу для статичних об'єктів ($W(s) = \frac{K \cdot e^{-\tau s}}{Ts+1}$).

Тому, для вибору типу регулятора потрібно орієнтуватися на такі величини відношення часу запізнення до постійної часу OK :

- якщо $\frac{\tau_{ок}}{T_{ок}} < 0,2$ – надають перевагу позиційному (релейному) алгоритму

керування, але можливе застосування неперервного алгоритму також (рішення приймається в залежності від технологічної вимоги до процесу управління);

- якщо $0,2 < \frac{\tau_{ок}}{T_{ок}} < 1$ – вибирають неперервний або цифровий алгоритму

керування (П-, ПІ- або ПІД-алгоритм керування);

- якщо $\frac{\tau_{ок}}{T_{ок}} > 1$ – перевага надається спеціальному цифровому регуляторі з

екстраполятором, який компенсуватиме запізнювання в контурі

керування.

В результаті отримали таке співвідношення $\frac{\tau_{ок}}{T_{ок}} = \frac{18}{800} = 0,022$.

Дана величина вказує, що потрібно вибрати позиційний (релейний) алгоритм керування технологічним процесом. Проте у даному процесі доволі великий об'єм баку, що має велику інерційність, яку потрібно врахувати, а також

важко обрахувати ємнісний час запізнення. Тому для даного технологічного процесу керуванням рівня необхідно вибрати неперервний закон керування.

Використовують такі регулятори неперервної дії, що дозволяють реалізувати такі алгоритми:

- пропорційний (П);
- пропорційно-інтегральний (ПІ);
- пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД).

Розглядаючи з теоретичної сторони, що з ускладненням алгоритму керування якість системи буде покращуватися. Відносний час регулювання при використанні різних регуляторів та при оптимальному налаштуванні можна визначити за даною таблицею 3.1.

Табл. 3.1

Відносний (теоретичний) час регулювання

Алгоритм керування	Об'єкт	Відносний час регулювання
Пропорційний	Статичний	6,5
Пропорційно-інтегральний		12,0
Пропорційно-інтегрально-диференціальний		7,0

В системі зі запізнення, відносний час регулювання теоретично

$$t_{p \min} = 2 \cdot \tau_{0K} \quad (3.1)$$

Дана таблиця 3.1 вказує, що найкраща швидкість забезпечується за допомогою П-алгоритму, проте якщо коефіцієнт підсилення (k_p) є малим (дане спостереження відбувається у системах зі запізненням), то даний регулятор не з може забезпечувати високу точність регулювання, так як буде доволі велика статична похибка.

Якщо коефіцієнт пропорційності $k_p \geq 10$ – П-регулятор задовольняє вимоги, а якщо $k_p < 10$ – необхідно увести інтегральну складову алгоритму

керування. Цей (мається на увазі ІІІ-) регулятор є широко популярний у різних сферах та має такі переваги:

- забезпечує нульову статичну похибку;
- простий в настроюванні, так як має два параметри конфігурації: коефіцієнт підсилення (k_p) та час інтегрування (T_i);
- мала чутливість до шумів в каналі вимірювання.

Алгоритм описується за таким рівнянням:

$$x_{po} = k_p \cdot \Delta y + \frac{k_p}{T_i} \int_0^1 \Delta y \cdot dt, \quad (3.2)$$

Де x_{po} – переміщення РО;

k_p – коефіцієнт передачі;

Δy – відхилення РО;

T_i – час ізодрому.

Це рівняння складається з двох частин – пропорційної частини ($k_p \cdot \Delta y$) та інтегральної частини ($\frac{k_p}{T_i} \cdot \int_0^1 \Delta y \cdot dt$).

З рівняння 3.2 було складено передатну функцію ІІІ-регулятора:

$$W_{III}(s) = k_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s}\right). \quad (3.3)$$

Основним видом регуляторів на сучасному етапі розвитку автоматизації є цифровий регулятор. При необхідності аналізу процесів у самому цифровому регуляторі, самостійного створення програми, що реалізує алгоритм регулювання, при дослідженні впливу періоду квантування та дискретного характеру сигналів на динамічні характеристики цифрової системи, більш точним буде метод синтезу регулятора у Z-перетворенні.

Дана методика розрахунку параметрів регулятора використовується для цифрових ІІІ- та ІІІД-регуляторів при апроксимації неперервної частини систем першого та другого порядку у вигляді однієї або послідовного з'єднання двох інерційних ланок:

$$W_{нч}(s) = \frac{K}{T_1 s + 1} \quad (3.4)$$

При синтезі цифрового регулятора спершу слід визначити передатну функцію приведеної неперервної частини, куди повинен входити також і формуючий елемент,

(за допомогою таблиць Z-перетворень або програми MATLAB) та знайти її Z-зображення:

$$W_{\text{нч}}(z) = \frac{a}{z-z_1} \quad (3.5)$$

ПІ-регулятор. У цьому випадку компенсується одна інерційна ланка. Тоді

передатна функція системи другого порядку повинна подаватися у такому вигляді:

$$W_{\text{нч}}(s) = \frac{az+b}{(z-z_1)(z-z_2)} \quad (3.6)$$

де $z_1 = -\frac{d+\sqrt{d^2-4c}}{2}$, $z_2 = \frac{-2c}{d+\sqrt{d^2-4c}}$ – полюси передатної функції неперервної частини системи.

Передатна функція ПІ-регулятора

$$W_{\text{рег}}(z) = K_p + \frac{K_i T(z+1)}{2(z-1)} = \frac{K_i T + 2K_p}{2(z-1)} \left(z + \frac{K_i T - 2K_p}{K_i T + 2K_p} \right) \quad (3.7)$$

Згідно з виразом $W_{\text{роз}}(z) = W_{\text{рег}}(z) * W_{\text{нч}}(z)$ коефіцієнти налаштування K_p та K_i визначаються таким чином, щоб компенсувати один (найбільший для систем другого порядку) полюс передатної функції неперервної частини, наприклад полюс z_1 . Тоді отримаємо одне рівняння з двома невідомими:

$$\frac{K_i T - 2K_p}{K_i T + 2K_p} = z_1. \quad (3.8)$$

Задавши одним з коефіцієнтів, наприклад K_i , можна визначити другий коефіцієнт K_p .

Об'єкт керування матиме наступний вигляд:

НУБІП України

НУБІП України

```

Wob1 =

      2.412
-----
    800 s^2 + s

Continuous-time transfer function.

>> Wz1= c2d (Wob1, 1)

Wz1 =

    0.001507 z + 0.001506
-----
    z^2 - 1.999 z + 0.9988

Sample time: 1 seconds
Discrete-time transfer function.

```

Рис. 3.1. Z-перетворення у програмі MATLAB

Отримавши дискретну функцію даного об'єкта складемо її у MATLAB

Simulink для знаходження оптимальних налаштувань:

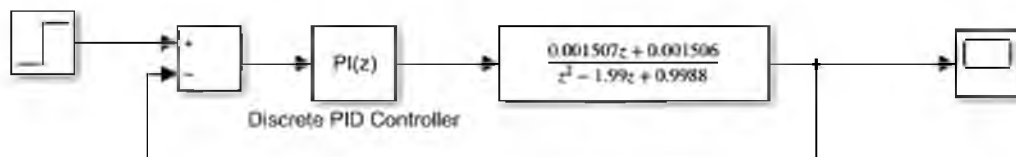


Рис. 3.2. Імітаційна модель об'єкта керування рівнем в MATLAB Simulink

Задаймо що $K_p = 0,05$, звідси підставимо його у дане рівняння

$$\frac{T_i - 2 * 0,05}{T_i + 2 * 0,05} = - \frac{1,99 + \sqrt{1,99^2 + 4 * 0,9988}}{2}$$

Отримаємо $T_i = 0,002$. Підставимо ці значення у блок Discrete PID Controller та отримаємо таку перехідну характеристику.

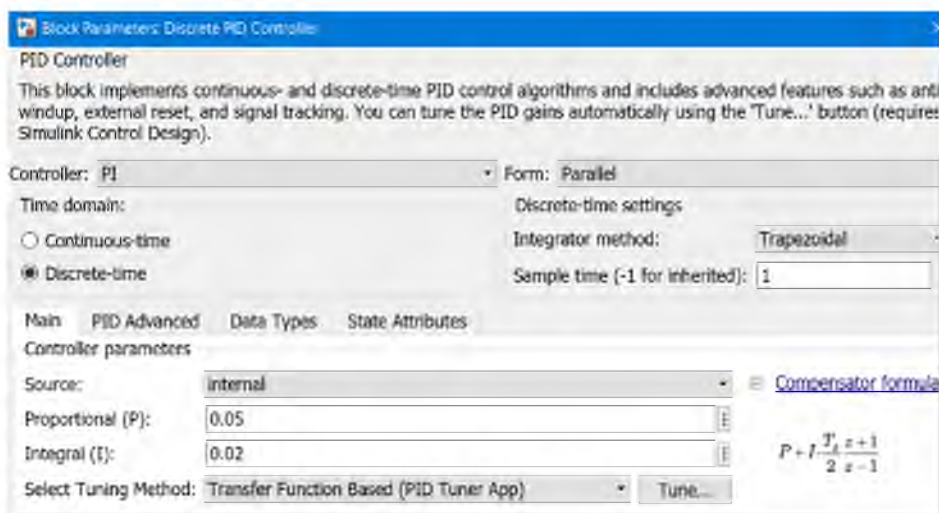


Рис. 3.3. Блок налаштувань Discrete PID Controller

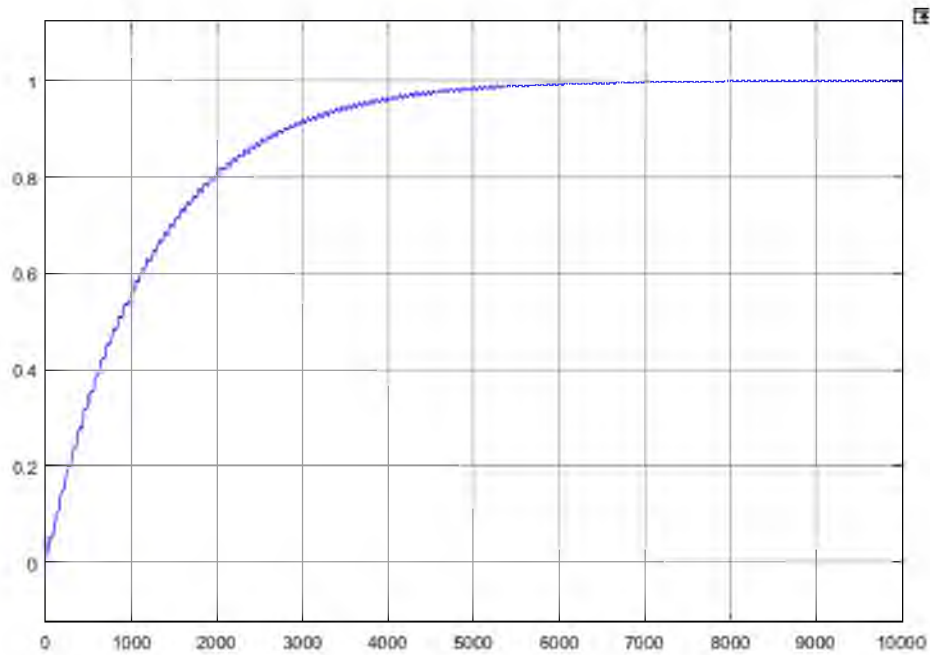


Рис. 3.4. Перехідна характеристика САК

Керуючим елементом даного процесу було вибрано ПЛК від виробника

ОВЕН, а саме ОВЕН ПЛК200.



Рис. 3.5. ОВЕН ПЛК200

Даний пристрій виконано у вигляді моноблокового контролера для малих та середніх системи автоматизації з вбудованими аналоговими і дискретними входами/виходами (DI/DO/AI/AO). Контролери універсальні завдяки широкому спектру комунікаційних протоколів.

Особливості та переваги:

- Висока продуктивність
- Великий обсяг пам'яті:

НУБІП України

- ROM 512 Мбайт NAND;
- RAM 256 Мбайт DDR3;
- RETAIN 64 Кбайт MRAM;

- Процесор ARM Cortex-A8 з частотою 800 МГц;

- Операційна система Linux з RT-патчем;

- Підтримка швидких входів/виходів до 95 кГц на виділеному PRU.

- Ергономічний корпус:

- Кріплення на стіну або DIN-рейки;

- Знімні клемники з невипадаючими гвинтами;

- Зручна система укладання кабелю;

- Тумблер Старт/Стоп і з'єднувач для Micro-SD карти під кришкою.

- Комунікаційні можливості:

- Ethernet дає ряд переваг:

- Висока швидкість опитування;

- Мультимастерність;

- Варіативна топологія мережі;

- Підтримка протоколів Modbus RTU/ASCII/TCP, OPC UA (Server),

- MQTT, NTP;

- Вбудований Firewall;

- Підтримка Web-візуалізації CODESYS;

- Web-інтерфейс для налаштування і діагностики контролера;

- Просте підключення до OwenCloud.

Даний ПЛК має таку функціональну схему (рис 3.6).

НУБІП України

НУБІП України

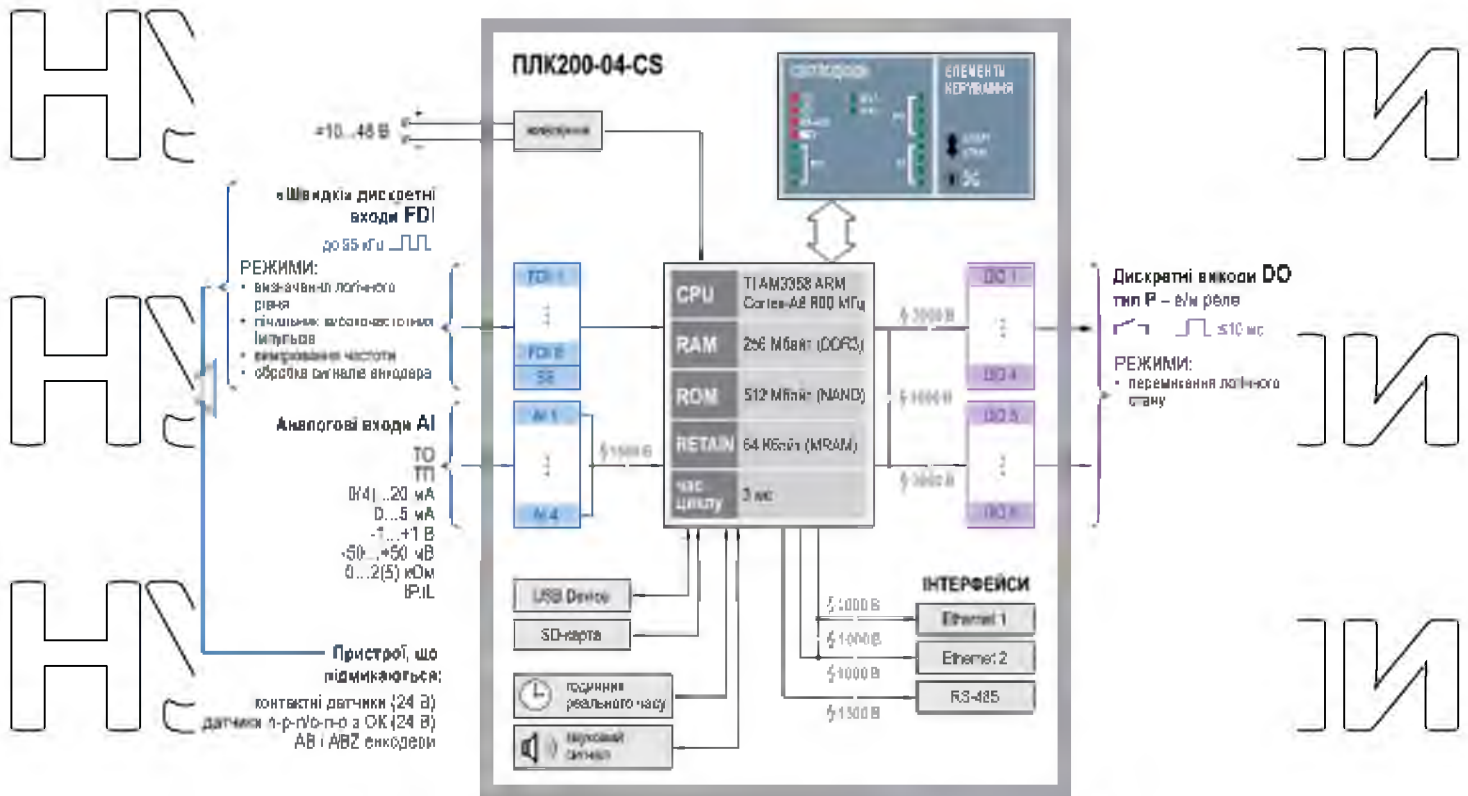


Рис. 3.6. Функціональна схема ОВЕН ПЛК200-04

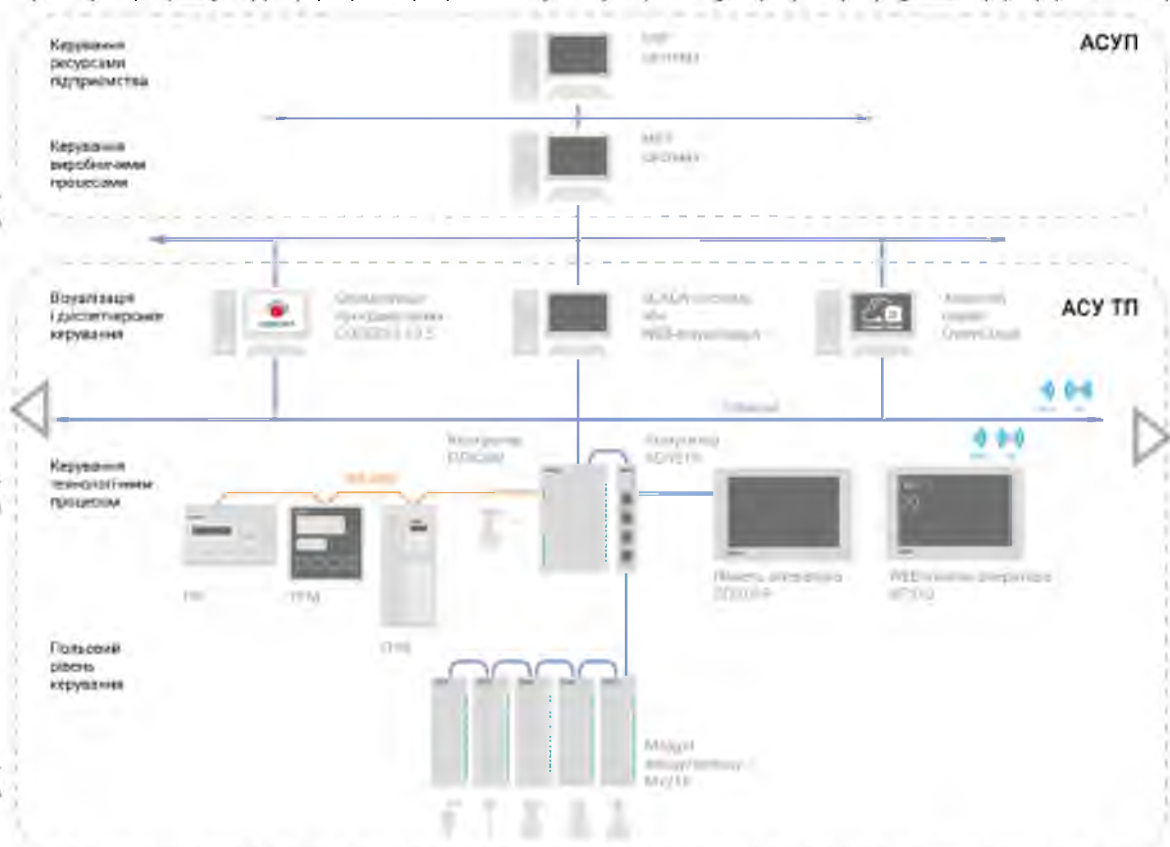


Рис. 3.7. Схема застосування ОВЕН ПЛК200

Технічні характеристики наведені у таблиці 3.2.

Табл. 3.2
Технічні характеристики ОВЕН ПЛК200

Параметр	Значення
<i>Живлення</i>	
Напруга живлення	10...48 В (номінальна 24 В)
Споживана потужність, не більше	10 Вт
Захист від переполюсування	Є
<i>Обчислювальні ресурси</i>	
Центральний процесор	RISC-процесор Texas Instruments Sitara AM3358, 800 МГц
Обсяг флеш-пам'яті (тип пам'яті)	512 Мбайт (NAND) доступно для зберігання файлів і архівів
Об'єм оперативної пам'яті (тип пам'яті)	256 Мбайт (DDR3)
Обсяг Retain-пам'яті (тип пам'яті)	64 Кбайт (MRAM)
Час виконання порожнього циклу	3 мс
<i>Інтерфейс зв'язку</i>	
<i>Ethernet 100 Base-T</i>	
Кількість портів	2 x Ethernet 10/100 Мбіт/с
Підтримувані промислові протоколи	Modbus TCP (Master/Slave) OPC UA (Server) MQTT
Підтримувальні прикладні протоколи	NTP FTP SSH HTTP/HTTPS
<i>RS-485</i>	
Кількість портів	1

Підтримувальні протоколи	Modbus RTU/ASCII ○ ○BENT (Master)
Швидкість передачі	1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 біт/с
Підтягувальні резистори	Є
Кількість портів	USB Device 1 (microUSB)
Протоколи, що підтримуються	CODESYS Getaway FTP SSH HTTP/HTTPS SD
Кількість з'єднувачів	1
Максимальна ємність	4 ГБ 32 ГБ 512 ГБ
Підтримувальні файлові системи	FAT16, FAT32, ext4, NTFS
Маса	Загальні відомості 0,6 кг
Ступінь захисту	IP20
Максимальний струм «логічної одиниці»	Дискретні входи 5,5 мА
Максимальний струм «логічного нуля»	1,2 мА
Вхідні пристрої, що підмикаються	Контактні датчики, тридротові датчики, що мають на виході транзистор р-п-р або n-р-п типу з відкритим колектором

Мінімальна тривалість імпульсу, що сприймається входом	3 мс
<i>Аналогові входи</i>	
Сигнали, що підймаються	Уніфіковані сигнали (0...5, 0...20, 4...20 мА), термоопір (50м, 100м, 500м, ТСМ, Pt100, Pt1000, Cu50, Ni100), термомпори (L, J, N, K, S, R, B, T), ОПР (0...2 кОм, 0...5 кОм)
Розрядність АЦП	16 біт
Час опитування одного входу	Уніфікований – не більше 0,6 с ТQ – не більше 0,9 с ТП – не більше 0,6 с Опору – не більше 0,6 с
<i>Дискретні виходи типу електромагнітне реле</i>	
Тип контакту	Нормально-розімкнений контакт
Режими роботи	Генерація заданої кількості імпульсів, перемикання логічного стану
Струм комутації	5 А (при напрузі не більше 250 В), 3 А (при постійній напрузі не більше 30 В)
Максимальна напруга на контакти реле	264 В змінної напруги, 30 В постійної напруги
Час перемикання контактів реле зі стану «ЛОГ. 0» в «ЛОГ. 1» або навпаки	Не більше 10 мс

3.2. Вибір виконавчого механізму і регулюючого органу

У даному пункті потрібно провести розрахунок регулюючого органу (РО).

РО – це ланка автоматичного керування, призначений змінювати витрату майонезної пасти (у нашому випадку процесу гомогенізації). Даний елемент автоматизації є одним з відповідальних елементів САК, що впливає, безпосередньо, на об'єкт керування.

Для розрахунку РО необхідні такі параметри:

$\gamma = 4,76$ – об'ємна маса майонезної пасти;

$\nu = 0,5$ – в'язкість майонезної пасти;

$Q_{\max} = 18 \text{ м}^3/\text{год}$ – максимальна витрата майонезної пасти;

$Q_{\min} = 6 \text{ м}^3/\text{год}$ – мінімальна витрата майонезної пасти;

$P_1 = 3 \text{ кг/см}^2$ – вакуумний тиск в системі до регулюючого органу;

$\Delta P_c = 2 \text{ кг/см}^2$ – перепад тиску в системі;

$\Delta P_{\max} = 1 \text{ кг/см}^2$ – максимальний перепад тиску в системі.

Перший розрахунок – обчислення максимальної пропускної здатності РО

за даної формулою:

$$K_{\gamma \max} = Q_{\max} \cdot \frac{\gamma}{\sqrt{\Delta P_c + \Delta P_{\max}}} = 39,27 \text{ м}^3/\text{год} \quad (3.9)$$

Регулюючі органи вибирають за такої умови, що

$$K_{\gamma} > 1,2 \cdot K_{\gamma \max}, \quad (3.10)$$

Отже, $K_{\gamma} > 1,2 \cdot K_{\gamma \max} = 1,2 \cdot 39,27 = 47,12 \text{ м}^3/\text{год}$

Дотримуючись технічного паспорта головного баку, де вказано, що діаметр труби на вході у бак $D_{\gamma} = 50 \text{ мм}$, потрібно вибрати регулюючий орган під даний розмір трубопроводу.

Знайдемо робочу ділянку витратної характеристики регулюючого органу.

Використаємо дану формулу:

$$K_{\text{л}} = Q_{\max} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{\max}}} = 39,27 \text{ м}^3/\text{год} \quad (3.11)$$

В разі перепаду тиску, потрібно визначити витрату рідини через виконавчий пристрій за такою формулою:

$$n = \frac{K_{\gamma}}{K_{\text{л}}} = 1,19. \quad (3.12)$$

Уточнюємо перепад тиску на виконавчому пристрої:

$$\Delta P_{\text{вп}} = \frac{\Delta P_c}{1+n^2} = 0,82 \quad (3.14)$$

Далі, потрібно визначити витрату майонезної пасти через виконавчий пристрій в разі перепаду тиску на ньому:

$$Q_{\text{вп}} = K_{\gamma} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{вп}}}{\gamma}} = 19,79 \text{ м}^3/\text{год} \quad (3.15)$$

Знайдемо відносну максимальну і мінімальну витрату за формулами:

$$\mu_{max} = \frac{Q_{max}}{Q_{нп}} = 0,91; \quad (3.16)$$

$$\mu_{min} = \frac{Q_{min}}{Q_{нп}} = 0,30; \quad (3.17)$$

Для того щоб вибрати витратну характеристику ВМ, скористаємось даним графіком (рис. 3.8), відносний хід затвора регулювального органу буде співвнятати $I_{min} = 0,16; I_{max} = 0,8$;

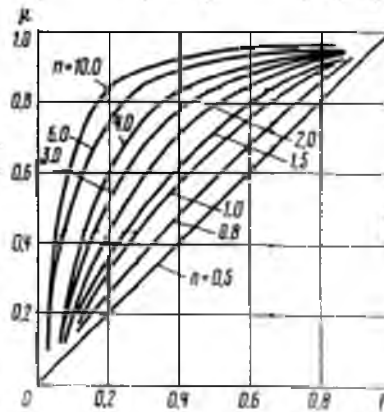


Рис. 3.8. Робочі характеристики для регулювальних клапанів

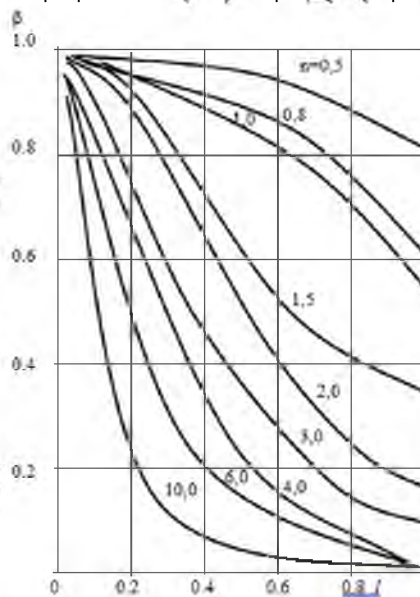


Рис. 3.9. Зміни перепадів тисків на ВМ для регулювальних клапанів

При цьому співвідношення перепаду тиску на РО та тиску в системі змінюється (рис. 3.9) від $\beta_{max} = 0,95$ до $\beta_{min} = 0,71$, що відповідає наступним перепадам:

$$\beta_{max} = \frac{\Delta P_{max}}{\Delta P_c}; \quad (3.18)$$

Звідси, отримаємо:

$$\beta_{min} = \frac{\Delta P_{min}}{\Delta P_c} \quad (3.19)$$

$$\Delta P_{max} = \beta_{max} \cdot \Delta P_c = 1,9 \text{ кг/см}^2 \quad (3.20)$$

$$\Delta P_{max} = \beta_{max} \cdot \Delta P_c = 1,42 \text{ кг/см}^2 \quad (3.21)$$

За допомогою довідникових даних можна вибрати регулюючий орган з такими характеристиками – $D_y = 50$ мм пропускною здатністю $K_{rPC} = 50 \text{ м}^3/\text{год}$.

Під такі характеристики було вибрано регулюючий орган Belimo R6050R-V3 (рис. 3.10). Дані клапани використовуються для двопозиційного управління та перекриття потоку речовин.



Рис. 3.10. Регулюючий клапан Belimo R6050R-V3

Основні характеристики:

- Кут повороту фланця 90° ;
- Пропускна здатність $49 \text{ м}^3/\text{год}$;
- Тип клапану – шаровий
- Допустимий перепад тиску 1 кг/см^2 ;
- Максимальний робочий тиск 6 кг/см^2 ;

3.3. Вибір виконавчого механізму

Виконавчий механізм – це пристрій автоматки, що діє на регулюючий орган об'єкта керування через безпосередню дію самого ВМ або через погоджувальні елементи.

У ролі виконавчого механізму було вибрано МЕО-40/25-0,25-93 (рис. 3.11) через те що, даний ВМ є доволі надійний, простий у будові та економічний.



Рис. 3.11. Виконавчий механізм типу MEC-40/25-0,25-93

Його характеристики наведені у таблиці 3.3:

Табл. 3.3
Технічні характеристики MEC-40/25-0,25-93

Найменування	Значення
Номінальний крутний момент на вихідному валу	40 Н*м
Номінальний час повного ходу вихідного валу	25 с
Номінальний повний хід вихідного валу	0,25 обертів
Споживна потужність	110 В
Тип двигуна	ДСР-110-1,0-120
Вага	7,5 кг

Передатна функція виконавчих механізмів має вигляд інтегруючої ланки

у вигляді:

$$W(s) = \frac{k_{вт}}{s}, \quad (3.22)$$

Де $k_{вт}$ – це коефіцієнт передачі виконавчого механізму розраховується за формулою:

$$k = \frac{\Delta\varphi}{t}, \quad (3.23)$$

Де $\Delta\varphi$ – кут повороту вихідного валу;

t – номінальний час повного ходу валу.

$$k = \frac{90}{25} = 3,6 \frac{\text{град}}{\text{сек}},$$

НУБІП України

3.4. Вибір технічних засобів

В системі автоматизації основними параметрами є: рівень, тиск та температура. Контроль даних параметрів реалізується за допомогою технічних засобів. Підберемо технічні засоби для цих параметрів.

Для регулювання рівня, у якості первинного перетворювача виберемо гідростатичний перетворювач VEGABAR 87 (рис. 3.12), тому що даний прилад найкраще підходить для вакууметричних систем. Призначений для вимірювання тиску і рівня рідини та в'язких продуктів в харчовій, хімічній та фармацевтичній промисловості. VEGABAR 87 може вимірювати також в навіть малих вимірних діапазонах від 10 кПа.



Рис. 3.12. Гідростатичний перетворювач VEGABAR 87

Принцип дії – вимірювання тиску, яка діє на вимірний елемент, який перетворює його в електричний сигнал. Основні характеристики ПП (табл. 3.4):

Табл. 3.4

Технічні характеристики VEGABAR 87

Найменування параметру	Значення
Середовища вимірювання	Гази, пари та рідини, у тому числі в'язкі

Матеріал кабелю, з'єднувальної ланки та чутливого елемента	БЕР, 316L, 316L
Максимальна довжина датчика	250 м (кабель) 60 м (труба)
Наповнююча рідина, що ізолює діафрагму	Медицинське біле масло
Діапазон вимірювання	0...2500 кПа
Час інерційності	5 с
Найменша границя вимірювання	10 кПа
Температура вимірювального середовища	-12...+100 °C
Сигнал на виході	4...20 мА 4...20 мА/HART Modbus
Ступінь захисту	IP66

Передатна функція первинного вимірювального перетворювача має вигляд інерційної ланки, яка має такий вигляд:

$$W_{\text{пн}}(s) = \frac{k_{\text{пн}}}{T_{\text{пн}}s + 1} \quad (3.24)$$

Де $k_{\text{пн}}$ – коефіцієнт підсилення, що визначається за формулою:

$$k_{\text{пн}} = \frac{\Delta P}{\Delta h} = \frac{2 - 1,2}{1,4 - 0,1} = 0,61, \quad (3.25)$$

Постійна часу сприймаючого елемента дорівнює значенню інерційності за паспортними даними $T_{\text{пн}} = 5$ с.

Отже, передатна функція матиме наступний вигляд:

$$W_{\text{пн}}(s) = \frac{0,61}{5s + 1}$$

У якості давача температури вибрано термопару ТХК-0583 (рис 3.13). Її характеристики наведено у таблиці 3.5. Даний давач вибраний через те, що температура у головному баку є досить не високою (неохолоджена емульсія 20-

25°C, охолоджена емульсія 3-7°C), проте має швидкий показник теплової інерції, який буде забезпечувати швидкодію регулювання температури у бану з емульсією.



Рис. 3.13. Термопара ТХК-0583

Табл. 3.5
Характеристики термопари ТХК-0583

Максимальний діапазон вимірювань	0...+200° С
Матеріал захисної арматури	Сталь 12Х18Н10Т,
Максимальний робочий тиск	0,63 МПа
Матеріал клемної голівки	Пресматеріал АГ-4В
Показник теплової інерції, с	Не більше 3
Клас допуску	2
Ступінь захисту	IP55

У ролі давача тиску вибрано ПД-100И-ДИФ (рис 3.14), так як у процесі виробництва тиск є головним параметром для створення тонкої емульсії тому

Цей прилад є досить точним (основна похибка 0,25).



Рис. 3.14. Давач тиску ПД-100И-ДИФ

Табл. 3.6

Характеристики давача тиску ПД-100И-ДИФ

Точність	± 2%
Максимальний тиск	4 МПа
Вихідний сигнал	4...20 мА
Діапазон температур робочої середовища	-20...+70°C
Інтерфейс	RS-485
Ступінь захисту	IP65

У розділі 3 було вибрано алгоритм керування процесом (вибрано ПІ-алгоритм) та зроблено розрахунок налаштувань параметрів регулятора ($K_p = 0,005$, $T_i = 0,02$). Вибрано ПЛК, а саме ОВЕН ПЛК200, вибрано виконавчий механізм (МЕО-40/25-0,25-93) та регулюючий орган (Veimo R6050R-E3). Підбрано первинні вимірювальні перетворювачі для вимірювання тиску (ПД-100И-ДИФ), температури (ТХК-0583) та рівня (VEGABAR 87). Визначено передатну функцію первинного перетворювача рівня для подальшого використання при дослідженні САК.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ IV. ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

4.1. Дослідження стійкості САК рівня

Структурна схема системи автоматичного управління рівнем виглядає наступним чином (рис. 4.1):

НУБІП України

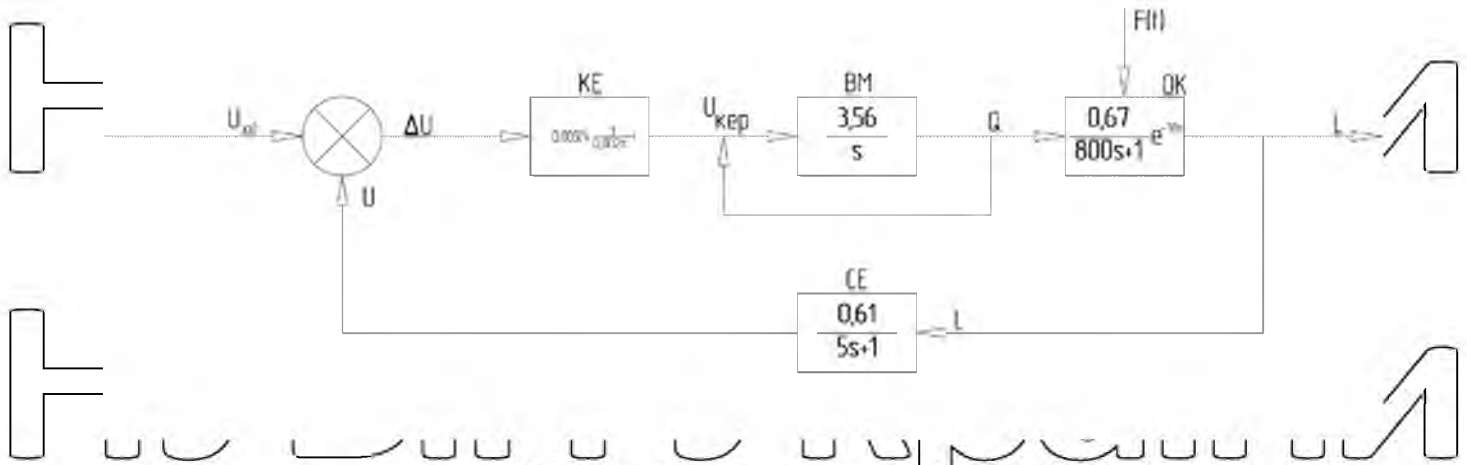


Рис. 4.1. Структурна схема САК рівня

Дослідимо систему на стійкість та визначимо запас стійкості.

Побудову годографа амплітудно-фазової частотної характеристики розімкненої системи ведуть в полярних, або декартових координатах. При побудові годографа частотної характеристики в полярних координатах спочатку знаходять вирази для амплітуди і фази кожної ланки окремо. Потім, для отримання виразів амплітудної і частотної характеристик системи, амплітуди ланок перемножують, а фази сумують [3].

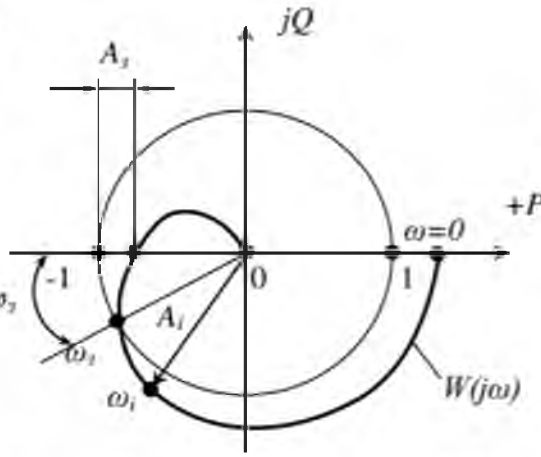
Стійкість системи автоматичного керування необхідно забезпечувати з певною гарантією – яка визначається запасом стійкості.

На комплексній площині коренів запас стійкості визначається віддаленістю коренів характеристичного рівняння від уявної осі.

На основі алгебраїчних критеріїв запас стійкості системи можна оцінити за запасом, з якими виконуються нерівності.

Найчастіше оцінка запасу стійкості системи здійснюється на основі критерію Найквіста. При цьому розрізняють запас стійкості по модулю (амплітуду) і по фазі. Запас стійкості по амплітуді може бути визначений в абсолютних або відносних одиницях. Запас стійкості по модулю визначається відрізком h осі абсцис між критичною точкою $(-1, j0)$ і точкою перетину годографа частотної характеристики розімкненої системи $W(j\omega)$ з дійсною від'ємною тіввіссю [3].

НУБІ



аїни

НУБІ

аїни

Рис. 4.2. Визначення запасу стійкості за частотними характеристиками системи

у відносних одиницях запас стійкості за модулем визначається відношенням

$$\frac{A_{\text{кр}}}{A_{\pi}} = \frac{1}{A_{\pi}} \quad (4.1)$$

Запас стійкості за фазою визначається кутом γ між від'ємною піввісю і променем проведеним з початку координат в точку перетину кола одиничного радіуса з годографом $W(j\omega)$.

Для нормальної роботи системи автоматичного керування необхідно, щоб запас стійкості за модулем складав не менше 2 разів за фазою – 30-60 градусів.

При використанні логарифмічних частотних характеристик запас стійкості за амплітудою визначається за характеристикою $L(\omega)$ в точці переходу фазової характеристики $\varphi(\omega)$ через рівень 180°, а запас стійкості за фазою на основі характеристики $\varphi(\omega)$ в точці перетину характеристикою $\varphi(\omega)$ осі абсцис.

Рекомендоване значення запасу стійкості за модулем у логарифмічному

масштабі $L_{\gamma} \leq 6 \text{ дБ}$ [3]

$$W(p) = \frac{1.47}{4000s^3 + 805s^2 + s}$$

Виконаймо заміну $p = j\omega$, отримаємо:

$$W(j\omega) = \frac{1.47}{4000(j\omega)^3 + 805(j\omega)^2 + j\omega} = \frac{-1183.3\omega^2 - j(1.47\omega - 5880\omega^3)}{1.6 \cdot 10^7\omega^6 + 6.48 \cdot 10^5\omega^4 + \omega^2}$$

Для побудови годографа в декартовій системі координат виділимо дійсну та уявну частину $W(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega)$:

НУБІ

україни

$$P(\omega) = \frac{-1183.3\omega^2}{1.6 \cdot 10^7 \omega^6 + 6.48 \cdot 10^5 \omega^4 + \omega^2}$$

$$Q(\omega) = \frac{1.47\omega - 5880\omega^3}{1.6 \cdot 10^7 \omega^6 + 6.48 \cdot 10^5 \omega^4 + \omega^2}$$

Запаси стійкості визначимо, виходячи з критерію стійкості Найквіста. Для визначення запасу стійкості за амплітудою знайдемо частоту, яка відповідає точці перетину годографа АФЧХ з від'ємною дійсною піввіссю (з умови $\operatorname{Im} Q(\omega) = 0$) [3].

$$\frac{1.47\omega - 5880\omega^3}{1.6 \cdot 10^7 \omega^6 + 6.48 \cdot 10^5 \omega^4 + \omega^2} = 0$$

Прирівняймо чисельник до нуля і знайдемо корені:

$$5880\omega^3 - 1.47\omega = 0$$

$$\omega_1 = 0, \omega_2 = 0,015, \omega_3 = -0,015$$

Задовольняє лише значення $\omega_2 = 0,015$. Тоді $Q(\omega) = P(\omega) = -0,56$. Запас стійкості за амплітудою $A_{\text{зап}} = 1 - 0,56 = 0,44$.

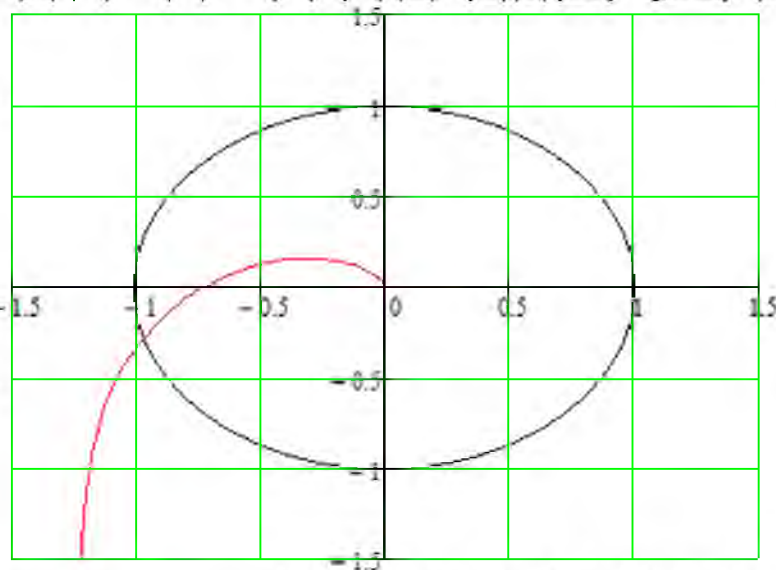


Рис. 4.3. Побудова годографа АФЧХ у програмі Mathcad

З графіку видно, що точка перетину годографа із колом одиничного радіусу має координати $(-0,98; -0,32)$.

$$\varphi = \arctg\left(\frac{Q(\omega)}{P(\omega)}\right) = \arctg\left(\frac{-0,32}{-0,98}\right) = 17,74^\circ$$

4.2. Побудова перехідного процесу із використання імітаційного моделювання та оцінка його якості

Передатна функція розімкненої системи автоматичного керування має

вигляду

$$W_{\text{POЗ}}(s) = W_{\text{Н}}(s) \cdot W_{\text{ВМ}}(s) \cdot W_{\text{ОУ}}(s) \cdot W_{\text{СЕ}}(s) \quad (4.1)$$

$$W_{\text{POЗ}}(s) = 0.005 \cdot \left(1 + \frac{1}{0.002s}\right) \cdot \frac{3.6}{s} \cdot \frac{0.67 \cdot e^{-18s}}{800s+1} \cdot \frac{0.61}{5s+1} = \frac{1.47e^{-5}s + 0.00735}{8s^4 + 1.61s^3 + 0.002s^2} e^{-18s}$$

$$W_{\text{ЗАМ}}(s) = \frac{W_{\text{POЗ}}(s)}{1 + W_{\text{POЗ}}(s)} = \frac{1.47e^{-5}s + 0.00735}{8s^4 + 1.61s^3 + 0.002s^2 + 1.47e^{-5}s + 0.00735}$$

Розробивши математичну модель об'єкта керування та зробивши імітаційну модель даного об'єкта, складемо її модель системи автоматичного керування, використавши блоки в середовищі MATLAB Simulink.

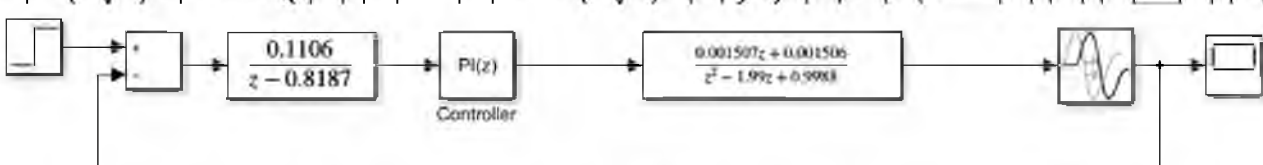


Рис. 4.4 Імітаційна модель САК рівня процесом гомогенізації майонезу.

Використаємо налаштування регулятора, що були отримані в розділі 3.

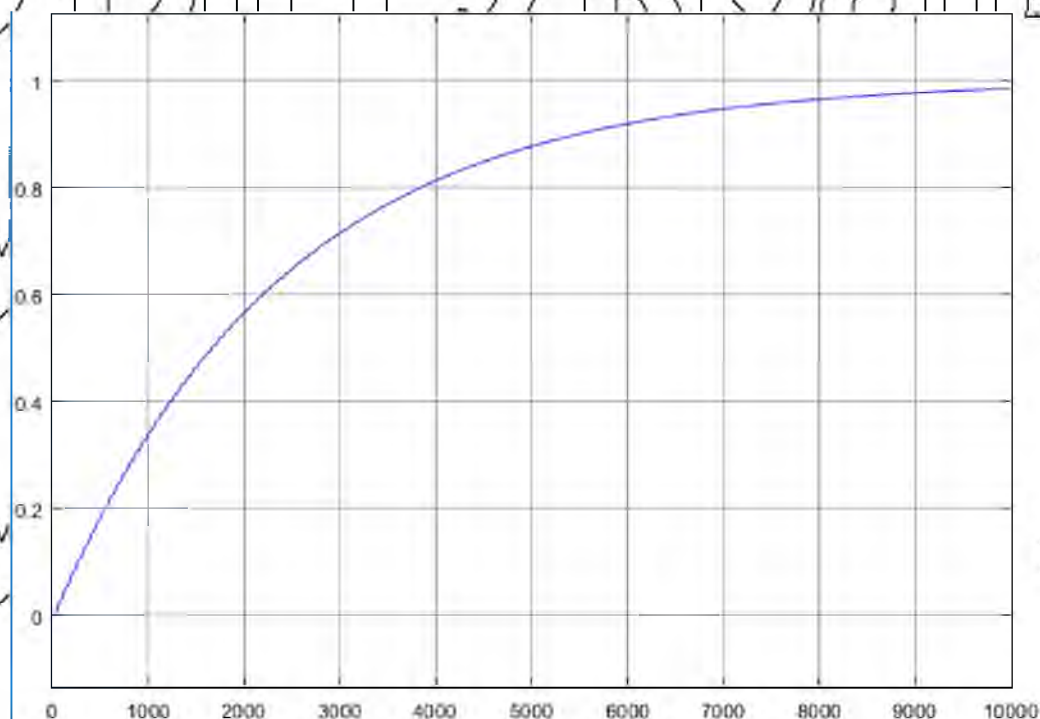


Рис. 4.5. Перехідна характеристика процесу

Підставивши, отримали перехідну характеристику, котра не виходить на задане значення. Використаємо блок оптимізації Check Step Response та

налаштуємо його так, щоб перерегулювання було не більше 10%, час регулювання не більше 4000 секунд.

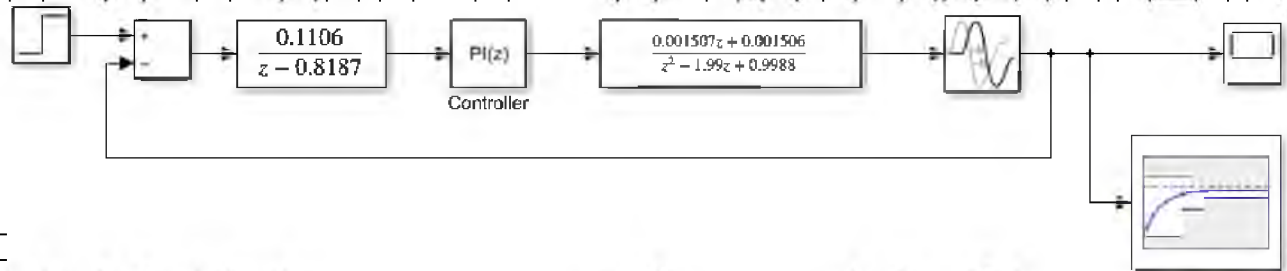


Рис. 4.6. Оновлена імітаційна модель САК рівнем процесу гомогенізації майонезу

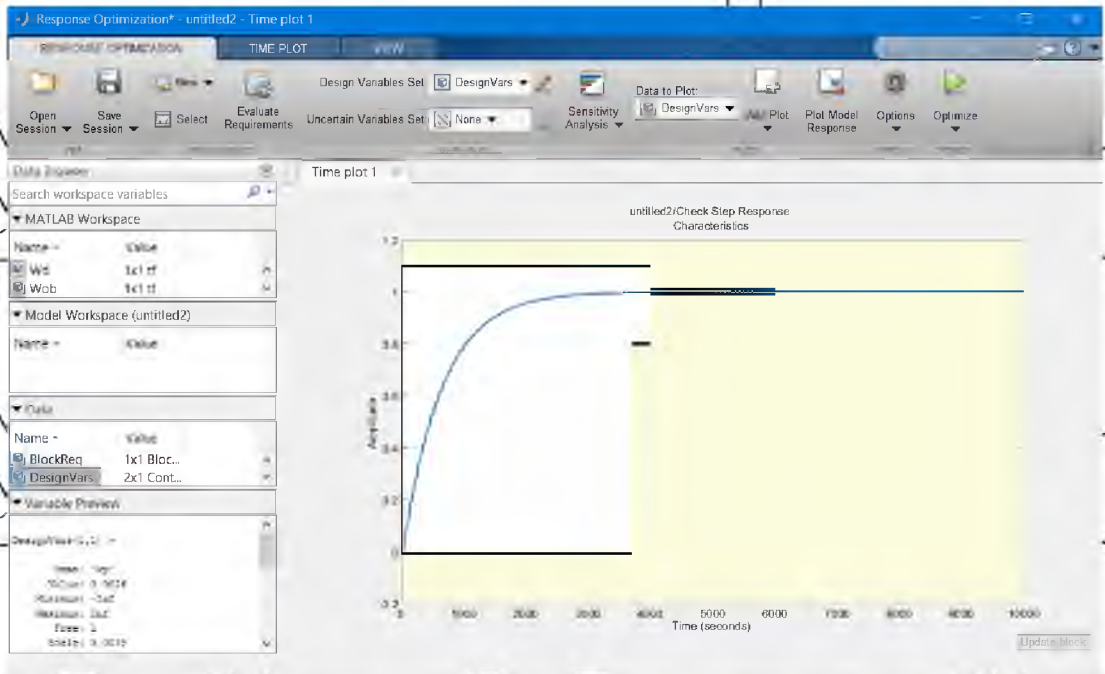
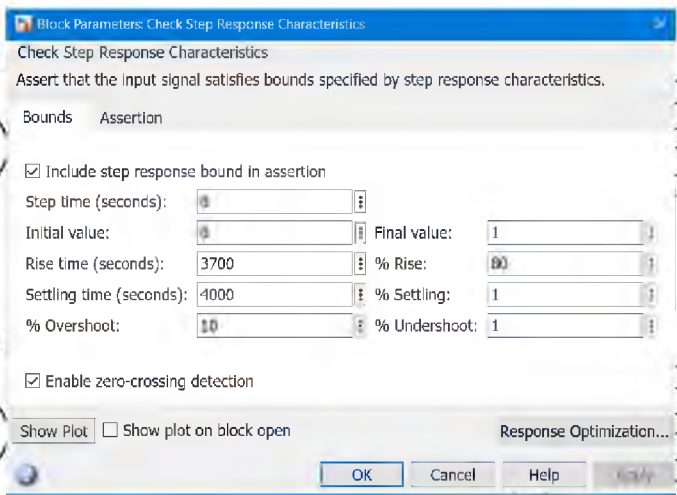


Рис. 4.7 – 4.8. Блок оптимізації Check Step Response

Отже, використавши даний блок отримали нові значення налаштувань регулятора. Отримаємо таку перехідну характеристику

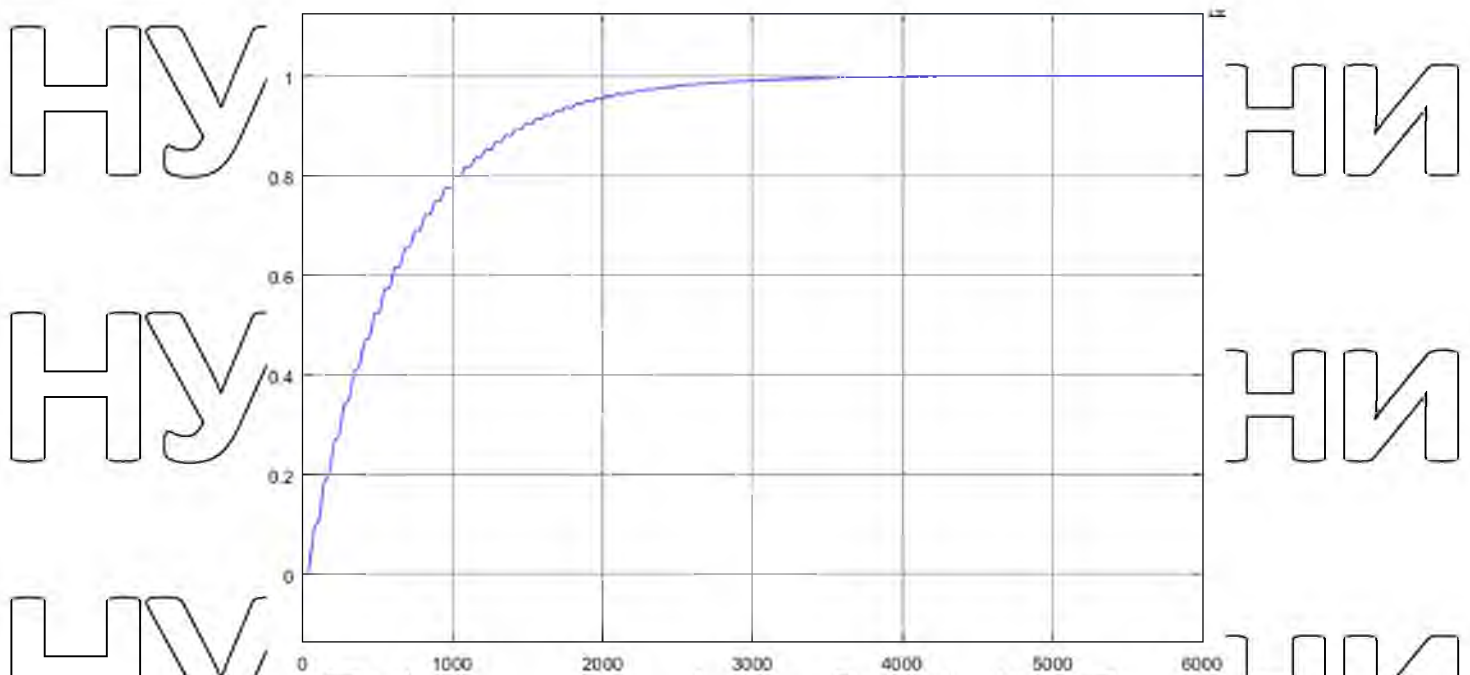


Рис. 4.9. Перехідна характеристика з оновленими налаштуваннями регулятора

З даного рисунка 4.6 видно, що система має такі показники якості:

- Перерегулювання 0 %;
- Коливальність $\sigma = 0$;
- Час регулювання $t_{рег} = 1475$ с;
- Відсутня статична похибка.

Отже, у цьому розділі проведено дослідження системи автоматичного керування рівнем у головному баку процесу гомогенізації майонезу. Визначено стійкість САК та її запас стійкості. Побудовано перехідний процес з використанням імітаційного середовища MATLAB Simulink, де було оптимізовано налаштування регулятора, та визначено прямі показники якості.

РОЗДІЛ V. ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ У ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА

Інтернет речей – концепція мережі, що складається із взаємозв'язаних фізичних пристроїв, які мають вбудовані давачі, а також програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати передачу і обмін даними між фізичним світом і комп'ютерними системами в автоматичному режимі, за допомогою використання стандартних протоколів зв'язку.

Окрім давачів, мережа може мати виконавчі пристрої, вбудовані у фізичні об'єкти і пов'язані між собою через дротові чи бездротові мережі. Ці взаємопов'язані пристрої мають можливість зчитування та приведення в дію, функцію програмування та ідентифікації, а також дозволяють виключити необхідність участі людини, за рахунок використання інтелектуальних інтерфейсів.

Для об'єднання речей у мережу потрібні декілька технологій:

- Для ідентифікації кожного об'єкту потрібна проста, компактна технологія. Тільки при наявності системи унікальної ідентифікації можна збирати та накопичувати інформацію про певний предмет;
- Для відслідковування змін у стані елемента чи оточуючого середовища об'єкти повинні оснащуватися сенсорами;
- Для обробки та накопичення даних з сенсорів повинен використовуватися вбудований комп'ютер;
- Для обміну інформацією між пристроями можуть бути використані технології бездротових мереж.

Інтеграція з Інтернетом має на увазі, що пристрої будуть використовувати IP-адресу як унікальний ідентифікатор. Проте, через обмежені адресні простори в IPv4 (що дозволяє використовувати 4,3 мільярда унікальних адрес), об'єктам IP доведеться використовувати IPv6, який забезпечує унікальними адресами мережевого рівня не менше 300 млн пристроїв на одного жителя Землі. Значною мірою, майбутнє інтернету речей не буде можливим без підтримки IPv6, отже, глобальне впровадження IPv6 у найближчі роки буде мати вирішальне значення для успішного розвитку IP в майбутньому.

Для бездротової передачі даних особливо важливу роль в побудові інтернету речей відіграють такі характеристики, як ефективність, стійкість на відмову, адаптивність, можливість самоорганізації. Основна зацікавленість в цьому сенсі представляє стандарт IEEE 802.15.4, що управляє доступом для організації енергоефективних персональних мереж, і є основою для таких протоколів, як ZigBee та 6LoWPAN.

WiFi – це локальна бездротова технологія, яка використовує 2,4 ГГц надвисокої частоти або 5 ГГц супер-високочастотної радіохвилі. Ця технологія дуже добре підходить для передавання великих обсягів даних по бездротовій мережі між пристроями, але це також вимагає багато енергії для роботи і має невеликий рівень пропускну здатності даних. При використанні цієї технології потрібно буде замінювати батареї у всіх пристроях на регулярній основі.

5.1. Вибір технічних засобів системи інтернет речей

У даному пункті до характеристик виробництва ТЗА та керуемого пристрою потрібно підібрати технічні засоби системи інтернет речей. До технічних засобів інтернет речей відносять: комутатори, маршрутизатори, антени для передачі даних на відстань.

Вибраний ПЛК має два входи Ethernet, тому для роботи інтернет речей один вхід використаємо для з'єднання керуемого пристрою з маршрутизатором, а інший – для з'єднання з комутатором, який в свою чергу буде з'єднаний з операторською панеллю. Також у даному проекті додатково до операторської панелі, що з'єднана через Ethernet, використаємо WEB-панель оператора.

Сенсорна панель оператора з Ethernet ОВЕР СИ310-Р (рис. 5.1). Технічні характеристики:



Рис. 5.1. Сенсорна панель СП310-Р

Табл. 5.1.

Технічні характеристики СП310-Р

Найменування	Значення
Апаратні характеристики	
Частота процесора	400 МГц
Обсяг Flash-пам'яті	128 МБ
Оперативна пам'ять	128 МБ
Годинник реального часу (RTC)	Є
Дисплей	
Тип дисплея	TFT LCD
Діагональ	10,1" (800*480)
Інтерфейси	
COM-порти	1 x RS-232 / RS-485 (Download-порт/DB9M) – для підмикання пристроїв і завантаження проєктів 1 x RS-232/RS-485 (PLC-порт/DB9M) – для підмикання пристроїв Підтримувані протоколи: Modbus RTU (Master/Slave), Modbus-ASCII (Master)
USB-порти	1 x USB 2.0 – для завантаження проєктів
Ethernet	1 x 10/100 Мбіт/с (RJ45) для підмикання пристроїв Підтримувальні протоколи: Modbus TCP (Master/Slave)
Загальні відомості	
Номінальна напруга живлення	24 ВDC
Ступінь захисту	3 лицьової сторони – IP65

Робоча температура	3 сторони з'єднувань IP20 0...50 °C
Робоча вологість	10...90 % (без конденсації)
Середній термін служби	10 років

У ролі WEB-панелі оператора вибрано панель від виробника ОВЕН ВП110. Це сенсорна панель з вбудованим веб-браузером. Призначена для наглядного відображення веб-візуалізації контролера. ВП110 оснащена вбудованим браузером з підтримкою технологій HTML5, який дозволяє відображати веб-сторінки. Рекомендується до сумісного використання з ОВЕН ЦПК200/210, СПКК1xx, OwenCloud та іншими пристроями, котрі мають веб-сервер. Підключення web-панелі ОВЕН ВП110 здійснюється по одному з трьох інтерфейсів зв'язку – Ethernet, Wi-Fi чи 3G.



Рис. 5.2. ОВЕН ВП110

Табл. 5.2.

Технічні характеристики ОВЕН ВП110

Найменування	Значення
Апаратні характеристики	
Процесор	MediaTek 4 x ARM Cortex - A7 core
Частота	1,3 ГГц
Графічний процесор	ARM Mali-400
Частота графічного процесора	500 МГц
Об'єм flash-пам'яті	8 Гб
Оперативна пам'ять	1

Годинник реального часу	€ 00
Дисплей	
Тип дисплею	TFT IPS
Діагональ	10,1" (1280x800)
Інтерфейси	
Ethernet	1x 10/100 Мбіт/с (RJ45)
Wi-Fi	802.11 b/g/n (2,4 ГГц)
3G	GSM: 850/900/1900 WCDMA: B1/2/5/8 TD-SCDMA: B34/39
Програмне забезпечення	
Операційна система	Android OS 8.1
Прикладне ПЗ	Веб-браузер (Mozilla Firefox, v.89.0)
Загальні відомості	
Номінальна напруга живлення	24 В
Ступінь захисту	З лицевої сторони – IP65 З сторони з'єднувань – IP20
Робоча температура	0...50 °C
Робоча вологість	10...90% (без конденсації)

Для з'єднання ПЛК разом з панеллю оператора використаємо додатково комутатор марки ОВЕН типу КСН210-5. Даний комутатор відноситься до лінійки надійних бюджетних 5-ти портових некерованих промислових комутаторів. Призначенні для з'єднання шлюзів в межах одної чи декількох сегментів мережі. Даний комутатор дозволить в майбутньому розширити виробництво і підключити до нього додаткові операторські панелі.

НУБІП УКРАЇНИ



Рис. 5.3. ОВЕН KCH210-5

Табл. 5.3.

Технічні характеристики ОВЕН KCH210-5

Найменування	Значення
Кількість портів	5 портів Ethernet
Рівень комутатора	L2
Вита пара (RJ45)	5 x 10/100 Мбіт/с

Особливості даного комутатора:

- Прості та надійні у використанні. Не потребують додаткового програмного забезпечення при установці чи експлуатації. Працюють по принципу plug & play;
- Працюють в складних умовах експлуатації в температурному діапазоні: 40...+55 °С;
- Широкий діапазон живлення промислового стандарту: 12...48 В постійного струму;
- Автоматичне визначення типу з'єднання MDI/MDI-X. Автоматичне визначення типу кабелю з прямою (568 В) чи перехресною (568 А) розпіновкою, яка підтримує підключені прилади.

Вибравши операторські панелі, комутатори, тепер можна вибрати маршрутизатор який буде працювати в 2 режимах одночасно. В режимі передачі даних по дроту з'єднаний з ПЛК та в режимі Wi-Fi з операторською панеллю та комп'ютером.

Для даної задачі найкраще підходить промисловий маршрутизатор фірми Phoenix Contact моделі TC ROUTER 4102T-4G EU WLAN. Даний маршрутизатор є універсальним – він може працювати як в режимі 4G LTE з підтримкою 3G та 2G, так в режимі безпроводної точки доступу Wi-Fi 802.11 a/b/g/n, 150 Мбіт/с, 2,4 ГГц + 5 ГГц. Також має входи для 2 комутаторів, міжмережевого екрану, перетворення мережевих адрес в. Додатково підтримує IPsec та OpenVPN.



Рис 5.4. Phoenix Contact TC ROUTER 4102T-4G EU WLAN

Табл. 5.4.

Технічні характеристики Phoenix Contact TC ROUTER 4102T-4G EU WLAN

Найменування	Значення
Діапазон напруги живлення	10... 30 В DC
Інтерфейс безпроводної мережі	
SIM-інтерфейс 1	Мікро SIM
SIM-інтерфейс 2	eSIM
Швидкість передачі даних	LTE (DL) < 150 Мбіт/с LTE (UL) < 50 Мбіт/с
Інтерфейс Ethernet 10/100 Base-T(X) згідно IEEE 802.3	
Швидкість передачі даних	10/100 Мбіт/с
Дальність передачі	100 м
Загальні характеристики	
Гальванічна розв'язка	VCC/LTE/Ethernet/PE
Ступінь захисту	IP20

Робоча температура	-40...+70 °C
Робоча вологість	10...95%

Отже, у даному розділі було підібрано технічні засоби:

Табл. 5.5

Вибрані технічні забезпечення інтернет речей	
Найменування	ТЗ
Операторська панель	Ethernet – OVEN СН310-Р Wi-Fi – OVEN ВП110
Комутатор	OVEN КСН210-5
Маршрутизатор	Phoenix Contact TC ROUTER 4102II-4G EU WLAN

На даному процесі виробництва саме ці технічні засоби системи інтернет речей будуть найкраще доповнювати цей процес.

5.2. Розробка алгоритму роботи SCADA-системи

Блок-схема - це схематичне уявлення процесу, системи чи комп'ютерного алгоритму. Блок-схеми часто застосовуються у різних сферах діяльності, щоб документувати, вивчати, планувати, удосконалювати та пояснювати складні процеси за допомогою простих логічних діаграм. Для побудови блок-схем застосовуються прямокутники, овали, ромби та деякі інші фігури (для позначення конкретних операцій), а також сполучні стрілки, які вказують послідовність кроків або напрямок процесу.

Блок-схеми варіюються від нехитрих, намальованих вручну до докладних, складених на комп'ютері діаграм з безліччю кроків та процесів. Якщо врахувати всі можливі варіації, блок-схеми можна визнати одним із найпоширеніших видів схем у всьому світі. Вони широко використовуються в різних сферах як технічній, і нетехнічній спрямованості. Іноді блок-схеми отримують більш вузькоспеціальні назви, наприклад схема процесу, схема робочого процесу, функціональна блок-схема або схема технологічного процесу (PFD). Вони тісно

пов'язані з іншими поширеними видами схем, такими як діаграми DFD та діаграми активності уніфікованою мовою моделювання (UML).

Перед розробкою програмного забезпечення у даній курсовій роботі, спочатку потрібно скласти блок-схему алгоритму роботи нашої системи. У даній схемі повинно бути відображено повний процес гомогенізації майонезу з використанням систем інтернет-речей (тобто запуск сервера, передача даних на сервер та відображення інформації на панелі оператора) (рис. 5.5).

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

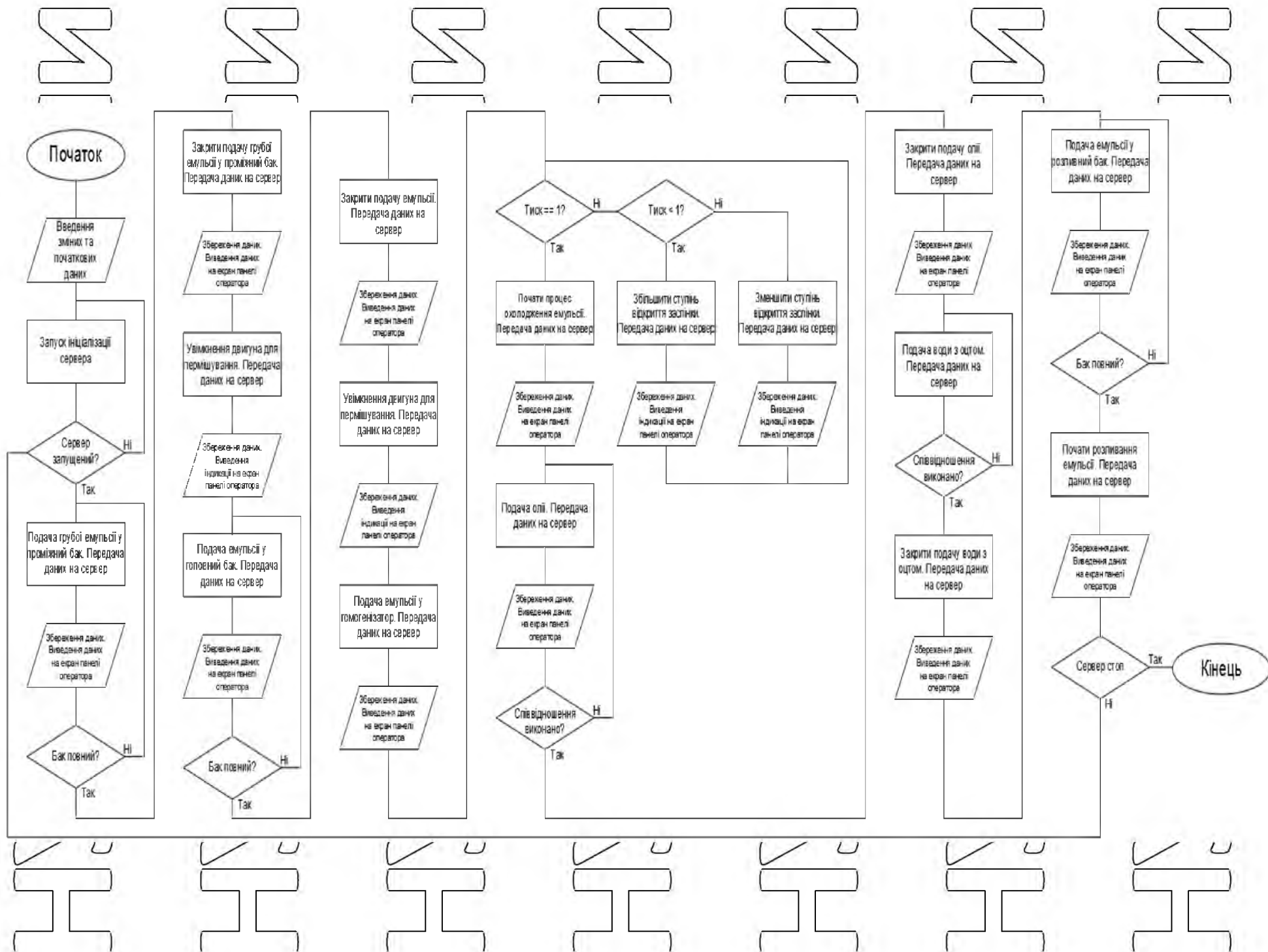


Рис. 5.5 Блок-схема алгоритму роботи SCADA-системи

Схема наглядно показує, як відбудеться код програми та послідовність виконання команди одна за одною.

5.3. Реалізація програмного забезпечення системи

Розробка програмного забезпечення буде відбуватися у програмі CodeSys. CodeSys – один найрозвиненіших і повнофункціональних інструментів для програмування логічних контролерів на мовах стандарту MEK. Програмовані логічні контролери (ПЛК) - пристрої, що автоматизують роботу промислових і побутових приладів або виробничих комплексів. ПЛК на фізичному рівні є пристроями, що мають кілька дискретних і аналогових входів і виходів, тоді як логіка їх роботи закладається програмно в мікрокомп'ютерний ядрі.

Для програмування доступні всі стандартні MEK мови: IL (Instruction List), ST (Structured Text), LD (Ladder Diagram), FBD (Function Block Diagram), SFC (Sequential Function Chart). Як розширення стандарту MEK в CoDeSys реалізована підтримка об'єктно-орієнтованого програмування, а також мову CFC (Continuous Function Chart), який є модифікованим.

Опис готового проекту зберігається в одному єдиному файлі. Компілятор CoDeSys генерує на основі проекту виконуваний машинний код, забезпечуючи максимально можливе швидкодію прикладних програм. Підтримуються різні процесори відомих марок. CoDeSys працює на всіх 32х розрядних Windows.

CoDeSys і контролер взаємодіють через проміжне додаток Gateway-сервер. Він може працювати як локально, так і віддалено через TCP / IP. Контролери підключаються до Gateway-сервера по протоколам RS232, TCP / IP або CAN.

Переваги:

- Легка адаптація до різних системних вимог та середовищ;
- Підтримка всіх звичайних процесорів та операційних систем промислових контролерів;
- Розподіл між верхнім/прикладним/користувачьким рівнем управління програмою та системним рівнем;

НУБІП України

- Депривизна в розробці проекту;
- Інтеграція в існуючі системи архітектури за допомогою інтерфейсів (таких як OPC/OPC UA)
- Конфігурація та введення в експлуатацію найважливіших систем промислових польових шин;

НУБІП України

- Розширений діапазон функцій завдяки додатковим продуктам доступним в online-магазині та за допомогою інших інструментів.

Для складання програми у програмному забезпеченні у CodeSys 3.5V

використаємо мову CFC (Continuous Function Chart) з використання функціональних блоків складених мовою ST (Structure Text).

НУБІП України

CFC це графічна мова, яка ідеально підходить для роботи з функціональними блоками. Додатки, які представлені у вигляді схем і складаються з функціональних блоків, виглядають в такій системі наочно та зрозумілими, проте складні обчислення з вибраною кількістю елементарних дій

НУБІП України

призводить до швидкого зростання «схеми, що збираються», знижує читабельність, знижує ефективність використання цієї мови. Хоча, дана мова не є стандартною мовою системи ІЕС, вона часто використовується для вирішення завдань, що характеризуються представленням даних «схемотехніки».

НУБІП України

Дві інші особливості, для реалізації мови в системі CodeSys, – це можливість автоматичного трасування зв'язку між блоками схеми та можливість обробки зворотного зв'язку процесу всередині схеми (із затримкою у циклі). Крім того, на мові CFC важко керувати послідовністю функцій і функціональних блоків, так

НУБІП України

як в разі влаштування, зібраного за схемою і безперервно працюючого, черговість роботи кожного блоку відсутня.

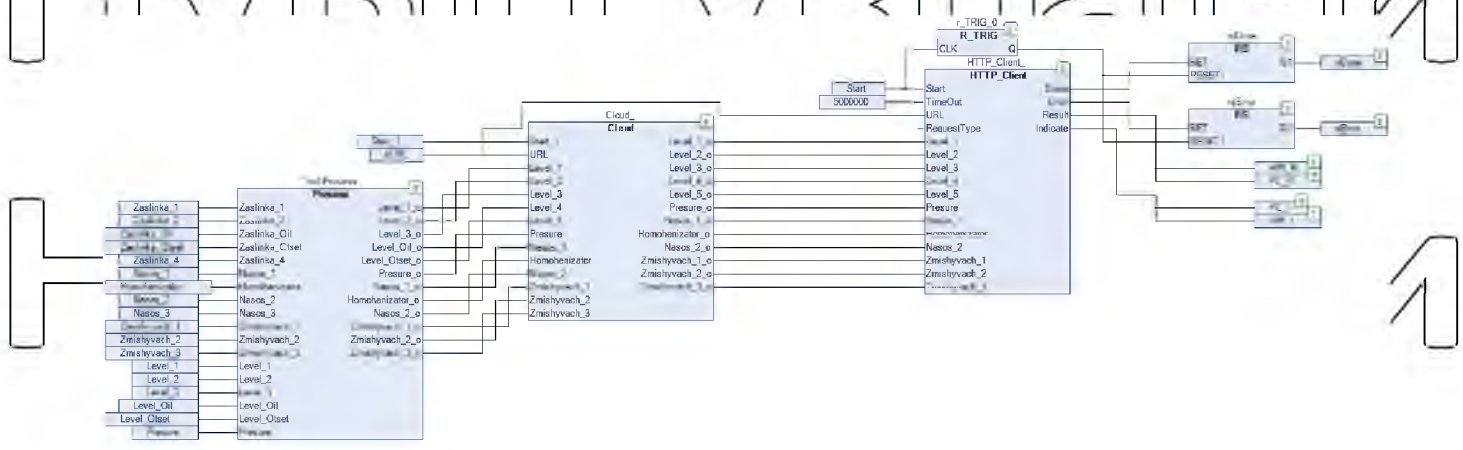


Рис. 5.6. Програма у середовищі CodeSys

```
PROGRAM ELC_PRG
VAR
  sURL:WSTRING(1024):='http://198.102.0.164';
  Start: BOOL;
  r_TRIG_0: R_TRIG;
  rsDone: RS;
  rsError: RS;
  xDone: BOOL;
  xError: BOOL;
  Zaslinka_1: BOOL;
  Zaslinka_2: REAL;
  Zaslinka_Oil: BOOL;
  Zaslinka_Otset: BOOL;
  Zaslinka_4: BOOL;
  Nasos_1: BOOL;
  Homchenizator: BOOL;
  Nasos_2: BOOL;
  Zmishyvach_2: BOOL;
  Zmishyvach_1: BOOL;
  Nasos_3: BOOL;
  Zmishyvach_3: BOOL;
  Level_1: REAL;
  Level_2: REAL;
  Level_3: REAL;
  Level_Oil: REAL;
  Level_Otset: REAL;
  Pressure: REAL;
  TechProcess: Process;
  Cloud: Cloud;
  HTTP_Client: HTTP_Client;
  Start_1: BOOL;
  HMI: INT;
  FC: INT;
  HMI_R: REAL;
  FC_I: BOOL;
  FC_R: REAL;
  HMI_I: BOOL;
END VAR
```

Рис. 5.7. Призначення змінних у програмі

У середині блоці Process виконується така програма, мовою ST:

```
CASE TechProcess OF
0: Zaslinka_1:=TRUE;
   TechProcess:=TechProcess+1;
1: Zmishyvach_1:=TRUE;
   IF Level_1=2 THEN Zaslinka_1:=FALSE;
   ELSIF Level_1<2 THEN Zaslinka_2:=0.5; END_IF;
   Zmishyvach_1_o:=Zmishyvach_1, Level_1_o:=Level_1;
   TechProcess:=TechProcess+1;
2: Zaslinka_2:=0.5; Nasos_1:=TRUE;
   Nasos_1_o:=Nasos_1;
   TechProcess:=TechProcess+1;
3: Zmishyvach_2:=TRUE;
   IF Level_1=1.2 THEN Zmishyvach_1:=FALSE; END_IF;
```

IF Level_2>1.4 THEN Homohenizator:=TRUE; END_IF; ○○
IF Level_2=2 THEN Zaslinka_2v=0.5; Nasos_1:=FALSE;
ELSIF Level_2<30 THEN Zaslinka_2:=0.5; Nasos_1:=TRUE; END_IF;

Zmishyvach_2_o:=Zmishyvach_2; Level_1_o:=Level_1;
Level_2_o:=Level_2; Homohenizator_o:=Homohenizator;
Nasos_1_o:=Nasos_1;
TechProcess:=TechProcess+1;

4: IF Presure<1.9 THEN Zaslinka_2:=1;

ELSIF Presure>1.9 THEN Zaslinka_2:=0.5; END_IF;

IF Presure>2.1 THEN Zaslinka_2:=0.25;
ELSIF Presure<2.1 THEN Zaslinka_2:=0.5; END_IF;

Presure_o:=Presure;

TechProcess:=TechProcess+1;

5: Zaslinka_Oil:=TRUE;

TechProcess:=TechProcess +1;

6: IF Level_Oil<15 THEN Zaslinka_Oil:=FALSE;

ELSIF Level_Oil>15 THEN Zaslinka_Oil:=TRUE; END_IF;

Level_oil_o:=Level_oil;

TechProcess:=TechProcess +1;

7: Zaslinka_Otset:=TRUE;

TechProcess:=TechProcess +1;

8: IF Level_Otset<24.5 THEN Zaslinka_Otset:=FALSE;

ELSIF Level_Otset>24.5 THEN Zaslinka_Otset:=TRUE; END_IF;

Level_Otset_o:=Level_Otset;

TechProcess:=TechProcess +1;

9: Nasos_2:=TRUE; Nasos_2_o:=Nasos_2;

TechProcess:=TechProcess +1;

10: Zmishyvach_3:=TRUE;

IF Level_2=1.2 THEN Zmishyvach_2:=FALSE; END_IF;

IF Level_3=1.4 THEN Nasos_3:=FALSE;

ELSIF Level_3<1.4 THEN Nasos_3:=TRUE; END_IF;

Level_2_o:=Level_2; Level_3_o:=Level_3;
 TechProcess:=TechProcess +1;
 U: Zaslanka_4:=TRUE; Nasos_3:=TRUE;
 END_CASE

```

1  FUNCTION_BLOCK Process
2  VAR_INPUT
3      Zaslanka_1:BOOL;
4      Zaslanka_2:REAL;
5      Zaslanka_Oil:BOOL;
6      Zaslanka_Otset:BOOL;
7      Zaslanka_4:BOOL;
8      Nasos_1:BOOL;
9      Homohenizator:BOOL;
10     Nasos_2:BOOL;
11     Nasos_3:BOOL;
12     Zmishyvach_1:BOOL;
13     Zmishyvach_2:BOOL;
14     Zmishyvach_3:BOOL;
15     Level_1:REAL;
16     Level_2:REAL;
17     Level_3:REAL;
18     Level_Oil:REAL;
19     Level_Otset:REAL;
20     Pressure:REAL;
21 END_VAR
22 VAR_OUTPUT
23     Level_1_o:REAL;
24     Level_2_o:REAL;
25     Level_3_o:REAL;
26     Level_Oil_o:REAL;
27     Level_Otset_o:REAL;
28     Pressure_o:REAL;
29     Nasos_1_o:BOOL;
30     Homohenizator_o:BOOL;
31     Nasos_2_o:BOOL;
32     Zmishyvach_1_o:BOOL;
33     Zmishyvach_2_o:BOOL;
34     Zmishyvach_3_o:BOOL;
35
36 END_VAR
37 VAR
38     TechProcess: INT;
39 END_VAR
  
```

Рис. 5.8. Призначення змінних у функціональному блоці

5.4. Розробка структурної схеми системи інтернет речей

Структурна схема комплексу технічних засобів (КТЗ) охоплює всі рівні АСУТП, крім нижнього (польового) рівня, який відображається схемою автоматизації. Однак, схема КТЗ не може розроблятися без урахування вхідних і вихідних сигналів «польового» рівня.

Структурна схема комплексу технічних засобів розробляється на основі технологічної схеми автоматизації. Дана схема включає такі параметри: рівень, температуру та тиск (рис 5.9).

Дана схема відображає що на вхід підключено: 5 давачів рівня, 1 давач температури та 1 давач тиску. До дискретних виходів підключено магнітний пускач двигунів змішувачів, теплове реле двигуна гомогенізатора та виконавчі механізми.

На нижньому (польовому) рівні знаходяться: первинні перетворювачі, місцеві прилади та виконавчі механізми з регулюючими органами. Середній рівень складають: програмований логічний контролер та сервер. На верхньому рівні управління розташовуються промислові комп'ютери. Зв'язок між ПЛК, панеллю оператора та сервером здійснюється через інтерфейс RS-485, а зв'язок сервера та промислових ПК здійснюється через локальну мережу підприємства Ethernet.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

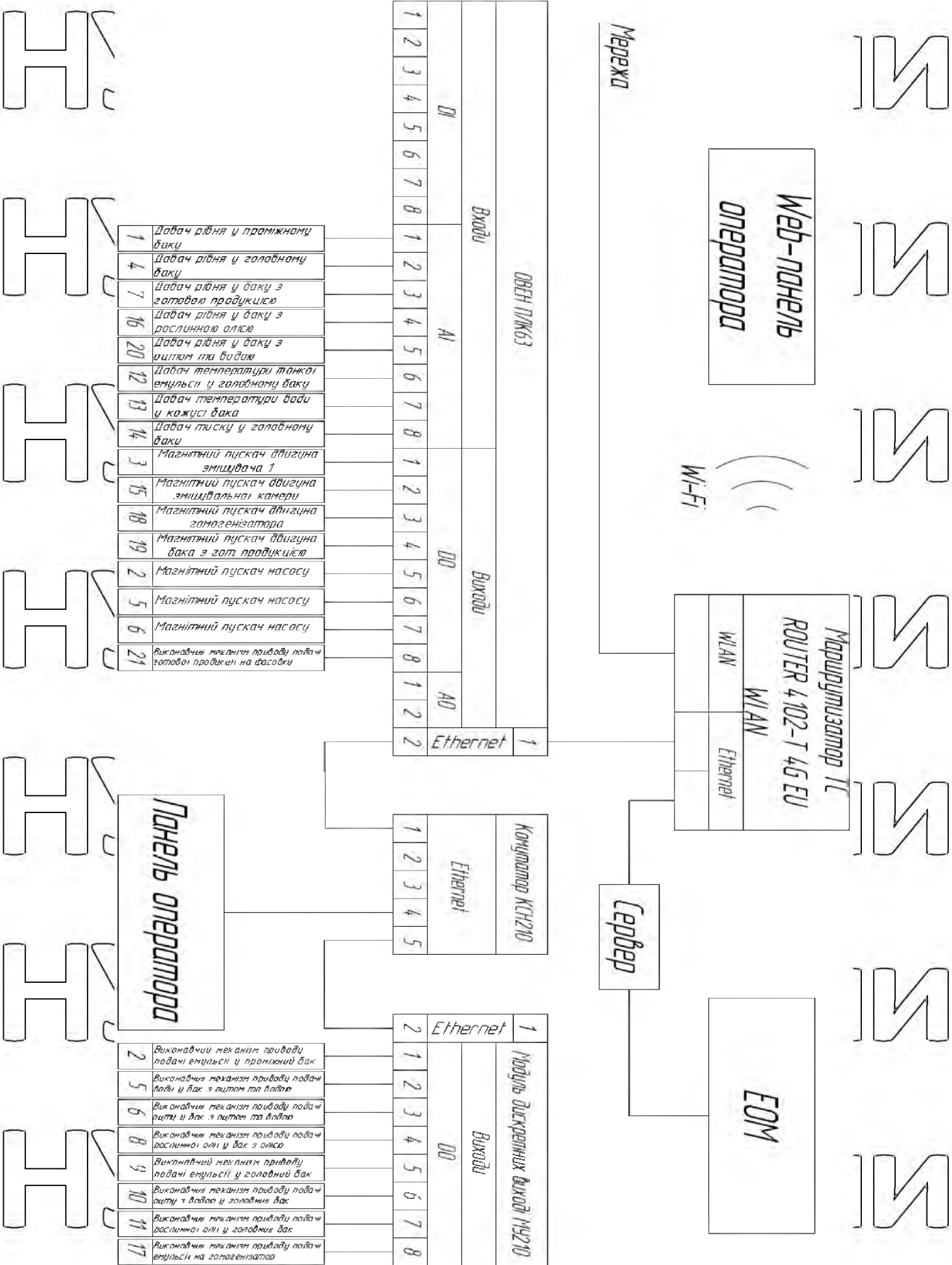


Рис 5.9. Структурна схема системи інтернет речей

Табл. 5.6

Перелік та призначення технічних засобів

Назва	Призначення
ПК підприємства (ЕОМ)	Клієнти читають базу даних, виконуючи SQL-запити
Сервер	Збереження даних у базу даних
Панель оператора	Графічне відображення та контроль технологічного процесу через Ethernet на АРМ оператора
Web-панель оператора	Графічне відображення та контроль технологічного процесу через Wi-Fi мережу на АРМ оператора
ПЛК ОВЕН	Вимірювання, регулювання та контроль параметрів технологічного процесу
Комутатор	Перехідна ланка між ПЛК, модулем та панеллю оператора
Модуль дискретних виходів	Модуль розширення ПЛК
Маршрутизатор	З'єднання мережі Ethernet зі всіма технічними засобами.

Таким чином, розроблені схеми комплексу технічних засобів будуть у повній мірі відображати структуру використовуваних технічних засобів, що дасть змогу, ефективно реалізувати запроєктовану систему автоматизації. Крім того, така схема допоможе ефективно налагоджувати, експлуатувати та при потребі виконувати необхідні ремонтні роботи.

5.5. Опис та розрахунок інформаційного каналу передачі даних

У даному магістерському проєкті використовуються Wi-Fi для передачі даних до веб-панелі оператора. Можна провести математичний розрахунок дальності Wi-Fi мережі для передачі даних автоматизованої системи керування.

Відстань на яку можливо передати цифровий сигнал розраховується за формулою:

$$D = 10^{\left(\frac{FSL}{20} - \frac{33}{20} \log F\right)}, \quad (5.1)$$

Де FSL (Free Space Loss) – втрати в просторі, дБ;

F – частота каналу передачі, МГц.

Втрати в просторі визначаються по формулі:

$$FSL = Y - S, \quad (5.2)$$

Де Y – сумарна потужність каналу, дБ;

S – запас підсилення каналу, дБ (достатній запас каналу для розрахунків прийнято 10 дБ).

Сумарна потужність каналу зазвичай рівна сумі потужності всіх передавачів, антени передавача і приймача, чутливості системи та різниці втрат системи передачі:

$$Y = P_t + G_t + G_r - P_{\min} - L_t - L_r, \quad (5.3)$$

Де P_t – потужність передача, дБ;

G_t – коефіцієнт підсилення передавальної антени, дБ;

G_r – коефіцієнт посилення приймальної антени, дБ;

P_{\min} – чутливість приймача на даній швидкості, дБ;

L_t – втрати сигналу в коаксіальному кабелі і в роз'ємах передавального тракту, дБ;

L_r – втрати сигналу в коаксіальному кабелі і в роз'ємах приймаючої сторони, дБ.

В якості робочої частоти був обраний 7 канал, оскільки частота роботи маршрутизатора рівна 2474 МГц. А швидкість передачі даних рівна 54 Мбіт/с, де чутливість рівна – 72 дБ, потужність передавача 25 дБ, коефіцієнт підсилення передавальної та приймальної антени дорівнює 13 дБ, втрати на коаксіальному кабелі 8 дБ.

$$Y = 25 + 13 + 13 + 72 - 8 - 8 = 107 \text{ дБ}$$

$$\text{Тоді } FSL = 107 - 10 = 97 \text{ дБ}$$

Отже, відстань передачі рівна:

$D = 10^{\left(\frac{97}{20} - \frac{33}{20} (\log 2400)\right)} = 0,18734 \text{ км}$
Відстань передачі цифрового сигналу для розробленого вимірювального комплексу становить 187,34 м.

Підсумовуючи даний розділ було підбрано технічні засоби технології інтернет речей, а саме: комутатор OВЕН КСН210-5, маршрутизатор Phoenix Contact TC ROUTER 4102T - 4G EU WLAN, панелі оператора OВЕН СП30-Р та OВЕН ВП110. Підбравши ТЗ складено алгоритм-блок схему роботи SCADA-системи, що дозволяє розробити програмне забезпечення системи. Ця програма складена мовою CFC з використанням функціональних блоків написані мовою ST. Розроблено структурну схему технологічного процесу. А також виконано розрахунок інформаційного каналу, а саме передачі даних по Wi-Fi, використовуючи частоту 2.4G, яка передає дані на відстань до 187,34 м.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ VI. СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

В даному розділі магістерського проекту буде наведено та розглянуто принципову електричну схему, схему електричних з'єднань, схему електричних підключень. А також вибір щита керування та його компонування.

6.1. Розробка принципової електричної схеми

Принципові електричні схеми визначають повний склад приладів, апаратів і пристроїв, (а також зв'язки між ними) дія, яких забезпечує вирішення задач керування, регулювання, захисту, вимірювання і сигналізації.

Визначивши всі технічні засоби для процесу гомогенізації складемо принципову електричну схему даного процесу. Для виконання принципової електричної схеми вибрано двигун, який використовується для перемішування та підтримування концентрації емульсії. Проте потрібно у даному схему ввести елементи інтернет речей, що були зазначені у розділі 5. На даній схемі (рис. 6.1) зображено електрична схема для керування двигуном змінувача, який може використовуватись, як прямим ходом, так і реверсивним ходом, для перемішування та підтримування вибраної концентрації емульсії; увімкнення насосів для перекачки емульсії по бакам та насоса-диспергатора гомогенізатора.

На даній схемі потрібно також зобразити елементи (технічні засоби) системи інтернет речей.

НУБІП України

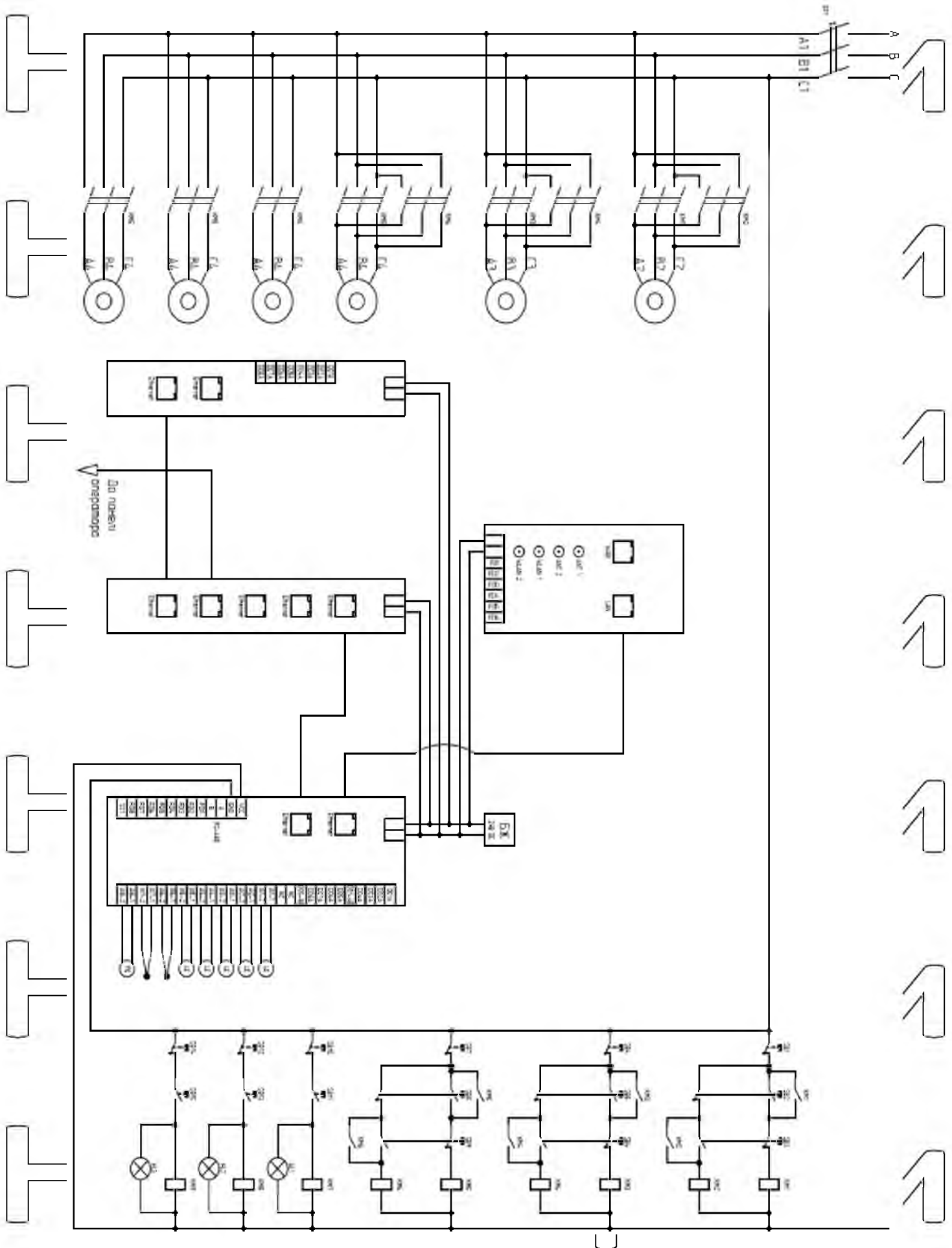


Рис. 6.1. Принципова електрична схема

Керування реверсивним двигуном відбувається за допомогою двох магнітних пускачів та трьох кнопок. Переваги використання даної схеми полягає в тому, що в ланцозі кожного пускача крім загальної кнопки SB1 «СТОП» включені по 2 контакту кнопок SB2 і SB3, причому в ланцозі KM1 кнопка SB2 має нормально-відкритий контакт (замикає), а SB3 – нормально-закритий (розмикаючий) контакт, в ланцозі KM2 – кнопка SB2 має нормально-закритий контакт (розмикаючий), а SB3 – нормально-відкритий контакт. При натисканні кожної з кнопок ланцюг одного з пускачів замикається, а інший ланцюг – розмикається.

Керування насоса відбувається за допомогою магнітного пускача, двох кнопок та лампи, що відображення чи насос увімкнений. Кнопки SB10, SB12, SB14 відповідають за зупинку насосів, вони мають нормально-закритий (розмикаючий) контакт, а кнопки SB11, SB13, SB15 відповідають за старт двигуна, подає сигнал на магнітний пускач, а той в свою чергу на обмотку статора. Лампи HL1, HL2, HL3 сигналізують про роботу насосів у звичайному режимі.

Даний метод створення принципової електричної схеми дозволяє відмовитися від використання контактів для захисту від одночасного включення двох пускачів (даний режим при цій схемі неможливий) і дозволяє можливість виконувати реверс без проміжного натискання на кнопку «СТОП», що є дуже зручно. Специфікація до електричної схеми наведено у таблиці 6.1.

Табл. 6.1

Специфікація ПЕС

Позиційне познач.	Назва	К-ть	Примітка
M1, M2, M3	Електричний двигун, асинхронний, 3-фазний MTE-550-1,5	3	
M4, M6	Насос ДНТ-МУ 140 20	2	
M5	Насос-диспергатор гомогенізатор РСМ-2	1	

SB1, SB4, SB7, SB10, SB12, SB14	Кнопка IEK AE22 з фіксацією	6
SB2, SB3, SB5, SB6, SB8, SB9, SB11, SB13, SB15	Кнопка керування IEK ABLFS-22	9
KM1, KM2, KM3, KM4, KM5, KM6, KM7, KM8, KM9	Магнітний пускач IEK МКК21-25-40 KM25-40M	9
HL1, HL2 HL3	Сигналізуючі лампи IEK AD22DS	3
A1	Маршрутизатор TC ROUTER 4102-T 4G EU WLAN	1
A2	Контролер ОВЕН ПЛК200	1
A3	Комутатор КСН210	1
A4	Модуль розширення дискретних виходів МН410	1

6.2. Розробка схеми електричного з'єднання

Розробивши принципову електричну схему процесу гомогенізації майонезу потрібно розробити схему з'єднань. Дані схеми зображують з'єднання складових частин пристроїв. Є ряд правил, які потрібно дотримуватися виконуючи розробку даної схеми:

- розробка схем з'єднань для одного щита/пульту/станції керування;
- усі елементи (пристрої, апарати, установки), що відображені на принциповій схемі повинні відображенні на схемі з'єднань;

зберегти на схемі з'єднань позначення позицій усіх приладів та ТЗ автоматизації та маркування ділянок кіл

Так як найзручніший та найпопулярнішим способом виконання є адресна схема електричного з'єднань, виконаємо розробку також цим способом. Цей

спосіб полягає в тому, що всі елементи апаратів не з'єднуються один з одним, а

присвоюється певна адреса (у вигляді цифрового чи літеро-цифрового позначення), з яким прилад електрично буде зв'язаний. Переваги використання

цього способу у не загромаджені схеми лініями зв'язку, що дозволяє легко читати схему. Але для даного способу крім вище зазначених правил, потрібно

дотримуватися ще таким правилам:

- шафу керування чи щит розвертають в одну площину, показуючи ті

- конструкції, на яких розміщені прилади та засоби, зберігаючи взаємне розміщення засобів;

- платам, на котрих розміщено резистори та конденсатори чи інші елементи, присвоюється лише порядковий номер;

- позначення позицій розміщують близько до їхнього умовно графічного позначення;

- дана схема будується без дотримання масштабу (прилади, а також засоби автоматизації показують у вигляді прямокутників), цифри, що розміщені над рискою показують на порядковий номер виробу, а цифри по під рискою – на їхнє позиційне позначення на схемі.

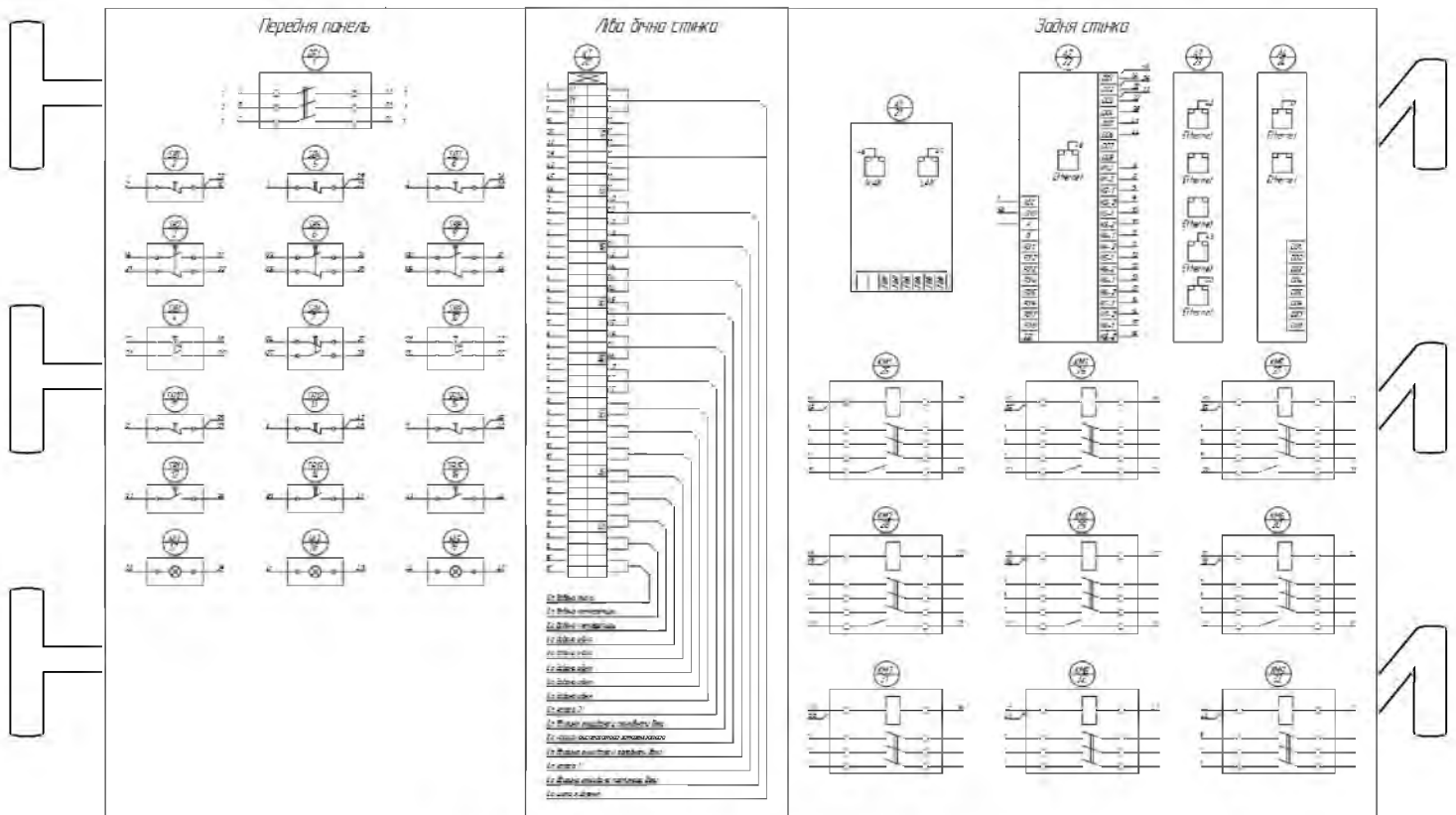


Рис. 6.2 Схема електричного з'єднання

На даній схемі зображено електричне з'єднання принципової електричної схеми, відображає всі елементи, котрі були використанні при побудові принципової схеми. Схема показує, як повинно бути встановлено електричні елементи у щитову конструкцію.

6.3. Розробка і опис схеми підключень. Вибір щитової продукції

Схеми підключень показують зовнішнє підключення пристроїв, пультів дистанційного керування тощо. Дана схема базуються на основі електричних схем, специфікацій пристроїв та устаткування, а також кресленнях виробничих приміщень із встановленням технологічним обладнання та трубопроводів, де вони використовуються під час монтажу проводів, що забезпечують живлення панелей, пультів дистанційного керування, пристроїв та апаратів.

Серед найпоширеніших схем виконання є графічне виконання схеми підключень. При даному виконанні зображують умовні графічні позначення:

- пристрої відбору та первинні вимірювальні перетворювачі;
- щити, пульти та локальні пульти;
- прилади та засоби автоматизації, що розміщені поза щитом;

вільні кінці в коробки терморпарі електропроводки та кабелі, що прикладаються поза щитами;
 вузли, до яких присьднують електроприводи та прилади.

- захисне заземлення.

Отже, виконавши в попередньому пункті принципову електричну схему, розробимо до неї схему підключення (рис. 6.3). Ця схема виконується без дотримання масштабу у вигляді, котрий є зручний для читання.

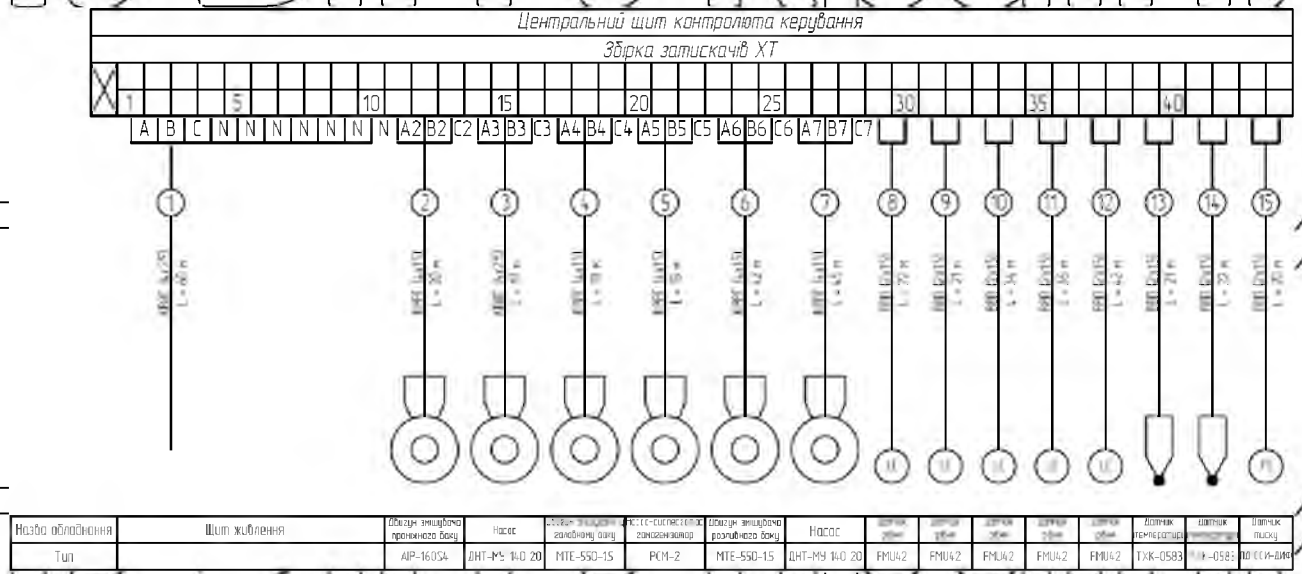


Рис. 6.3. Схема електричного підключення

На даній схемі зображено 15 ліній підключень:

- Лінія 1 – це лінія живлення, яка йде від щита живлення до затискачів щита управління процесом;
- Лінії 2, 4, 6 – це лінії підключення нашого щита управління з двигунами змішувачів проміжного баку, головного баку, розливного баку;
- Лінії 3, 7 – лінії підключення щита з насосом, що перекачують пасту (насос, що введе від проміжного баку), а в подальшому емульсію (насос, що введе від розливного баку);
- Лінія 5 – лінія підключення щита з насосом-диспергатором гомогенізатора.
- Лінії 8-12 – лінії підключення датчиків тиску (FMU42) з щитом управління;
- Лінії 13, 14 – лінії підключення щита управління з датчиками терморпарі (TXK-0583);

Лінія 15 – лінія підключення давача тиску (ПД100И-ДИФ) з щитом управління.

Щит – пост управління, контролю, сигналізації об'єктів автоматизації. В

середину розміщують пристрої керування, контрольно-вимірювальні прилади,

сигналізуючі та захисні засоби. З фасадних сторін щита може бути нанесені

мнемонічні схеми, пояснювальні (накладні) надписи, освітлювальні пристрої.

Щити розрізняються на такі типи:

- За виконанням поділяються на: відкриті (панельні) та захищені (шафові)

щити;

- За призначенням поділяються на: оперативні (тобто контролю та керування

технологічними процесами ведеться з цих щитів) та неоперативні

(розміщують пристрої та прилади, що не використовуються у керуванні та

контролю за технологічним процесом)

- За місце розташування та об'ємом інформації – місцевого розташування

(розташовують поряд автоматизованими установками та електрифікованих

установок), агрегатні (розміщують пристрої контролю, керування та

сигналізації для одного агрегату (установки)), блочного розташування

(засоби електрифікації та автоматизованих установок об'єднують так, що

вони було згруповані блоком, як комплексна установка), центральні щити

(дані щити використовують для засобів автоматизації та електрифікації,

що відносяться до всього ТП) та допоміжні (в них розміщують

реєстраційні прилади і лічильники, щити живлення);

За виконанням І виконання (з двома фасадними панелями)

використовують для підлогового розміщення та ІІ виконання (із трьома

фасадними панелями) використовують для навісного розміщення.

До вище вказаними правилами щити і пульти розраховують, на розміщення їх у закритому приміщенні з температурою навколишнього середовища $-30 \dots +50$

$^{\circ}\text{C}$ та відносної вологості не більше як 80 %. Щити та пульти умовно позначають згідно даних вимог.

Пульт використовують для розташування на ньому пристроїв керування, сигналізації та перемикачів вимірювальних кіл. Додаткові (допоміжні) елементи

призначені для забезпечення єдиної конфігурації щитів або пультів, що розробляються.

Розробляти детально увесь комплекс технічної документації до пультів (щитів) немає потреби у проєктах автоматизації технологічного процесу, так як документація надається заводом, що виготовив дані пульти (щити). Тому у

магістерські роботи буде наведено креслення загального вигляду пульта, перелік приладів, що будуть встановлені на пульті, та пристроїв, їх з'єднання та надписи до приладів у таблиці. Також треба зазначити, що ступінь захисту пульта від механічних частин та води, від дотику струмопровідних частино повинно бути не менше ніж IP30.

Креслення пульта розроблятиметься на одинарному щиті (це щит, пульт за номенклатурою). Загальний вигляд креслення одинарного пульта повинен складатися з таких частин:

- вигляду спереду (додатково можна додати вигляд в усіх проєкціях);
- технічних вимог;
- переліку складових частин щита;
- основного надпису;
- додаткових граф.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

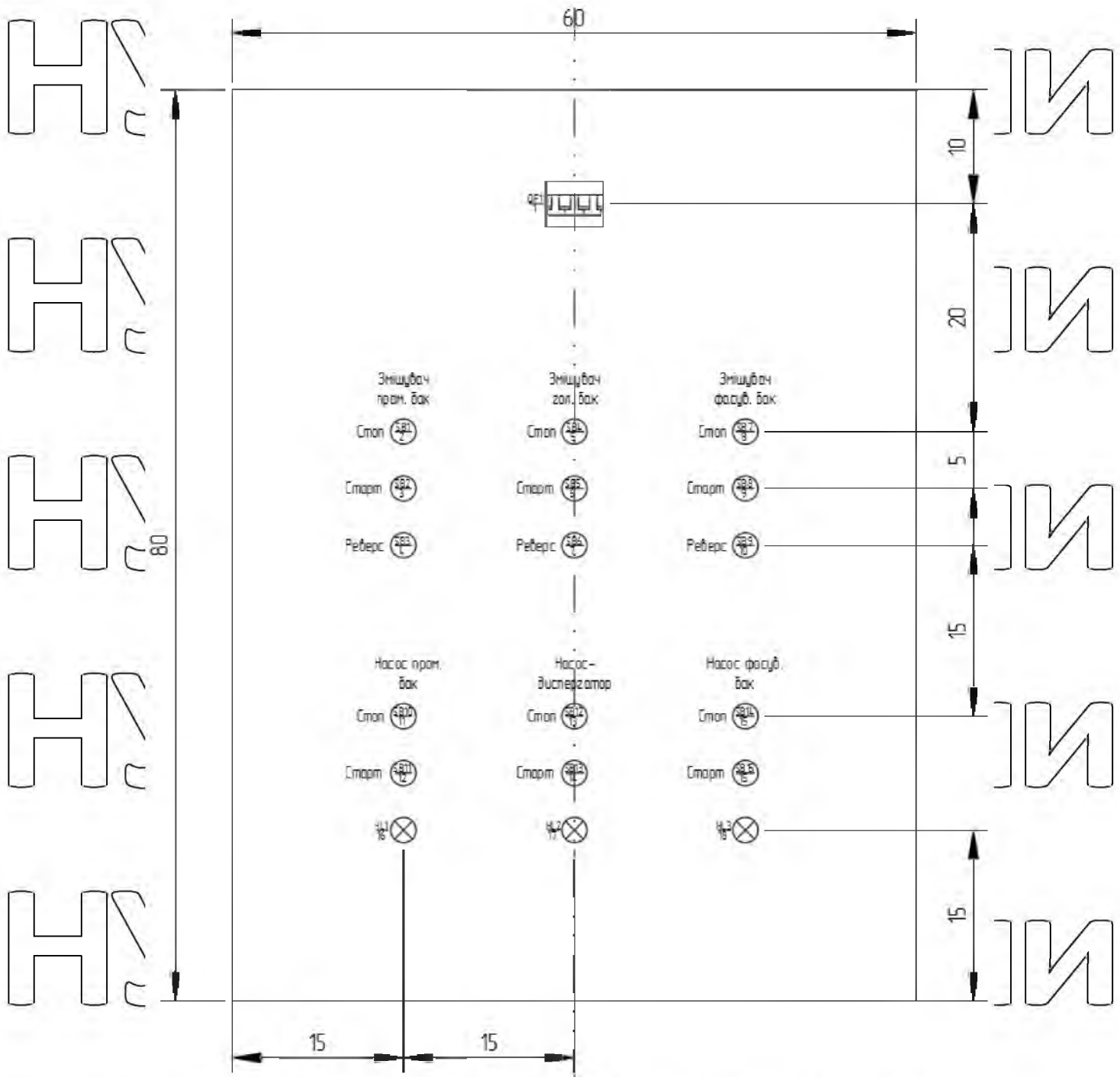


Рис. 6.4. Загальний вигляд щита керування

6.4. Розробка SCADA-системи

TRACE MODE – це програмне забезпечення, призначене для розробки великих розподілених АСУТП широкого призначення. Дану програму використовують у різних сферах промисловості (енергетика, металургія, нафтова, газова, хімічна та інші). Серед переваг використання даної програми є: розробка розподіленої АСУТП як єдиного проекту, автопобудова, оригінальні алгоритми обробки сигналів і керування, об'ємна векторна графіка мнемосхем,

єдиний мережевий час, унікальна технологія playback – графічного перегляду архівів на робочих місцях керівників [4].

Основними функціями програми є:

- модульна структура – від 128 до 64000 I/O;
- кількість тегів необмежена;
- мінімальний цикл системи рівний 0,001 с;
- відкритий формат драйвера для зв'язку з будь-яким УСС;
- відкритість для програмування (Visual Basic, Visual C++);
- вбудовані бібліотеки з більш ніж 150 алгоритмами обробки даних і керування;
- перегляд архівної інформації в реальному часі у виді таблиць та трендів.
- Моніторинг і керування через Ethernet.

Так, як в даному проєкті ми використовуємо технології інтернет речей потрібно буде створити певні захисти мережі. Один із них є створення логінів та паролів для несанкціонованого доступу до процесу (рис. 6.5).



Рис. 6.5. Вхід у мережу

Після того як буде введено валідний логін та пароль, йде перемикання екранів. Наступне, що ми побачимо буде головний екран процесу гомогенізації майонезу (рис. 6.6).

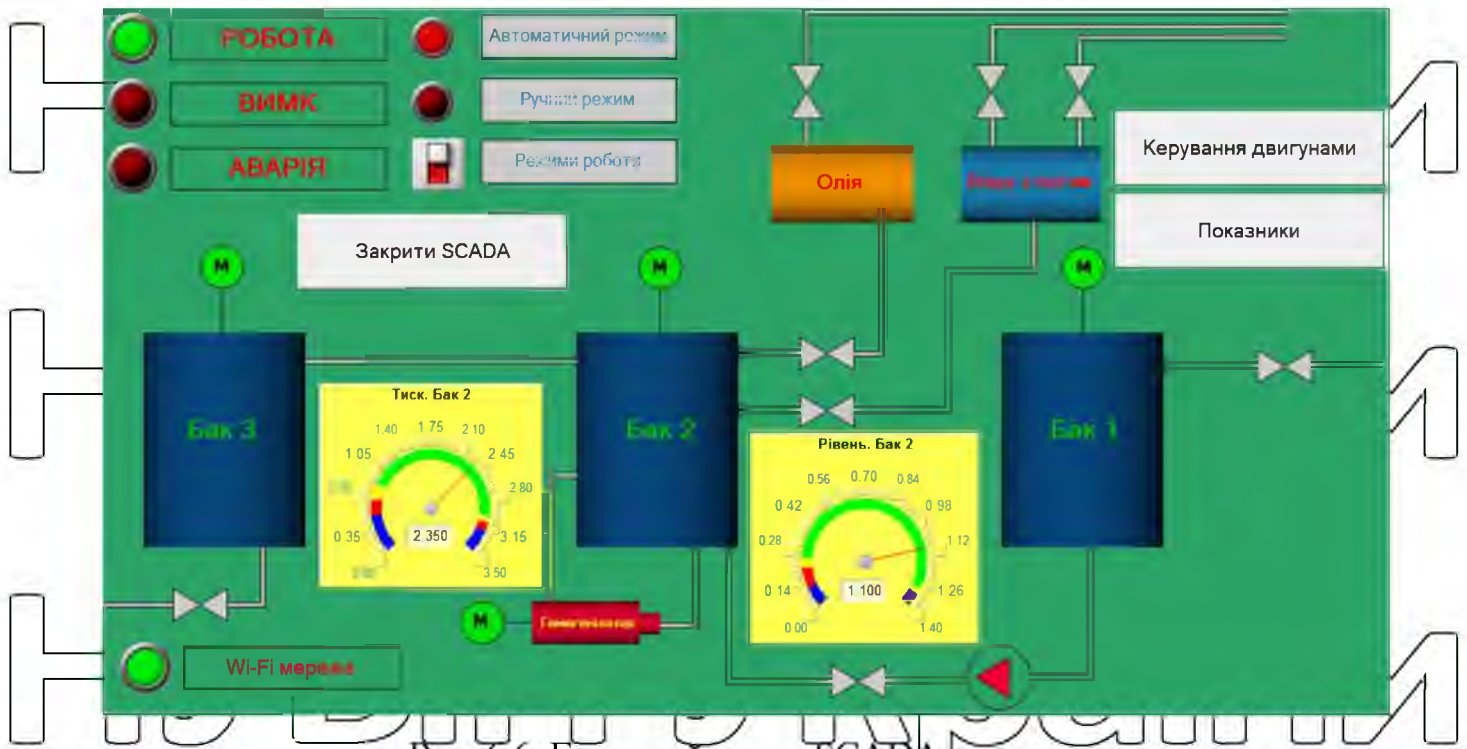


Рис. 6.6. Головний екран SCADA-системи



Рис. 6.7. Екран керування двигунами даного процесу

Мнемосхема процесу гомогенізації майонезу є доволі великою, щоб вмісти багато об'єктів SCADA, тому було додатково створено два екрани для відображення всіх елементів процесу: екран керування двигунами (рис. 6.7) та екран з показниками (рис. 6.8).



Рис. 6.8. Екран з відображення показників

Отже, в даному розділі було розроблені схеми системи автоматизації, а саме електричну принципову схему з використанням технологій інтернет речей, схему електричних з'єднань, схему підключень, вибрано шитову продукцію та розроблено SCADA-систему.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

**РОЗДІЛ VII. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ
ВІВРОДЖЕННЯ САК.**

Розрахунок економічної ефективності даного проекту автоматизації технологічного процесу виконується за таким алгоритмом:

- узагальнення даних для початкового аналізу;
- визначення капітальних витрат для купівлі та впровадження засобів автоматизації;
- проведення розрахунку річних експлуатаційних витрат для підтримування ТЗА;
- виявити очікуваний економічний ефект від впровадження автоматизації;
- прогнозування терміну капітальної окупності та експлуатаційної окупності.

Для здійснення початкових розрахунків ефективності проекту слід визначити усі витрати, пов'язані із придбанням і встановленням системи АСУТМ, що включають також витрати на доставку і монтаж приладів та пристроїв, а також їх налагодження. До цих розрахунків додано розробку технічного проекту та його узгодження, а також вартість технологічного проекту.

Табл. 7.1
Витрати на засоби автоматичного керування

№ п/п	Засоби автоматизації	Кількість, шт (м)	Ціна за одну одиницю товару, грн	Ціна, грн
1	Термопара ТХК-0583	2	300	600
2	Тиск ПД100И-ДИ	1	4606	4606
3	Рівень VEGABAR 87	5	6158	30790
4	Виконавчий механізм МЕО-40/25-0,25-93	8	4270	34160

5	Регулюючий орган Belimo R6050R-V3	8	9240	73920
6	Програмований контролер ОВЕН ПЛК200	1	11058	11058
7	Комутатор КСН210-5	1	2037	2037
8	Модуль дискретних виходів МУ210	1	3054	3054
9	Маршрутизатор Phoenix Contact TC-ROUTER 4102-T 4G EU WLAN	1	38042,6	38042,6
10	Сенсорна панель ОВЕН СП310-Р	1	7898,4	7898,4
11	Web-панель оператора ОВЕН ВП110	1	9108	9108
12	Автоматичний вимикач IEK ВА47-60	1	266,97	266,97
13	Магнітний пускач IEK МКК21-25-40 КМ25-40М	9	533,75	4803,75
14	Кнопка керування IEK АЕ22	6	110,29	661,74
15	Кнопка керування IEK АBLFS-22	9	41,80	376,2
16	Сигналізуючі лампи IEK AD22DS	3	41,80	125,4
17	Щит керування	1	2600	2600
Всього:			194108,06	

За даною таблицею 7.1 складемо наступну таблицю 7.2 з обсягом капітальних витрат за формулою:

$$K = K_3 + K_{\text{ТТ}} + K_{\text{М}} + K_{\text{І}}, \quad (7.1)$$

Де K_3 – обсяг капітальних вкладень на ТЗА,

$K_{\text{ТТ}}$ – обсяг торгівельно-транспортних та складських витрат;

$K_{\text{М}}$ – обсяг витрати на монтаж технічних засобів;

$K_{\text{І}}$ – інші капітальні витрати на здійснення автоматизації.

Табл. 7.2

Капітальні витрати на проєкт

№ п/п	Витрати	Вартість, грн
1	Вартість обладнання	194 108,06
2	Торгівельні-транспортні та складські витрати	19 410,81
3	Монтажні витрати	29 116,21
4	Інші капітальні витрати	3 882,16
Всього:		246 517,24

Отже, капітальні витрати на проведення автоматизації становить 246 517,24 грн.

Розрахуємо обсяг річних експлуатаційних витрат за формулою:

$$C = C_3 + C_a + C_{\text{пр}} + C_e + C_d \quad (7.2)$$

Де C_3 – витрати на оплату праці персоналу;

C_a – відрахування на амортизацію (становить 15% від капітальних вкладень у ТЗА),

$C_{\text{пр}}$ – витрати на поточний ремонт (становить 0,10... 0,15),

C_e – витрати на електроенергію;

C_d – інші прямі витрати (становить 1% від загальної експлуатаційної суми витрат).

Табл. 7.3

Обсяг річних експлуатаційних витрат

Найменування	Формула	Вартість
Витрата на оплату праці персоналу	$C_3 = n * Z_{\text{год}} * t * T + Z_{\text{дод}} \quad (7.3)$ <p>Де n – кількість працівників (2 оператора, 2 працівника КВПА, 1 інженер); $Z_{\text{год}}$ – погодинна оплата праці; t – час зміни; T – кількість робочих днів на рік; $Z_{\text{дод}}$ – додаткова оплата праці (25% від основної)</p>	672 000

Відрахування на амортизацію	$C_a = 0,15 * K_3$ (7.4)	29 116,21
Витрати на поточний ремонт	$C_{пр} = 0,13 * K_3$ (7.5)	25 234,05
Витрати на електроенергію	$C_e = P * t * C_e$ (7.6) P – потужність приладів автоматизації, t – час напрацювання приладів; C _e – ціна за електроенергію (2,24 грн/кВт)	64 512
Інші витрати	$C_d = 0,01 * C_{екс}$ (7.7)	7908,62
Всього:		798770,88

Для обчислення річної розрахункової витрати ми маємо всі дані. Річні витрати розраховуються за такою формулою:

$$V_p = C + E_n * K \quad (7.8)$$

$$V_p = 798\,770,88 + 36\,977,59 = 835\,748,46 \text{ грн.}$$

Отже, річні витрати складають 835 748,46 грн. Зробимо розрахунок економічного ефекту.

Економічний ефект (E) – це абсолютний вартісний показник, що характеризує річну економію від впровадження системи автоматизованого управління технологічним процесом, є розрахунковим і визначається як різниця між результатами від використання нової автоматизованої техніки, інших нововведень за рік та вартісною оцінкою сукупних витрат ресурсів за цей період [2].

$$E = E_b + \Delta V_3 \quad (7.9)$$

Де ΔV_3 – економія, що викликана зменшення робітничого штату (до автоматизації штат складав: 2 оператора, 4 слюсаря КВПіА та 1 інженера)

E_b – економію від зменшення браку продукції. До впровадження автоматизації технологічного браку на виробництві становило 2%, з тим, що застосування більш точних датчиків рівня та температури брак продукції зменшився до 1%. Розраховується за формулою:

$$E_b = V_p * 0,01, \quad (7.10)$$

B_p – виручка продукції за рік. Виконується за формулою:

$$B_p = O * V * Ц_{од} \quad (7.11)$$

O – обсяг продукції за день, одиниці;

T – кількість робочих днів;

$Ц_{од}$ – ціна за одиницю продукції.

$$B_p = 5000 * 300 * 16 = 24\,000 \text{ тис. грн}$$

$$E_B = 24\,000 * 0,01\% = 240 \text{ тис. грн}$$

$$E = 240 + 240 = 480 \text{ тис. грн}$$

Термін окупності проекту – це час, який потрібен для того, щоб сума надходження від впровадження проекту, або сумарна оцінка економічного ефекту протягом цього періоду відшкодувала суму капітальних витрат на його впровадження. Термін окупності визначається загальних капітальних вкладень у проекту до економічного ефекту від його реалізації [2]:

$$T_o = \frac{B_p}{E} \quad (7.12)$$

$$T_o = \frac{835\,748,46}{480\,000} = 1,74 \text{ роки.}$$

Коефіцієнт абсолютної ефективності проекту ($K_{еф}$) – відносний показник, що показує результативність капіталовкладень у проект автоматизації та дає уявлення про те, ціною яких витрат досягнутий економічний ефект. Ефективність розраховується як співвідношення можливого сукупного річного економічного ефекту до капіталовкладень у проект [2].

$$K_{еф} = \frac{E}{B_p} \quad (7.13)$$

$$K_{еф} = \frac{480\,000}{835\,748,46} = 0,57$$

Отримані результати зведемо до таблиці 7.4.

Табл. 7.4

Техніко-економічні показники підприємства

№ п/п	Показник	Одиниці виміру	До автоматизації	Після автоматизації	Зміна показника
1	Річний обсяг виробництва в	Од.	1 500 000	1 500 000	0

	натуральних показниках				
2	Собівартість виробництва одиниці продукції	Грн.	16	16	0
3	Капітальні затрати	Грн.	-	835 748,46	835 748,46
4	Чисельність працюючих	Чол.	7	5	2
5	Нарахування заробітної плати працюючим	грн	672 000	432 000	240 000
6	Економічний ефект	Грн.	-	480 000	480 000
7	Термін окупності	Років	-	1,74	1,74
8	Коефіцієнт абсолютної окупності			0,57	0,57

Введення автоматизації в процес гомогенізації майонезу дозволило скоротити персонал з 7 до 5 чоловіків, що призвело до зменшення витрати на нарахування зарплати на 240 тис. грн. Також застосувавши більш точні первинні перетворювачі дозволило зменшити витрати на брак приблизно на 1%. Економічний ефект даної автоматизації становить 480 тис. грн. Маючи економічний ефект можна розрахувати термін окупності, що становить 1,74 роки, та абсолютний коефіцієнт проєкту, що становить 0,57. Дану автоматизацію доцільно впроваджувати на даному процесі.

ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі було виконано такі завдання:

1. Розглянуто технологічний процес виробництва майонезу та вибрано саме процес гомогенізації для проведення автоматизації цього процесу.

Складено карту параметрів даного процесу. Складено мету магістерської роботи, визначено об'єкт дослідження та що є предметом дослідження. Для досягнення мети складено завдання.

2. Складено матеріальний баланс процесу гомогенізації майонезу.

Складено імітаційну модель процесу, з якої було визначено (пронормалізувавши криву розгону) передатну функцію об'єкта.

3. Вибрано алгоритм керування процесом (вибрано ПІ-алгоритм) та зроблено розрахунок налаштувань параметрів регулятора. Вибрано ТЗА.

4. Проведено дослідження системи автоматичного керування рівнем у головному баку процесу гомогенізації майонезу.

5. Підбрано технічні засоби технології інтернет речей. Складено алгоритм-блок. Розроблено програмне забезпечення системи.

6. Розроблено схеми системи автоматизації та вибрано щитову продукцію, розроблено SCADA-систему.

7. Розраховано економічний ефект даної автоматизації становить 480 тис. грн., термін окупності становить 1,74 роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лисенко В.П., Шворов С.А., Коваль В. В., Решетюк В.М., Мірошник В.О., Шуруб Ю. В., Осипенко В.В., Цигульов І.Т., Руденський А.А., Гладкий А.

М., Болбот І.М., Лукін В.Є. Методичні вказівки до розробки випускної роботи магістра для студентів із спеціальності 8.05020201 «Автоматизація управління технологічними процесами»/ Київ: НУБІП, 2015. – 185с.

2. Юрченко Д.О. Пояснювальна записка бакалаврської роботи на тему «Автоматизація процесу гомогенізації майонезу на Костопільському маргариновому заводі»/ Рівне: НУВГП, 2020. – 48с.

3. Клепач М.І., Кнчур О.Ф., Христюк А.О. Методичні вказівки до курсової роботи з навчальної дисципліни «Теорія автоматичного керування» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання/ Рівне: НУВГП, 2019. – 32с.

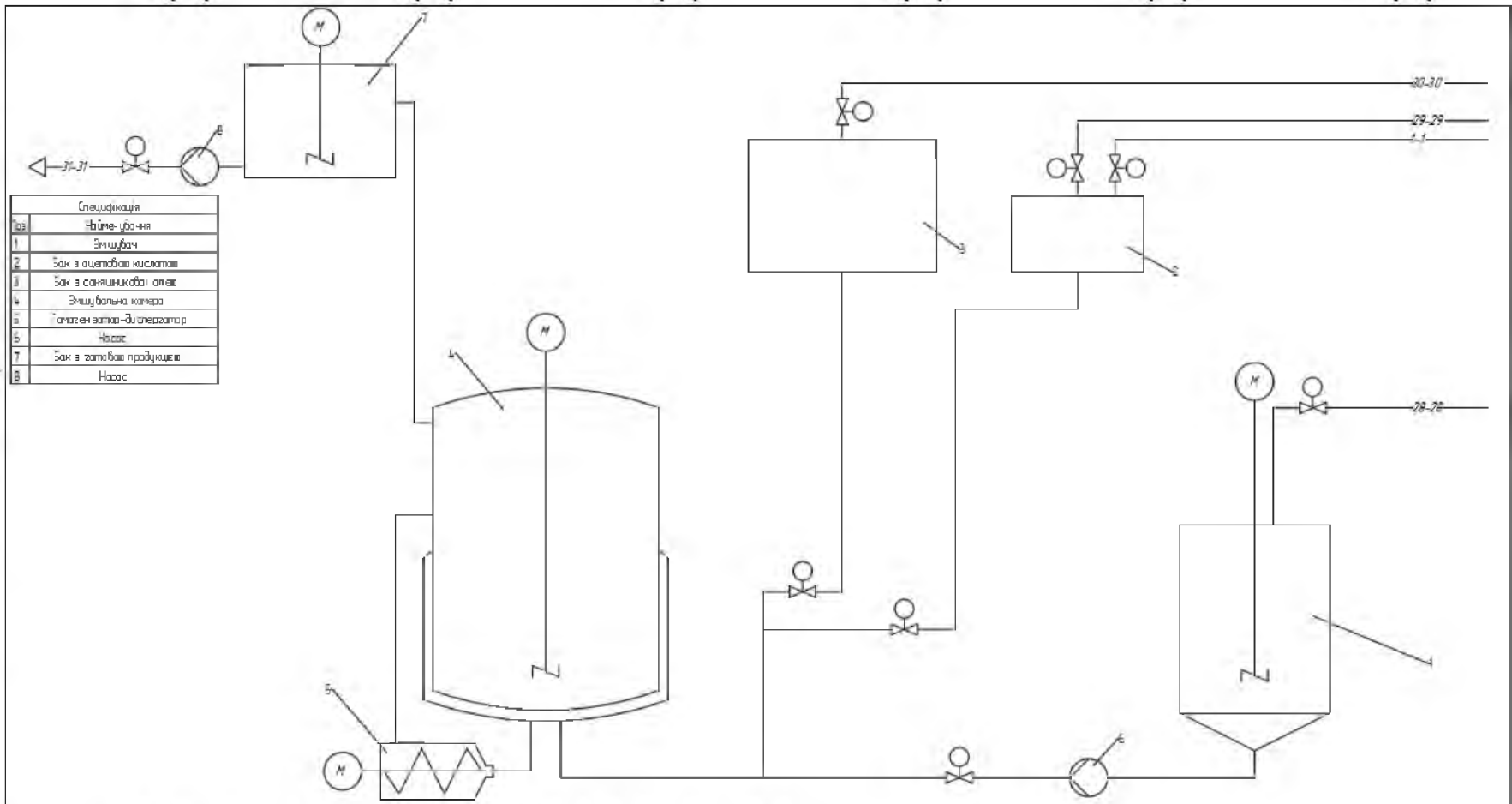
4. Стеценко А.М., Пастушенко В.М. Лабораторна робота № 1 «Створення бази інформаційних каналів автоматизованої системи керування технологічним процесом» з курсу «Автоматизовані системи керування технологічними процесами» для студентів спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами»/ Рівне: НУВГП, 2013. – 23с.

5. Технологія майонезів, салатних соусів та дресингів/ Навч. Посібник/ В.К. Тимченко, А.К. Зябченкова, А.А. Савус – Харків: НТУ «ХП», 2007. -160.

6. Шевченко В. В. Емульгування і гомогенізації при виробництві майонезу [Електронний ресурс] / В. В. Шевченко. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: 1. <https://argo-media.ru/jemulgirovanie-i-gomogenizacija-pri-proizvodstve-majoneza/>.

7. Технологічна лінія по виробництву майонезу [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://studbooks.net/1926174/tovarovedenie/tehnologicheskaya liniya proizvodstvu_mayoneza.

НУБІП УКРАЇНИ



Специфікація	
02	Фільтр-убивач
1	Зливувач
2	Бак з оцетовою кислотою
3	Бак з соняшниковою олією
4	Зливувальна камера
5	Танк з естакадою-двигуном
6	Насос
7	Бак з готовою продукцією
8	Насос

№	1	2	9	3	4	5	6	10	7	8	11	12	13	14	15	16	17	18	19
№ місця	LT 12			LT 32					LT 42			TI 52	PE 62	LT 82				LT 112	
№ щитів	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
№ діл. апар.																			
№ апар. розподілу																			
№ апар. контролю																			
№ апар. запобігання																			

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата
Розробив		Вірченко І.		
Перевірив				
Т. контр.				
Нач. контр.				
Затвердив				

Функціональна схема автоматизації
Процес зомогенізації майонезу

Літера	Маса	Масштаб
Аркци	Аркци	

НУБІП України

НУБІП України

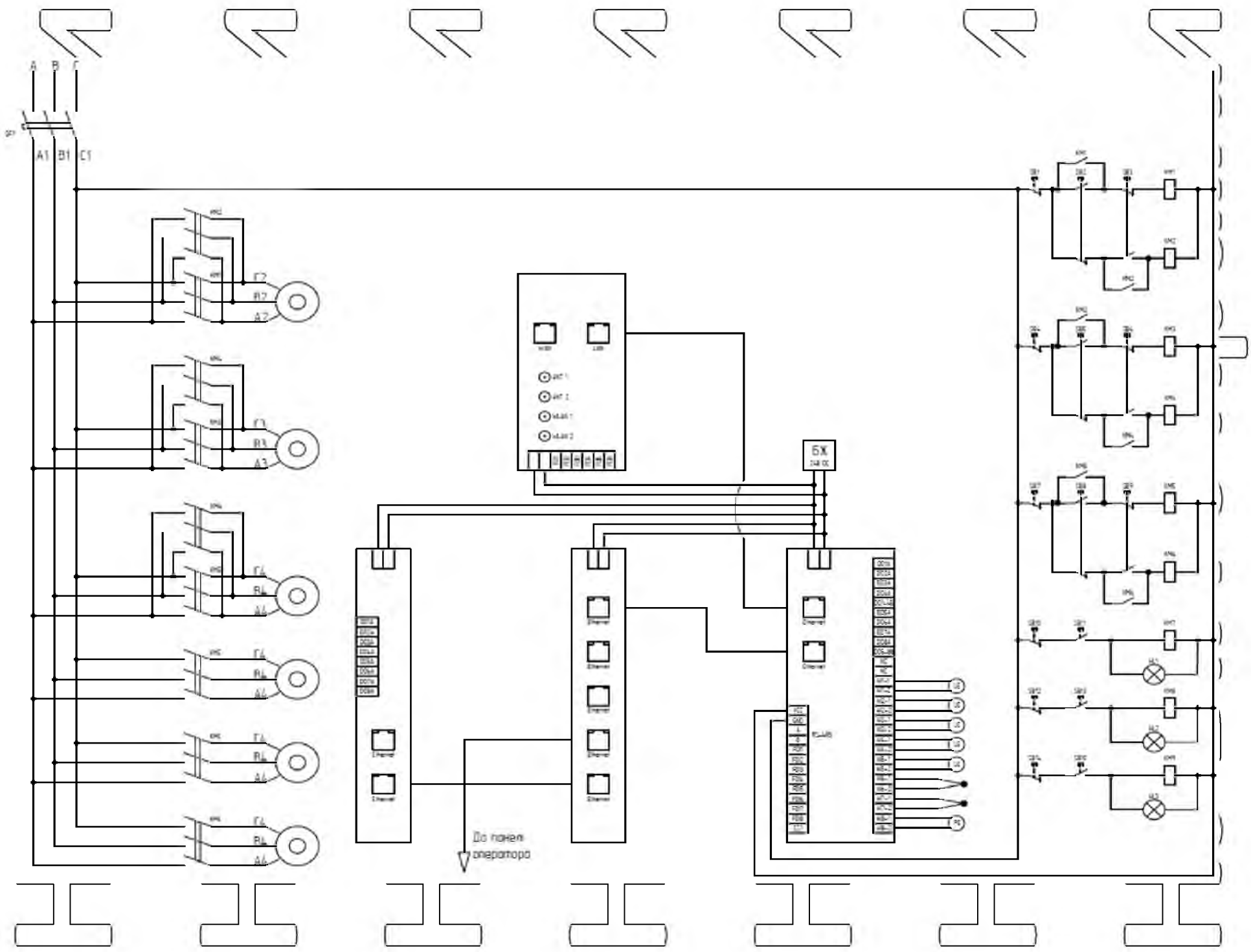
НУБІП України

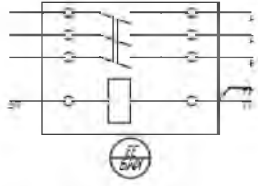
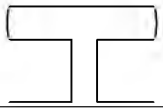
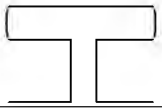
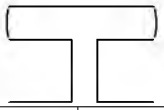
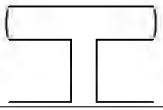
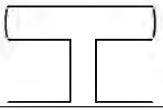
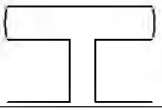
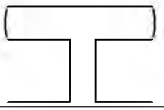
НУБІП України

НУБІП України

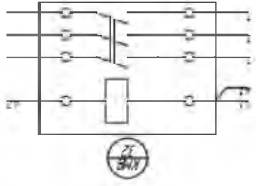
НУБІП України

НУБІП України

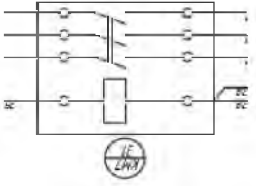




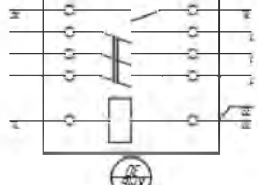
11



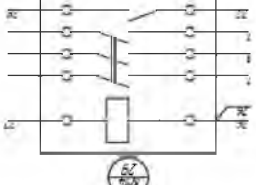
12



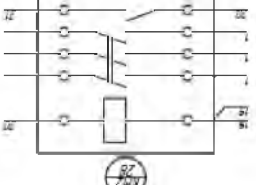
13



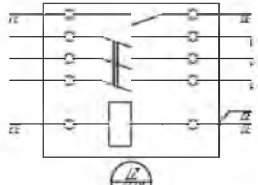
14



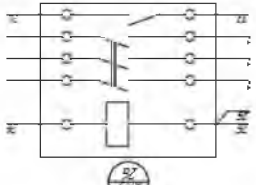
15



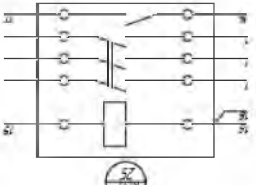
16



17



18



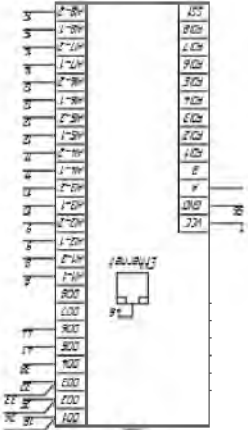
19



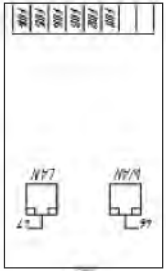
20



25

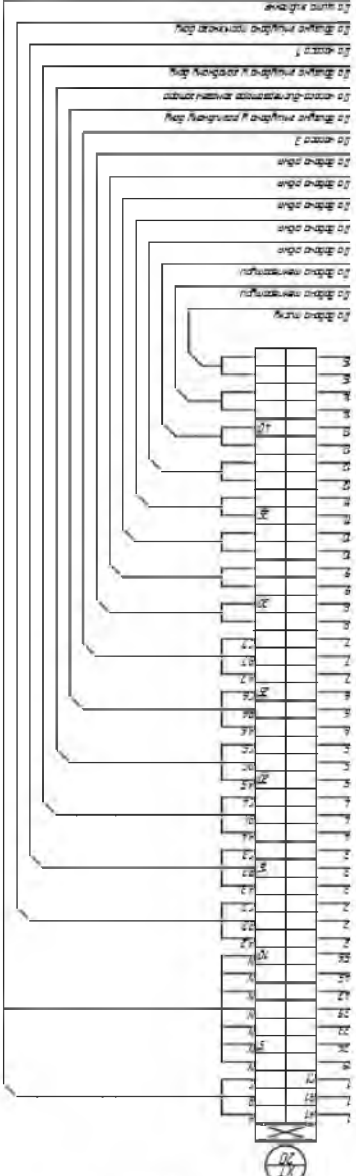
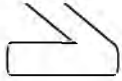
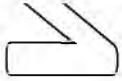
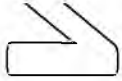
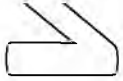
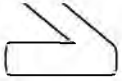
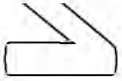
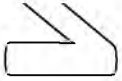


30



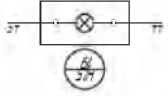
34

Задняя панель

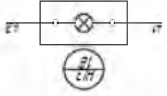


Передняя панель

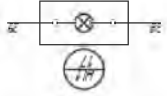
Выводы для подключения к...



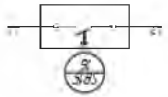
1



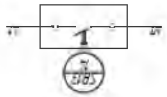
2



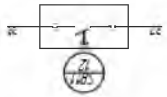
3



4



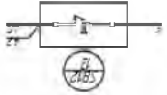
5



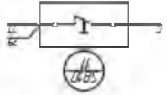
6



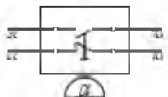
7



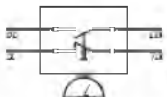
8



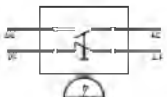
9



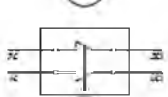
10



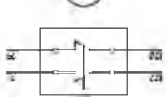
11



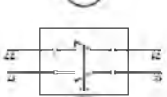
12



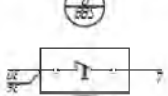
13



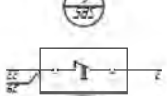
14



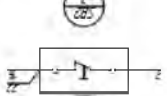
15



16



17



18



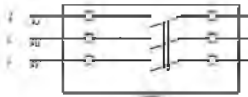
19



20

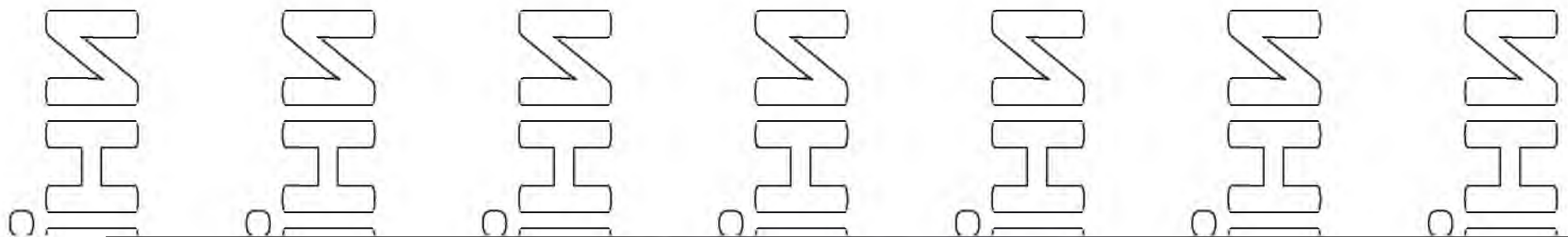


21



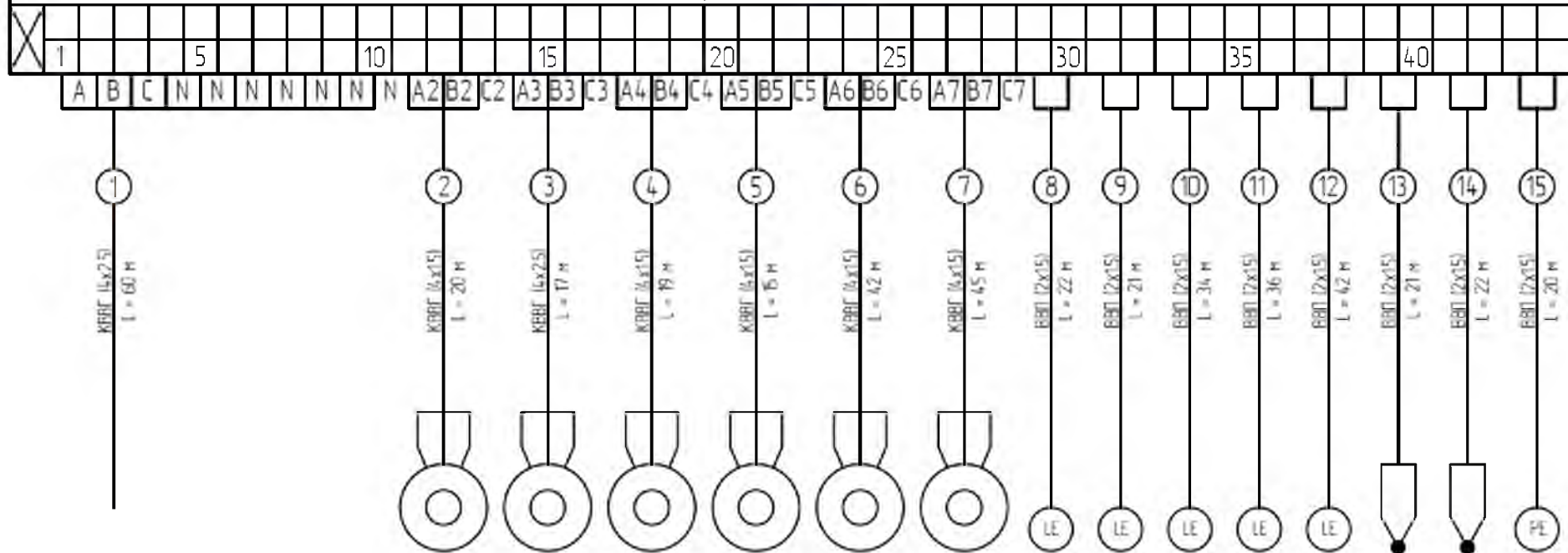
22

Передняя панель



Центральний щит контролю та керування

Збірка затискачів XT



Назва обладнання	Щит живлення	Об'єкт змивача прального баку	Насос	Об'єкт змивача-глобального баку	Насос-диспергатор-гомогенізатор	Об'єкт змивача розливного баку	Насос	Датчик рівня	Датчик рівня	Датчик рівня	Датчик рівня	Датчик рівня	Датчик температури	Датчик температури	Датчик тиску
Тун		AP-160S4	ДНТ-МЧ 140 20	МТЕ-550-15	РМ-2	МТЕ-550-15	ДНТ-МЧ 140 20	FMU42	FMU42	FMU42	FMU42	FMU42	ТХК-0583	ТХК-0583	10100И-ДИТ

