

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	Навчально-науковий інститут Комп'ютерних систем і технологій «Індустрія 4.0» ім. П.М. Платонова
Факультет	Автоматизації та робототехніки
Кафедра	Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем
Ступінь ви- щої освіти	Бакалавр
Спеціальність	151 - «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Освітня про- грама	Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Тема: «Автоматизація процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання на підприємстві «ТОВ «Зерновита» »

Розробив	М.І. Касап
Керівник к.т.н., доцент	І.М. Світий
Зав. кафедри АТПіРС д.т.н., професор	В.А. Хобін
<i>«e-версія роботи ідентична оригіналу»</i>	М.І. Касап
<i>«e-версію роботи прийнято»</i>	
Депозитор кафедри АТПіРС	Т.В. Волик

Одеса-2023

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	Навчально-науковий інститут Комп'ютерних систем і технологій «Індустрія 4.0» ім. П.М. Платонова
Факультет	Комп'ютерних систем та автоматизації
Кафедра	Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
Спеціальність	151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Освітня програма	«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри АТП і РС
д.т.н., проф. Хобін В.А.**

«_17_» лютого 2022 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

1. Студент **Касап Микола Іванович**
2. Тема кваліфікаційної роботи «Автоматизація процесу керування керування гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання на підприємстві «ТОВ «Зерновита»
3. Керівник кваліфікаційної роботи **Світий Іван Миколайович, к.т.н., доцент**
П.п. 2 і 3 затверджені наказом ОНАХТ від 16 лютого 2022 року № 103-03.
4. Строк подання студентом випускної дипломної роботи - 05 червня 2023 р.
5. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали виконаних індивідуальних завдань (ІЗ), переддипломної практики, курсових та самостійних робіт, виконаних у відповідності з ІЗ.
6. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно розробити) :
 - 1) Характеристика процесу керування гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання на підприємстві «ТОВ «Зерновита», обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керування процесом.
 - 2) Конкретизація задачі дотримання регламентів процесу керування гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання на підприємстві «ТОВ «Зерновита»», розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.
 - 3) Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів.
 - 4) Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного процесу керування зволоженням зерна на підприємстві «ТОВ «Зерновита».
 - 5) Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів.
 - 6) Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК.
 - 7) Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.
 - 8) Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці.

9) Попереднє обґрунтування економічної доцільності реалізації роботи.

7. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання	Світий І.М., доц. каф. АТП і РС		
Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів	Світий І.М., доц. каф. АТП і РС		
Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САУ	Левінський В.М., доц. каф. АТП і РС		
Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і налагодчика САК	Степанов М.Т., доц. каф. АТП і РС		
Вибір ТЗА та розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК	Левінський В.М., доц. каф. АТП і РС		
Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження проекту			

8. Дата видачі завдання 18 лютого 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика керування процесу керування гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання на підприємстві «ТОВ «Зерновита», обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керування процесом	18.03.23 р.	
2	Конкретизація задачі дотримання регламентів процесу керування гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання на підприємстві «ТОВ «Зерновита». розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання	29.03.23 р.	
3	Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР	19.04.23 р.	
4	Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання на підприємстві «ТОВ «Зерновита».	23.04.23 р.	
5	Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів	29.04.23 р.	
6	Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК	05.05.23 р.	
7	Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і налагодчика САК	14.05.23 р.	
8	Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці	21.05.23 р.	
9	Попереднє обґрунтування економічної доцільності реалізації роботи	27.05.23 р.	

Студент

Касап М.І.

Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра

Світий І.М.

АНОТАЦІЯ

Касап М.І. «Автоматизація процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання на підприємстві «ТОВ «Зерновита».

Кваліфікаційна робота бакалавра. – Одеса: ОНАХТ 2023. – 214с.

Бібліогр.:_18_. Іл.:_116_. Табл.:_20_.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є підвищення конкурентноздатності підприємства за рахунок підвищення якості регулювання процесом опалення будинку шляхом розробки обґрунтованих технічних рішень зі створення модернізованої САК.

У роботі наведені дослідження процесу опалення будинку, як об'єкту керування, в результаті котрих отримані математичні моделі основних каналів керування та збурень. На основі отриманих моделей розроблені алгоритми керування процесом в режимах пуску, зупинки та нештатних ситуаціях.

Здійснено вибір комплексу технічних засобів відповідно до потрібного ступеню захисту обладнання.

Розроблений комплекс програм, що забезпечує реалізацію алгоритмів на контролері фірми WAGO, було виконано в середовищі Codesys. Також в середовищі SCADA-системи WinCC Flexible розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика.

В роботі представлено комплект технічної документації САК на базі контролера фірми WAGO. Розроблений комплект включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування процесом опалення будинку.

Ключові слова: виробництво гречаної крупи, гідротермічна обробка крупи автономна САК, камера пропарювання.

ЗМІСТ

	стор.
Перелік умовних позначень, символів і одиниць.....	10
Вступ.....	11
Розділ 1 Характеристика керування технологічним процесом гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керування процесом.....	12
1.1 Короткий опис підприємства ТОВ «Зерновита» характеристика виробничої і господарської діяльності	12
1.2 Узагальнений опис технологічних процесів підприємства та рівня його автоматизації.....	13
1.3 Вибір об'єкту для модернізації системи автоматизації, опис та аналіз реалізованого ним технологічним процесом та відповідного обладнання.....	14
1.4 Аналіз впливу ефективності керування технологічним агрегатом на показники якості продукції, її собівартість. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності при впровадженні модернізованої системи.....	21
1.5 Конкретизація мети модернізації системи.....	22
1.6 Висновки за розділом.....	23
Розділ 2 Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу обробки крупи в камері пропарювання, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.....	24
2.1 Розробка концептуальної моделі об'єкту регулювання.....	24
2.2 Ідентифікація моделей каналів перетворення об'єкта регулювання.....	25
2.3 Ідентифікація моделей детермінованих і випадкових складових неконтрольованих збурень.....	38
2.5 Висновки за розділом.....	62

	стор.
Розділ 3 Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів.....	63
3.1 Конкретизація завдань регулювання для процесу обробки крупи в камері пропарювання	63
3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури.....	65
3.3 Структурний і параметричний синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності.....	79
3.4 Висновки за розділом.....	91
Розділ 4 Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним процесом гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання	92
4.1 Конкретизація задачі логічного керування процесом гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання....	92
4.2 Формалізація регламентів, розробка алгоритмів автоматичного логічного керування пуском ділянки в роботу та нормальною зупинкою.....	95
4.3 Формалізація регламентів та розробка алгоритмів логічного керування для підсистем зупинки в нештатних ситуаціях.....	97
4.4 Реалізація алгоритмів логіко-програмного керування в виді функціональної логічної схеми.....	99
4.5 Імітаційне моделювання роботи алгоритмів логічного керування.....	102
4.6 Висновки за розділом.....	106
Розділ 5 Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів.....	107
5.1. Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення.....	107

	стор.
5.2. Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання.....	113
5.3. Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу.....	118
5.4 Висновки за розділом.....	126
Розділ 6 Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК.....	127
6.1 Аналіз вхідних і вихідних сигналів і вибір топології побудови системи....	127
6.2 Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.....	128
6.3 Програмне конфігурування контролера.....	134
6.4 Розробка програмного забезпечення.....	136
6.5 Створення підпрограм логічного керування.....	139
6.6 Програмна реалізація алгоритмів регулювання та їх тестування на моделі ОК.....	144
6.7 Висновки за розділом.....	147
Розділ 7 Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.....	148
7.1 Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога.....	148
7.2 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.....	149
7.3 Конкретизація функцій і структури екранів АРМ наладчика САК.....	163
7.4 Розробка екранів АРМ наладчика САК.....	164
7.5 Висновки за розділом.....	166
Розділ 8 Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці.....	167
8.1 Характеристики технологічного об'єкта керування та опис основних технічних рішень.....	167
8.2 Розробка схеми автоматизації.....	171

	стор.
8.3 Розробка принципової електричної схеми.....	171
8.4 Розробка принципових електричних схем живлення.....	174
8.5 Розробка документації щита оператора.....	176
8.6 Розробка схеми зовнішніх проводок.....	177
8.7 Охорона праці.....	178
8.8 Висновки за розділом.....	186
Розділ 9 Попереднє обґрунтування економічної доцільності реалізації роботи.....	187
9.1 Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання	187
9.2 Річна економія за рахунок модернізації системи автоматизації гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання	191
9.3 Приріст чистого прибутку та чистого грошового потоку за рік після модернізації системи автоматизації гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання	192
9.4 Висновки за розділом.....	194
Висновки.....	195
Список використаної літератури.....	198
Додатки.....	
Додаток А Документація до схеми автоматизації.....	
Додаток Б Документація до принципової електричної схеми контролю та керування.....	
Додаток В Документація до принципової електричної схеми живлення.....	
Додаток Г Документація до щита оператора.....	
Додаток Д Документація до схеми зовнішніх проводок.....	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗАЧЕНЬ СИМВОЛІВ І ОДИНИЦЬ

АК-алгоритм керування;

АРМ- автоматизоване робоче місце;

АСК ТП- автоматизована система керування технологічними процесами;

ВМ-виконавчий механізм;

ВП-випадковий процес;

ДР-диференційне рівняння;

ІМ-імітаційна модель;

КВ-керуючий вплив;

КП-керуючий пристрій;

ММ-математична модель;

ОК-об'єкт керування;

ОНАХТ- Одеська національна академія харчових технологій;

ПЗ-програмне забезпечення;

ПК-персональний комп'ютер;

САК-система автоматичного керування;

ВСТУП

В даний час зростають потреби населення в нових продуктах харчування, які характеризуються екологічною чистотою і здоровим напрямком. Одним з таких продуктів є гречана крупа, отримана із зерна гречки.

При вирощуванні гречки не застосовуються хімічні добрива, що робить її екологічно чистою. Україна знаходиться в трійці світових лідерів виробників гречки.

Ця культура переважно споживається в країнах, де її виробляють, також в останні роки, новий поштовх світового споживання гречки дають розвинені азіатські країни. На сьогодні існуючі технології виробництва гречаної крупи, є дуже складними і енергоємними, вимагають великої кількості обладнання. При цьому якість і вихід готової продукції не реалізують потенційні можливості, закладені в зерні.

Гречана крупа має високі смакові якості, а також лікувально-дієтичні властивості і є важливим продуктом харчування.

Завдяки високій харчовій і біологічній цінності, продукти, що виробляються з гречки, широко використовуються не тільки в громадському, а й в дитячому і дієтичному харчуванні. За підсумками статистичного відділу ФАО, лідером з виробництва гречки являються Китай, Україна займає третю позицію, Франція займає четверте місце. Нажаль сучасний рівень виробництва гречки в Україні не задовольняє потреб виробництва.

Застосування передового досвіду могло б змінити ситуацію і в Україні. За рахунок впровадження у виробництво нових сортів гречки врожайність її може збільшитися на 30-45%.

Технологічний процес виробництва гречаної крупи складається з наступних стадій: очищення зерна, гідротермічної обробки, калібрування, луцення і шліфування, сухому обсмажуванню. Тільки після завершення всіх етапів обробки добре висушений продукт фасується у мішки і поставляється на склади для подальшого зберігання.

РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ГІДРОТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ КРУПИ В КАМЕРІ ПРОПАРЮВАННЯ, ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ТА ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ

1.1 Короткий опис підприємства ТОВ «Зерновита» характеристика виробничої і господарської діяльності

Крупозавод «Озерянка» був заснований у 2001 році у с. Озерянка Житомирської області як підприємство із закупівлі і переробки зерна, виробництва і продажу крупи гречаної вагової та фасованої.

У 2012 році крупозавод «Озерянка» увійшов до п'ятірки найбільших виробників крупи гречаної фасованої. За результатами маркетингових досліджень того ж року продукт крупозаводу «Озерянка» входить у топ-10 популярних марок України та у п'ятірку марок-лідерів у Центральній та Західній Україні.

У 2013 році компанія вдосконалила технологію виробництва, впровадила нові продукти та розширила асортимент. Середня виробнича потужність цеху виробництва крупи гречаної досягла 45 тонн переробки зерна за добу.

Цього ж року була встановлена новітня європейська фасувальна лінія, яка дозволила запропонувати споживачам фасовану крупу у якісно новій ергономічній упаковці з клейким клапаном для багаторазового закривання.

У 2015 році було встановлено додаткове обладнання для виробництва та фасування перлової, ячної та пшеничної крупи.

Асортиментна лінійка налічує 13 круп, два види вівсяних пластівців та борошно. Для цього сегмента ринку було налагоджено виробництво нової серії круп у новій упаковці, орієнтоване на добірні сорти зернових.

Пропонуючи високоякісні, смачні корисні продукти «Зерновита», наша команда обрала своєю місією заохочувати людей харчуватися правильно, вести активний спосіб життя, бути здоровими і щасливими.

1.2 Узагальнений опис технологічних процесів підприємства та рівня його автоматизації

Виробництво крупи ТМ «Зерновита» орієнтоване на відбірні сорти зернових. Ми закупаємо сировину лише у надійних постачальників, якість сировини яких перевірена довгими роками співпраці.

Власна сертифікована лабораторія згідно державної системи сертифікації УкрСЕПРО здійснює контроль якості зерна на всіх етапах виробничого процесу: закупівля сировини, технологічна обробка зерна, фасування та зберігання готової продукції на складах.

Процес виробництва гречаної крупи ділиться на 6 стадій:

1 – Подвійна очистка – Очистка відбувається в 2 етапи: вилучення грубих домішок, мінеральних і залізних домішок;

2 – Термообробка – Пропарювання гречки, сушіння та охолодження. В результаті фізико-хімічних змін в анатомічних частинах зерна в процесі гідротермічної обробки збільшується вихід та покращується якість крупи;

3 – Сортування – Перед луценням розділяємо зерно на шість фракцій (крупна, середня, дрібна);

4 – Луцення – Відокремлюється лушпиння від ядриці;

5 – Провіювання – Поділ продуктів луцення на лузгу, ядрицю, проділ з мучкою. Дворазове просіювання у розсійниках, послідовне провіювання в аспіраторях та аспіраційних колонках, разовий пропуск крізь магнітні сепаратори. Очищена ядриця, проділ накопичується в бункерах для фасування.

Лінія розпочинається з комплексу устаткування для очищення зерна від домішок, до складу якого входять ваги, легко-ситові сепаратори, каменевідокремлювачі і магнітні сепаратори, розсівання, аспіратор і трієр – вівсюговідбірник.

Другий комплекс устаткування призначений для гідротермічної обробки зерна і включає пропарювач, сушку і охолоджувач зерна.

Провідний комплекс устаткування для отримання крупі містить групу розсівань для калібрування зерна, вальцедеккові шелушильні верстати, розсівання для розділення продуктів лущення і аспіратори.

До складу завершального комплексу устаткування входять розсівання, аспіратори, падді - машини для контролю ядриці і протягнула, фасувальні машини для упаковки цих продуктів в пакети, а пакети - в короби

1.3 Вибір об'єкту для модернізації системи автоматизації, опис та аналіз реалізованого ним технологічним процесом та відповідного обладнання

Гідротермічну обробку зерна (ГТО) застосовують при підготовці круп'яних культур: гречки, вівса, гороху, пшениці, кукурудзи.

Гідротермічну обробку зерна проводять з метою поліпшення його технологічних властивостей, створення оптимальних умов для переробки зерна, а також для отримання круп, що відповідають найвищим вимогам по своїй живильній цінності і органолептичним характеристикам. Застосування ГТО призводить до збільшення виходу крупі від 5 до 12%, поліпшення її споживчих властивостей, збільшення харчової цінності та стійкості при зберіганні.

Залежно від виду зерна і асортименту крупі, яка виробляється, застосовують різні методи ГТО. Для гречки, вівса застосовують гаряче кондиціонування із застосуванням пари.

Пропарювання зерна рекомендують проводити при тиску пари 0,3 ... 0,7 МПа тривалістю 5 хвилин у результаті чого вологість зерна збільшується на 3 ... 6 %. Після цього зерно відволожують (10 ... 30 хв).

Після пропарювання зерно сушать при температурі близько 150 °С, що зменшує міцність оболонок і вони краще відділяються від ядра.

Завершують процес ГТО охолодження зерна до температури, яка відрізняється від температури наколишнього середовища не більше ніж на 5 ... 8 °С, яке сприяє додатковому зневодженню оболонок і покращує їх відділення.

В процесі ГТО використовують зволожувачі, пропарювачі і сушарки. Застосування зазначеного обладнання позитивно впливає як на технологічні показники зерна, так і на органолептичні і поживні характеристики готової продукції - крупи. У крупи вирівнюється колір, вона швидше розварюється до однорідної консистенції. Зволожувач призначений для внесення вологи в зерно в процесі його гідротермічної обробки. Зволожувач встановлюється в підготовчих відділеннях підприємств по зберіганню і переробці зерна.

Технологічна схема процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання показана на рис.1.1.

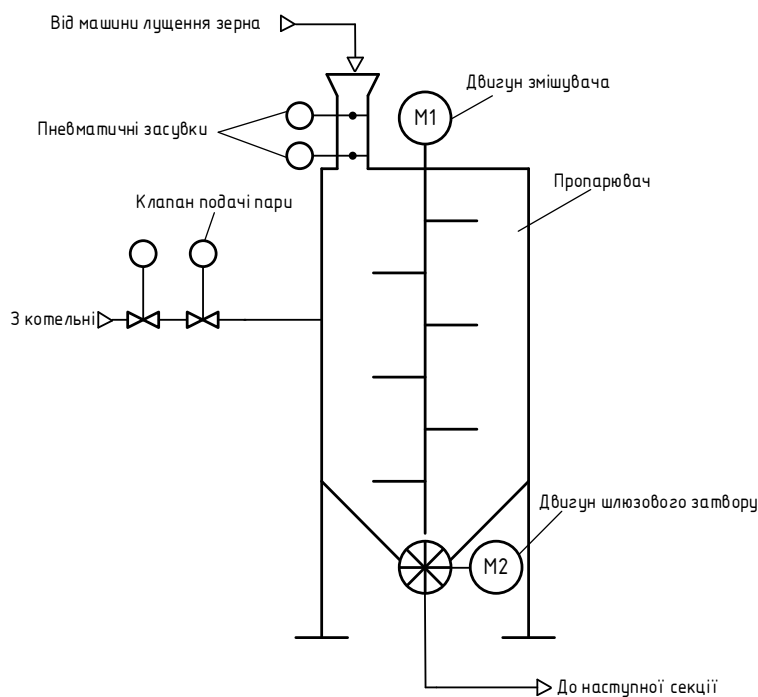


Рис. 1.1 – Технологічна схема процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання

Пропарювач ПЗ-3 фірми SIMO призначений для гідротермічної обробки зерна круп'яних культур з метою поліпшення технологічних властивостей зерна і підвищення споживчих властивостей готового продукту.

Апарат має циліндричний корпус, сферичне днище і кришку. По центру сферичної кришки встановлена приводная станція для приводу мішалки. Збоку від приводу в сферичній кришці знаходиться завантажувальний патрубок. До завантажувального патрубка через фланцеві з'єднання закріплено завантажувальний пристрій, виконаний у вигляді циліндричної труби на вході і виході з якої встановлені шиберні засувки з пневмоприводом.

Принцип роботи завантажувального пристрою - це принцип шлюзової камери. Також на сферичній кришці змонтовані манометр, вибухозапобіжний клапан і датчик рівня. По центру сферичного днища знаходиться розвантажувальний отвір, до якого закріплений ущільнений шлюзовий живильник з приводною станцією.

До сферичного днища по всій його поверхні закріплюється парова рубашка, що має патрубки підведення пари і відведення конденсату. У середині варочного апарату змонтована мішалка спеціальної конструкції. З бічної частини циліндричного корпусу встановлений патрубок для подачі пари і люк для технічного обслуговування внутрішньої частини апарату.

Матеріал, що застосовується для виготовлення апарату – харчова нержавіюча сталь.

Управління апаратом здійснюється від пульта автоматичного керування, виконаного на базі промислового контролера, що дозволяє швидко змінювати режими пропарювання і варіння (тиск пари, час варіння) для різних видів продуктів.

Пропарювач ПЗ-3 фірми SIMO показаний на рис.1.2



Рис. 1.2 – Пропарювач ПЗ-3

Мета ведення процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання – отримання готового продукту із заданими показниками якості. При промисловому виробництві досягнення мети може бути виправдано тільки тоді, коли технологічний процес має сенс реалізувати, коли виконується цілий ряд вимог до технологічного процесу.

- питомі, тобто на одиницю продукції, витрати енергії на процес не повинні перевищувати нормативних значень;
- режими роботи технологічного обладнання не повинні виходити за гранично-припустимі;
- шкідливий вплив технологічного процесу на людину й природу не повинне перевищувати нормативних значень.

Представимо розглянутий технологічний процес гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання у вигляді параметризованої схеми (рис. 1.3).

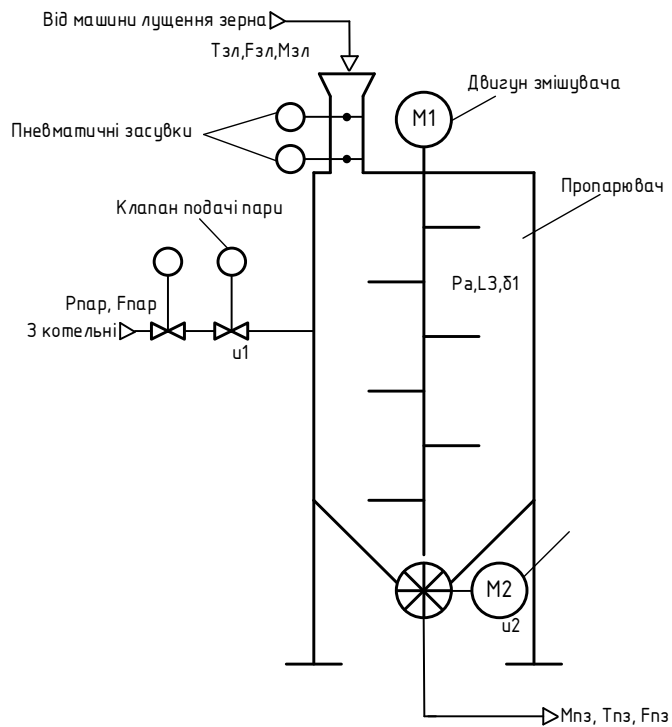


Рис. 1.3 – Параметризована схема процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання

Позначення на параметризованій технологічній схемі:

$P_{пар}$ – Тиск пари;

$F_{пар}$ – Витрати пари;

$M_{зл}$ – вологість лущеного зерна;

$M_{зп}$ – Вологість пропареного зерна;

$F_{пз}$ – Витрати пропареного зерна;

$T_{зл}$ – температура лущеного зерна;

$F_{зл}$ – Витрати лущеного зерна;

$T_{пз}$ – Температура пропареного зерна;

$P_{ап}$ – Тиск в апараті;

L_3 – рівень зерна в апараті;

δ_1 – конструктивні параметри у камері пропарювання;

u_1 – Положення РО для зміни витрати пари;

u_2 – Положення РО зміни частоти обертів електроприводу двигуна шлю-

зового затвору.

Основу нормативів складають три основних регламенти.

Технологічний регламент – визначає умови, при яких у результаті технологічного процесу буде отримано продукт із заданими властивостями. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від номіналу технологічних параметрів. Для технологічного процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання такими параметрами є Рап. та Fзп, Тпз, Мпз.

Експлуатаційний регламент – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів технологічного обладнання. Для технологічного процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання такими є Lз.

Техніко-економічний і екологічний регламент визначає умови ефективності ведення процесу і його екологічності. Він являє собою набір номінальних та гранично-припустимих значень техніко-економічних і екологічних параметрів. Для технологічного процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання такими параметрами є Fпар.

При відхиленні параметрів процесу випічки хліба від регламентованих значень, обумовлених зміною параметрів, що характеризують умови ведення процесу, навіть при досить ефективному керуванні ним, можуть перевищувати припустимі значення. Однак при виході за допуски технологічних регламентів технологічний процес не зупиняється, а вихід за допуски ліквідується із часом. Наслідком виходу технологічних параметрів за допуски є зниження якості гречаної крупи і збільшення браку.

Допуски на відхилення поточних значень регламентованих параметрів діляться на тривалі та короткочасні. Припустимі відхилення визначають зону незначних відхилень, середнє значення параметру якої можна вважати близьким до нормативного, тому ці відхилення не ліквідують. Короткочасні припустимі відхилення параметрів перевищують зону незначних відхилень і призводять до зниження ефективності процесу, тому вони припустимі тільки протягом обмеженого часу, що задається й входить у регламент.

Вихід параметрів за зону короткочасно припустимих відхилень свідчить про відхилення технологічного процесу або експлуатації обладнання, що можуть призвести до аварії. Для аналізу нормативів ведення процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання складемо таблицю регламентів (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Таблиця регламентів

№	Найменування параметрів	Позначення	Од. вимірювання	Ном. значення параметру	Припустимі відхилення від номіналу		
					Тривалі ($t \rightarrow \infty$)		Короткочасні ($0 < t < \infty$)
					Велич.	Велич.	
1	Тиск пари в апараті	Рап	МПа	0,6	±0,05	±0,2	80
2	Витрати пропареного зерна	Гпз	кг/год	1000	±50	±100	60

Поточні значення нормативних параметрів завжди відрізняються від номінальних (і можуть виходити за межі допусків) внаслідок зміни умов, у яких ведеться процес. Ці умови також характеризуються певними параметрами і можуть бути (для зручності) згруповані за деякими ознаками.

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. До цієї групи параметрів віднесемо параметри сировини (Млз, Флз, Тлз).

Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводить до технологічного встаткування ззовні й витрачається на зміну властивостей продуктів. До цієї групи параметрів віднесемо Рпар.

Механічні (або інші специфічні) параметри технологічного обладнання характеризують стан їх робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо u_1, u_2, δ_1 .

Параметризована схема ТП має змістовний характер. Формалізація опису взаємозв'язків між параметрами ТП досягається за рахунок переходу до

формалізованої параметричної схеми ТП. При цьому ті параметри, які відображають мету функціонування об'єкту моделювання та додаткових вимог до нього, тобто регламентовані параметри будуть вихідними, а параметри, що відображають умови функціонування об'єкту - вхідними.

Зв'язок між вхідними і вихідними параметрами – причинно-наслідковий. У рамках даної схеми ці зв'язки задаються тільки на якісному рівні, згодом деякими зв'язками можна буде знехтувати, деякі представити опосередковано.

Використовуючи апріорні знання процесу зробив параметричну схему. Параметрична схема процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання наведена на рис. 1.4.

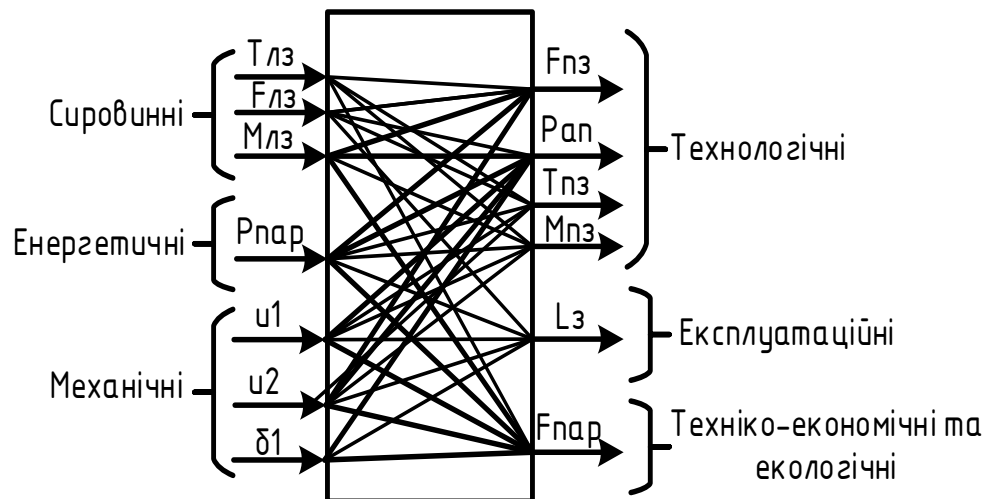


Рис. 1.4 – Параметрична схема процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання

1.4 Аналіз впливу ефективності керування технологічним агрегатом на показники якості продукції, її собівартість. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності при впровадженні модернізованої системи

У процесі функціонування модернізованої САК повинно бути підвищення якості регулювання регламентованих змінних.

Потенційними джерелами економічної ефективності при впровадженні модернізованої системи є :

- зменшення браку продукції за рахунок підвищення якості роботи системи пропарювання зерна;

З імітаційного модулювання відомо, що впровадження модернізованої САК призведе до зменшення повторного пропарювання зерна (брак продукції) з 15% до не більш 7%.

1.5 Конкретизація мети модернізації системи

Економічною метою роботи є підвищення конкурентоспроможності підприємства і прибутковості підприємства за рахунок підвищення якості регулювання регламентованих змінних та зменшення питомих витрат енергоресурсів при впровадженні модернізованої САК.

Система керування процесом гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання реалізується на базі технічних та програмних засобів з отриманням інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів за допомогою ПК та МПК.

Система повинна реалізовувати наступні функції:

а) інформаційні:

- збір та обробка технологічної інформації;
- оперативне відображення технологічної інформації;
- зберігання технологічної інформації.

б) керуючі:

- стабілізація технологічних параметрів;
- вибір режимів керування;
- автоматичне логічне керування агрегатом в штатних та нештатних ситуаціях.

1.6 Висновки за розділом

Як об'єкт дослідження системи автоматизації було обрано процес гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання. Було зроблено опис та аналіз технологічного процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання та необхідного обладнання.

Економічною метою роботи є підвищення конкурентоспроможності підприємства і прибутковості підприємства за рахунок підвищення якості регулювання регламентованих змінних та зменшення браку продукції при впровадженні модернізованої САК. Зменшення браку продукції виконується за рахунок підвищення якості керування процесом гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання.

З аналізу вище викладеного, необхідно покращити якість регулювання, удосконалити алгоритми керування, розробити контролерно-комп'ютерні мережі, а також розробити SCADA-систему для автоматизованого робочого місця оператора.

РОЗДІЛ 2 КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ДОТРИМАННЯ РЕГЛАМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ КРУПИ В КАМЕРІ ПРОПАРЮВАННЯ, РОЗРОБКА І РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПЛЕКСУ ЙОГО МОДЕЛЕЙ ЯК ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ

2.1 Розробка концептуальної моделі об'єкту регулювання

Для процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання в якості регульованої координати доцільно обрати тиску пари в апараті Рап та витрат пропареного зерна Fзп.

Необхідною умовою вирішення задач керування є наявність управляючих дій, що повинні бути вхідними змінними (координатами) ОК. Для задач регулювання, такими управляючими діями, насамперед, є дії, що цілеспрямовано можуть змінювати витрати матеріальних і енергетичних потоків, а саме – положення регулювальних органів. Кількість управляючих дій повинно бути рівним кількості регульованих змінних.

Необхідною умовою вирішення задач керування є наявність керуючих дій, які є вхідними змінними об'єкту керування. Для розглянутого прикладу такими параметрами можуть бути положення регулюючих органів подачі пари u1 та положення РО зміни частоти обертів електроприводу двигуна шлюзового затвору u2.

Після того, як визначені управляючі дії, всі інші вхідні змінні відносять у розряд збурень, тобто таких дій середовища, зміна яких порушує хід технологічного процесу і режими роботи технологічного агрегату.

До збурень відносимо усі вхідні параметри процесу за виключенням керуючих дій, тобто Млз, Мзп та δ1.

Усі збурення ділять на координатні та параметричні. До параметричних збурень відносять конструктивні особливості обладнання, тобто δ1. Усі інші збурення відносять до координатних (Млз, Мзп). Так як на підприємстві ці параметри не вимірюються, то віднесемо їх до неконтрольованих збурень.

Структурна схема процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання наведена на рис. 2.1

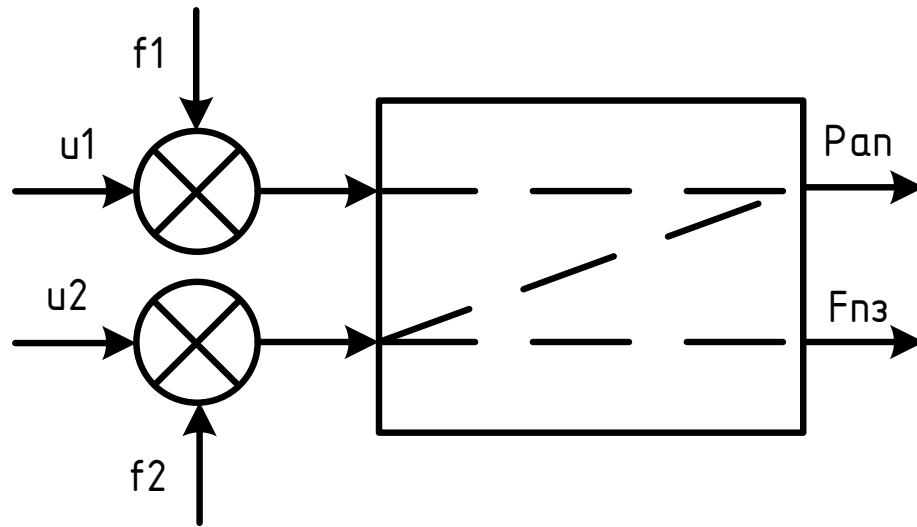


Рис. 2.1 – Координатна схема ОК

2.2 Ідентифікація моделей каналів перетворення об'єкта регулювання

Перед початком експериментів доцільно на основі апріорних даних, виходячи з фізичної суті об'єкту, попередньо оцінити властивості каналів, моделі яких підлягають ідентифікації.

Для технологічного процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання за каналом $u_1 - P_{ап}$ ОК має властивість самовирівнювання, тому що технологічний процес є тепловим, збільшення керуючої дії приведе до збільшення зменшення тиску пари (регульованої координати).

За каналом $u_2 - F_{пз}$ також має властивість самовирівнювання – збільшення керуючої дії приведе до збільшення витрат пропареного зерна (регульованої координати).

За каналом $u_2 - P_{ап}$ ОК також має властивість самовирівнювання – збільшення керуючої дії приведе до зменшення тиску пари (регульованої координати).

Виходячи з фізичної суті теплових процесів, що протікають в ОК, відомо, що відносно у повній мірі математично ці процеси можуть бути описані нелінійними диференційними рівняннями. Але також відомо, що номінальний режим функціонування ОК пов'язаний з порівняно вузьким діапазоном зміни вологості пропареного зерна як регульованої координати. А в такому діапазоні процеси можуть бути описані лінійними диференційними рівняннями, тобто припустимою є лінеаризація моделі ОК.

Активні експерименти можуть проводитися тільки з каналами, вхідні змінні яким доступні для цілеспрямованої зміни. Ними, насамперед, є керуючі дії. При цьому експериментатор може обирати вхідну дію будь-якої форми (ступінчасту, лінійно зростаючу, імпульсну, гармонічну, випадкову). Однак, з розумінням простоти організації цих дій, мінімізації витрат часу на проведення експерименту та обробки його результатів, доцільно використовувати ступінчасті дії.

План активного експерименту:

1. За допомогою зміни управляючих дій домагаємося значень регульованих координат, що перебували б в околицях їх номінальних значень. Для нашого ОК значенням $u_1 = 50 \text{ \%р.в.}$ та $u_2 = 50 \text{ \%х.р.о.}$ будуть відповідати значення регульованих координат $R_{ап.} = 0,6 \text{ МПа}$, $F_{зп.} = 1000 \text{ кг/Год}$.

2. Чекаємо закінчення перехідних процесів в каналах та настання сталих режимів, при яких вихідні змінні перестануть змінюватися.

3. Змінимо управляючу дію u_1 ступінчастим чином на $10\% \text{ х.р.о.}$, відзначивши при цьому момент початку його зміни.

4. Реєструємо зміну вихідних змінних до настання нових сталих режимів.

5. Повертаємо u_1 у вихідний стан, чекаємо закінчення перехідних процесів в каналах та настання сталих режимів.

6. Змінимо управляючу дію u_2 ступінчастим чином на $10\% \text{ х.р.о.}$, відзначивши при цьому момент початку його зміни.

7. Реєструємо зміну вихідних змінних до настання нових сталих режимів.

Результати активного експерименту наведені на рис. 2.2-2.4.

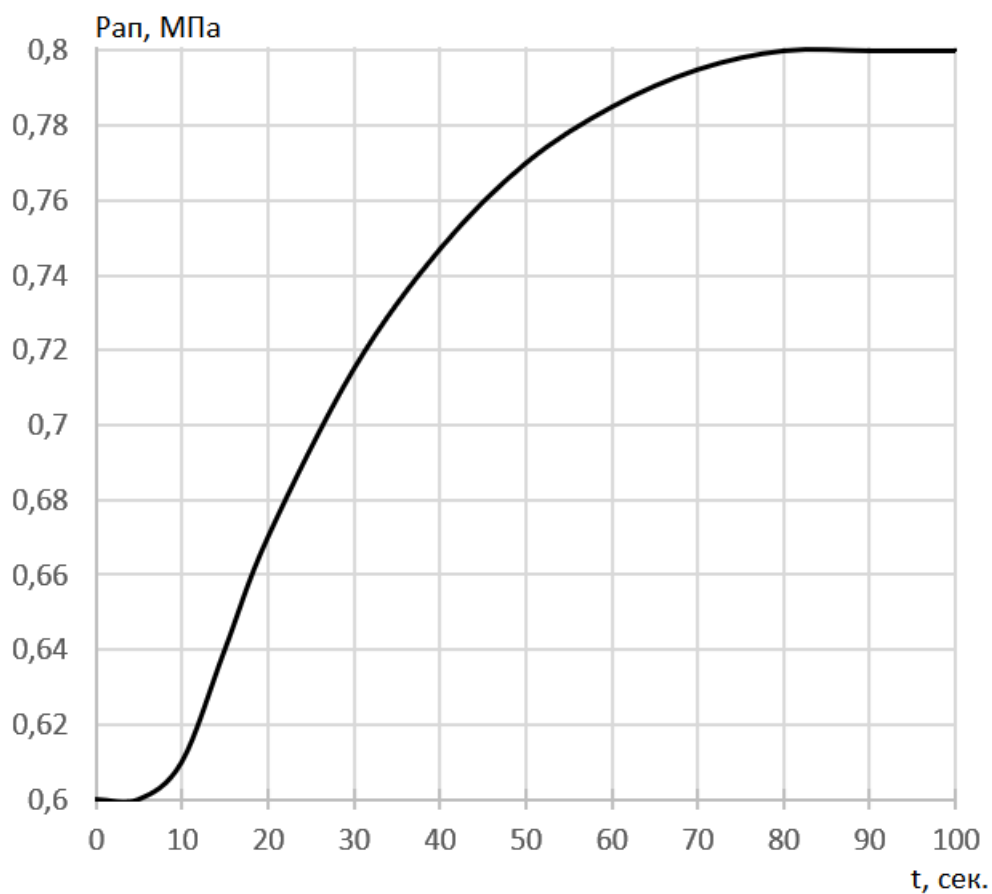


Рис. 2.2 – Результати активного експерименту за каналом «u1 – Рап»

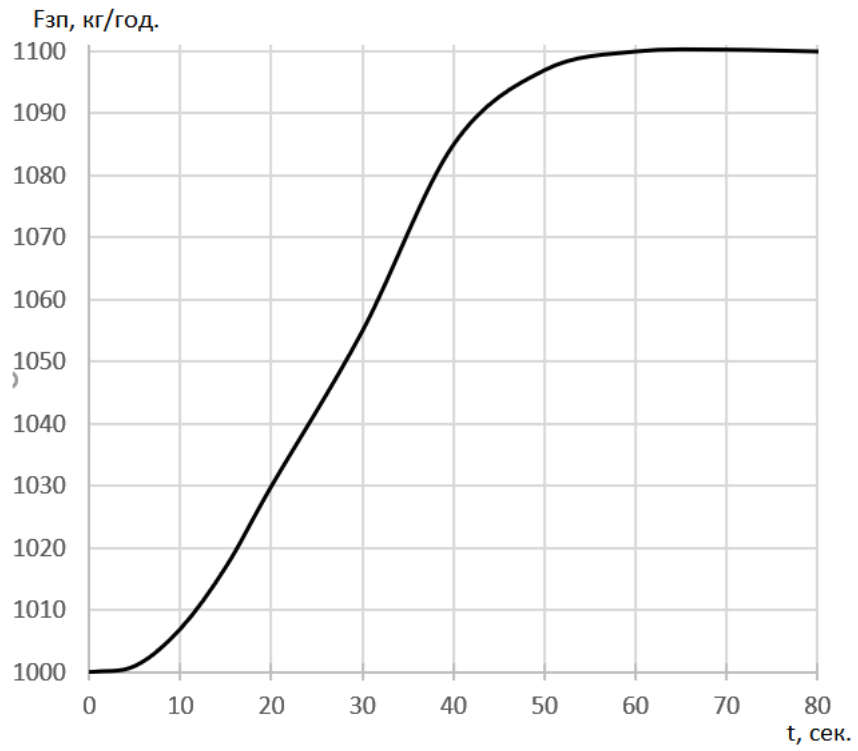


Рис. 2.3 –Результати активного експерименту за каналом «u2 – Fzp»

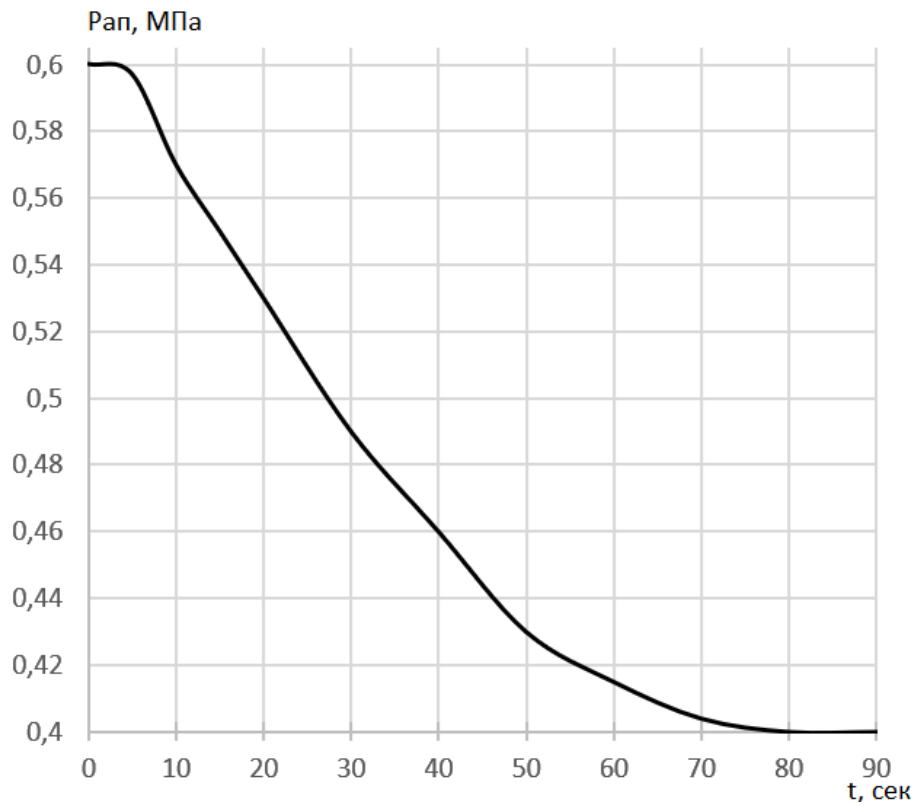


Рис. 2.4 – Результати активного експерименту за каналом «u2 – Pпар»

За результатами активного експерименту (рис. 2.2-2.4) можна зробити висновок, що канали «u1 – Pпар», «u2 – Fзп» та «u2 – Pпар» нашого ОК має властивість самовирівнювання значить його моделі можуть бути описані передаточними функціями першого та другого порядку:

$$W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{T_0 p + 1}; \quad W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{(T_0 p + 1)^2} \quad \text{- за каналом «u1 – Pпар»}$$

$$W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{T_0 p + 1}; \quad W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{(T_0 p + 1)^2} \quad \text{- за каналом «u2 – Fзп»}$$

$$W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{T_0 p + 1}; \quad W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{(T_0 p + 1)^2} \quad \text{- за каналом «u2 – Pпар»}$$

Для параметричної ідентифікації моделі ОК за каналом «u1 – Pпар» зі статичними властивостями необхідно знайти коефіцієнт передачі ОК (K_0), сталу часу (T_0) і час запізнення (τ_0).

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_0 = \frac{\Delta P_{\text{пар}}}{\Delta u_1} = \frac{0,8 - 0,6}{60 - 50} = 0,02 \text{ \% / \% р. в.}$$

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики „двох загальних точок”.

Для моделі 1-го порядку

$$\Delta P_{\text{пар} 1,0} = 0,8 - 0,6 = 0,2 \text{ МПа};$$

$$P_{\text{пар} 0,33} = 0,33 \cdot 0,2 + 0,6 = 0,66 \text{ МПа};$$

$$P_{\text{пар} 0,7} = 0,7 \cdot 0,2 + 0,6 = 0,74 \text{ МПа};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.5), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

$$t_{0,33} = 20,2 \text{ с};$$

$$t_{0,7} = 38,5 \text{ с}.$$

Тоді

$$\tau = \frac{3 * 20,2 - 38,5}{2} = 11,05 \text{ с}$$

$$T = \frac{38,5 - 11,05}{1,2} = 22,87 \text{ с}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W_o(p) = \frac{0,02 * e^{-11,05p}}{22,87p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$P_{ap\ 0,19} = 0,19 \cdot 0,2 + 0,6 = 0,638 \text{ МПа};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.5), знаходимо $t_{0,19}$.

$$t_{0,19} = 15,5 \text{ с.}$$

Тоді

$$\tau = \frac{3 * 15,5 - 38,5}{2} = 4 \text{ с}$$

$$T = \frac{38,5 - 4}{2,4} = 14,37 \text{ с}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W_o(p) = \frac{0,02 * e^{-4p}}{(14,37p + 1)^2}$$

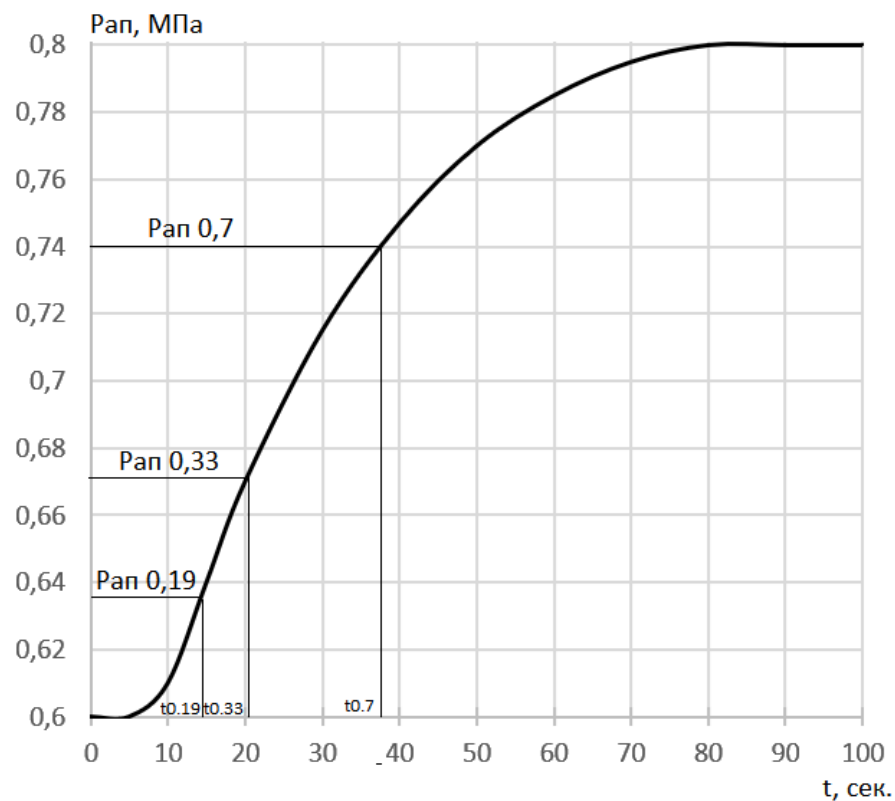


Рис. 2.5 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом «u1 – Pап»

Для параметричної ідентифікації моделі ОК за каналом «u2 – Fзп» зі статичними властивостями необхідно знайти коефіцієнт передачі ОК (K_0), сталу часу (T_0) і час запізнення (τ_0).

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_0 = \frac{\Delta F_{зп}}{\Delta u_2} = \frac{1100 - 1000}{60 - 50} = 10 \text{ \%}/\% \text{х. р. о.}$$

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики „двох загальних точок”.

Для моделі 1-го порядку

$$\Delta F_{1,0} = 1100 - 1000 = 100 \text{ кг/год};$$

$$F_{0,33} = 0,33 \cdot 100 + 1000 = 1033 \text{ кг/год};$$

$$F_{0,7} = 0,7 \cdot 100 + 1000 = 1070 \text{ кг/год};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.6), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

$$t_{0,33} = 21,1 \text{ с};$$

$$t_{0,7} = 34 \text{ с}.$$

Тоді

$$\tau = \frac{3 * 21,1 - 34}{2} = 14,65 \text{ с}$$

$$T = \frac{34 - 14,65}{1,2} = 16,12 \text{ с}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{10 * e^{-14,65p}}{16,12p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$F_{0,19} = 0,19 \cdot 100 + 1000 = 1019 \text{ кг/год};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.6), знаходимо $t_{0,19}$.

$$t_{0,19} = 16,4 \text{ с}.$$

Тоді

$$\tau = \frac{3 * 16,4 - 34}{2} = 7,6 \text{ с}$$

$$T = \frac{34 - 7,6}{2,4} = 11 \text{ с}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W_o(p) = \frac{10 * e^{-7,6p}}{(11p + 1)^2}$$

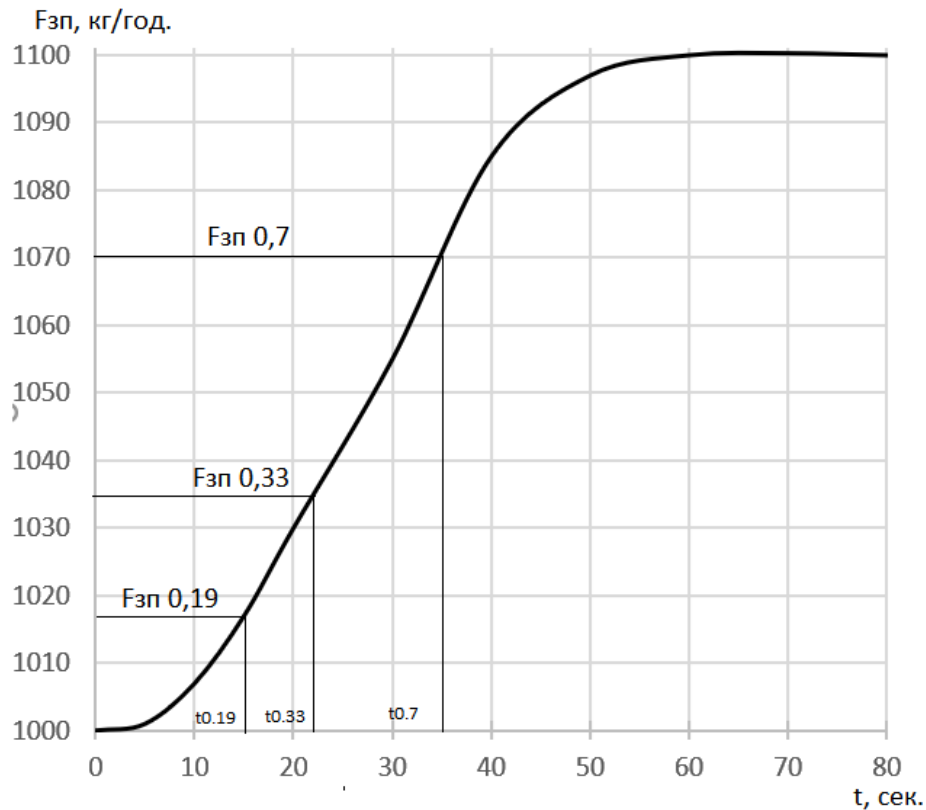


Рис. 2.6 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом «u2 – Fзп»

Для параметричної ідентифікації моделі ОК за каналом «u2 – Рап» зі статичними властивостями необхідно знайти коефіцієнт передачі ОК (K_o), сталу часу (T_0) і час запізнення (τ_0).

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_o = \frac{\Delta \text{Рап}}{\Delta u_2} = \frac{0,4 - 0,6}{60 - 50} = -0,02 \text{ \%/\%х. р. о.}$$

Для ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики „двох загальних точок”.

Для моделі 1-го порядку

$$\Delta p_{ap\ 1,0} = 0,4 - 0,6 = -0,2 \text{ МПа};$$

$$p_{ap\ 0,33} = 0,33 \cdot (-0,2) + 0,6 = 0,534 \text{ МПа};$$

$$p_{ap\ 0,7} = 0,7 \cdot (-0,2) + 0,6 = 0,46 \text{ МПа};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.7), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

$$t_{0,33} = 19\text{с};$$

$$t_{0,7} = 37,5\text{с}.$$

Тоді

$$\tau = \frac{3 * 19 - 37,5}{2} = 9,75 \text{ с}$$

$$T = \frac{37,5 - 9,75}{1,2} = 24,8 \text{ с}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W_o(p) = \frac{-0,02 * e^{-9,75p}}{24,8p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$p_{ap\ 0,19} = 0,19 \cdot (-0,2) + 0,6 = 0,562 \text{ МПа};$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.7), знаходимо $t_{0,19}$.

$$t_{0,19} = 13\text{с}.$$

Тоді

$$\tau = \frac{3 * 13 - 37,5}{2} = 0,75 \text{ с}$$

$$T = \frac{37,5 - 0,75}{2,4} = 15,3 \text{ с}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК буде мати вигляд:

$$W_o(p) = \frac{-0,02 * e^{-0,75p}}{(15,3p + 1)^2}$$

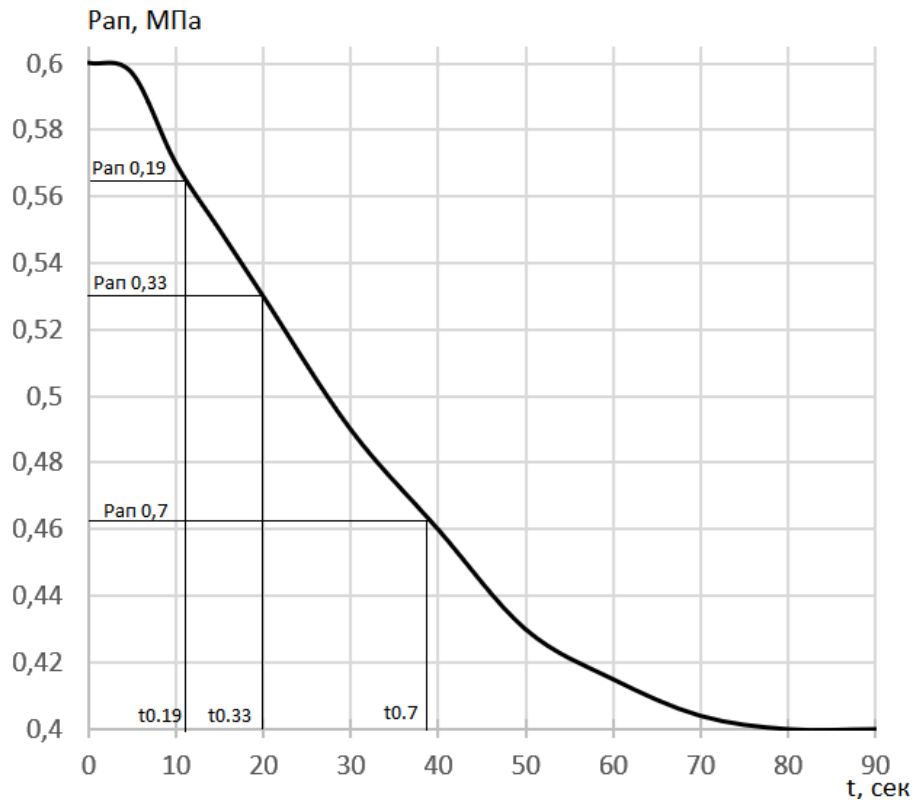


Рис. 2.7 – Параметрична ідентифікація моделі ОК за каналом «u2 – Pap»

Метою цього розділу роботи є отримання моделей статички для побудови моделей динаміки в абсолютних величинах. Також метою підрозділу є отримання моделей статички каналі ОК з суттєво нелінійними властивостями, якщо така задача передбачена індивідуальним завданням.

Статичні властивості ОК описуються статичними характеристиками (моделями) каналів. Вони відбивають взаємозв'язок між вхідними і вихідними координатами (перемінними) каналів ОК в статично сталих режимах, тобто після загасання всіх перехідних складових цих перемінних.

Кінцевим результатом ідентифікації математичної моделі статички є установлення функціональної залежності виду $y = \Phi(\bar{x})$ на основі експериментальних даних, де $\bar{x} \in \{\bar{u}, \bar{f}\}$ – вхідні змінні ОУ.

Значення y , отримані в результаті експерименту, завжди мають випадкову складову, обумовлену дією некерованих і неконтрольованих змінних, похибками вимірювання u та \bar{x} . У цьому випадку залежність розум = $y^M = \hat{y} = \Phi(\hat{\bar{x}})$

визначається з використанням статистичних ("усредняющих") методів, і вона називається регресією, регресійною залежністю або рівнянням регресії.

У теорії експерименту вхідні змінні ОК називають факторами, а регульовані координати – відгуком. Відповідно до цієї термінології експеримент, проведений для ідентифікації моделі, де функція залежить від однієї змінної, називають однофакторним, а функція багатьох змінних – багатофакторним.

Експерименти для отримання математичних моделей статички можуть бути пасивному або активними (як і при отриманні моделей динаміки). Для отримання моделей статички у нашому випадку будемо використовувати активний експеримент.

Суть планування експерименту полягає у виборі діапазонів зміни факторів, кроку збільшення факторів, послідовності їх зміни та числа повторів цих змін.

А. Діапазони зміни факторів в експерименті фактично визначає діапазон, де отримана модель може коректно використовуватися. Тому вони повинні відповідати реальним діапазонам зміни змінними, обумовлених факторами.

Б. Крок факторів повинен бути такими, щоб при перекритті необхідного діапазону їх зміни кількість дослідів не була б занадто великою або малою – найчастіше рекомендується 3...6 дослідів.

В. Кількість повторів (для компенсації випадкової складової) визначається інтенсивністю випадкових складових у вхідних і вихідних змінних ОК, кількістю факторів (цілеспрямовано змінюваних вхідних змінних) витратами часу та інших обставин. Кількість повторів приймається рівною 3...5. У деяких випадках повторів можна не робити взагалі.

Г. Послідовність зміни факторів особливо при їх великій кількості доцільно вибрати такою, щоб рандомизувати експеримент, тобто додати випадкові властивості ходу експерименту. Це можна зробити за рахунок запланованої заздалегідь випадкової зміни послідовності зміни факторів і, можливо, величин їх збільшень. Така організація експерименту дозволить "не пропустити"

особливостей властивостей об'єкту, що при однакових з'єднаннях факторів при повторах можуть не виявитися. У найпростіших випадках можна використовувати і регулярні плани.

Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК зведено в таблицю 2.1 і на рис. 2.8.

Таблиця 2.1 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

u1	u2	Рап	Фзп
10	50	0,4	1000
50	0	0,6	500
50	100	0,6	1500
100	50	1,4	100

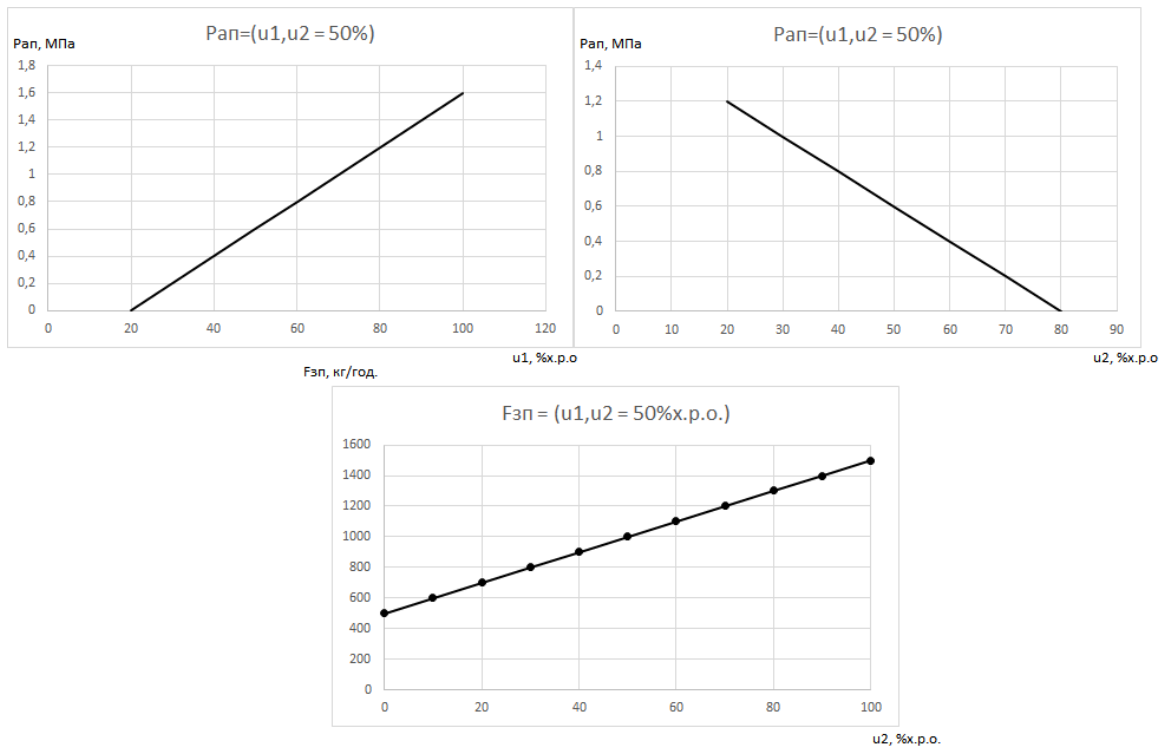


Рис. 2.8 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК

Структурна ідентифікація моделей статички зводиться до вибору виду рівняння регресії $y = \Phi(\vec{x})$. Структурна ідентифікація є вихідним пунктом загаль-

ного завдання ідентифікації моделей статички. Але, як показує практика, вибрати вид моделі відразу, як правило, не вдається. Причому недоліки вибраної моделі стають очевидними тільки після етапу її параметричної ідентифікації. Усунення недоліків моделі вимагає повернення до процедури структурної ідентифікації. Таких поверів може бути кілька, тобто процедура ідентифікації носить ітераційний характер.

Для проведення параметричної ідентифікації моделі статички ОК доцільно використовувати метод найменших квадратів. Суть методу полягає в пошуку такого вектора параметрів \bar{a}^* вибраної моделі, що забезпечував би мінімальну суму квадратів розходження між значеннями вихідної змінної об'єкта y , отриманих у результаті експерименту $y_i, i = \overline{1, n}$ при значеннях вхідних змінних \bar{x}_i, i вихідної змінної моделі об'єкту y_m , обчисленої при тих же значеннях \bar{x} , тобто

$$\bar{a}^* = \arg \min \left\{ I(\bar{a}) = \sum_{i=1}^n \left(y_i(\bar{x}_i) - y^i(\bar{a}, \bar{x}_i) \right)^2 \right\}.$$

Для досліджуваного ОК статична характеристика може бути описана лінійною залежністю виду:

Для Рап:

$$M_{зп} := a_1 \cdot u_1 + a_0$$

Параметр a_1 був нами визначені в процесі ідентифікації. При цьому $a_1 = 0,02 \text{ \% / \% х.р.о.}$

Параметр a_0 можна визначити із залежності:

$$a_0 = M_{зп} - a_1 \cdot u_1 = 0,6 - 0,02 \cdot 50 = 0,6 \text{ Мпа}$$

Отже, статична характеристика для Рап досліджуваного ОК буде описана залежністю:

$$P_{ap} = 0,02 \cdot u_2 + 0,6$$

$$F_{зп} = a_3 \cdot u_2 + a_4 \cdot u_1 + a_2$$

Параметри a_1 та a_2 були нами визначені в процесі ідентифікації вище. При цьому $a_3 = 10 \text{ \%} / \text{\% х.р.о.}$, $a_4 = -0,02 \text{ х.р.о.}$

Параметр a_0 можна визначити з залежності:

$$a_2 = F_{зп} - a_3 \cdot u_2 - a_4 \cdot u_1 = 1000 - 10 \cdot 50 - (-0,02) \cdot 50 = 500 \text{ кг/год.}$$

Отже, статична характеристика для $F_{зп}$ досліджуваного ОК буде описана залежністю:

$$F_{зп} = 10 \cdot u_2 + (-0,02) \cdot u_1 - 500.$$

2.3 Ідентифікація моделей детермінованих і випадкових складових неконтрольованих збурень

Моделі неконтрольованих збурень доцільно представляти як суму чотирьох складових. Причому, детерміновану складову ($f_{нд}$) доцільно привести до управляючої дії, а квазідетерміновану та стохастичну складові ($f_{нс}$) доцільно привести до регульованої координати.

Модель контрольованого збурення за аналогією з моделлю неконтрольованих збурень може бути представлена чотирма складовими, які будуть прикладені до входу каналу контрольованих збурень.

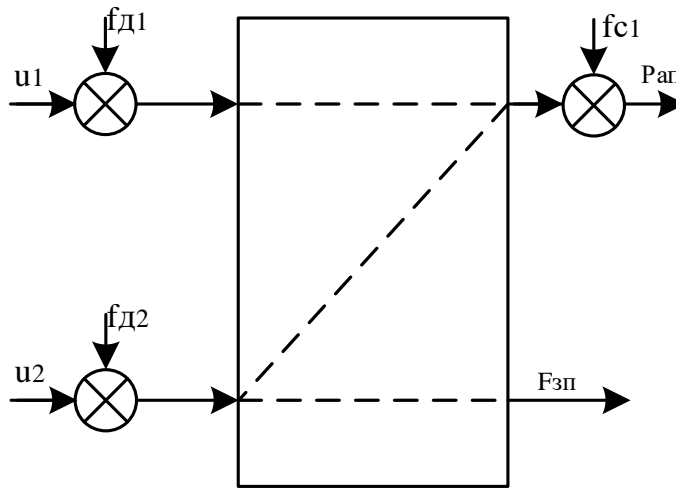


Рис. 2.9 – Структурна схема додання координатних збурень

Оскільки можливості отримати реальні експериментальні дані немає, то з навчальною метою можна скористатися генератором даних. Для генерації результатів пасивного експерименту з метою дослідження неконтрольованих збурень треба бути готовими до відповіді на наступні питання.

1. Яким є мінімальне і задане значення регульованої координати? Для досліджуваного ОК $P_{ap}^{MIN} = 0$ МПа; $P_{ap}^{ЗД} = 0,6$ МПа.

2. Яким є значення і розмірність часу запізнення в каналі керування для досліджуваної регульованої координати? Для досліджуваного ОК $\tau_0 = 11,05$ с.

Генерацію результатів пасивного експерименту буде забезпечувати програма rgen у середовищі Матлаб. Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованих збурень досліджуваного ОК наведені на рис. 2.10.

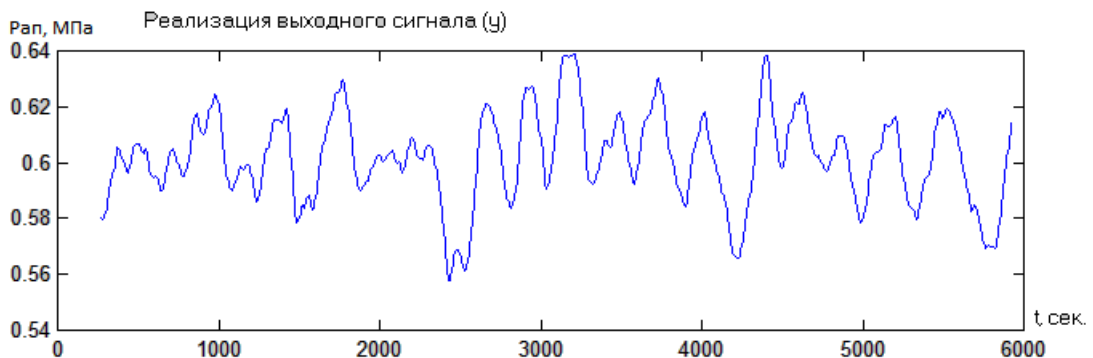


Рис. 2.10 – Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованого збурення для досліджуваного ОК

Для ідентифікації моделей контрольованих і неконтрольованих координатних збурень можна використовувати програму IdSoft середовища Матлаб.

Першим етапом ідентифікації моделі контрольованих і неконтрольованих збурень є оцінювання імовірнісних характеристик відповідних випадкових процесів, а саме щільності імовірності, математичного очікування, дисперсії, середньоквадратичного відхилення, середньоквадратичного періоду (СКП), кількості СКП у реалізації випадкового процесу, нормованої кореляційної функції і спектральної щільності випадкового процесу.

Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, що відповідає неконтрольованим збуренням, наведені на рис. 2.11.

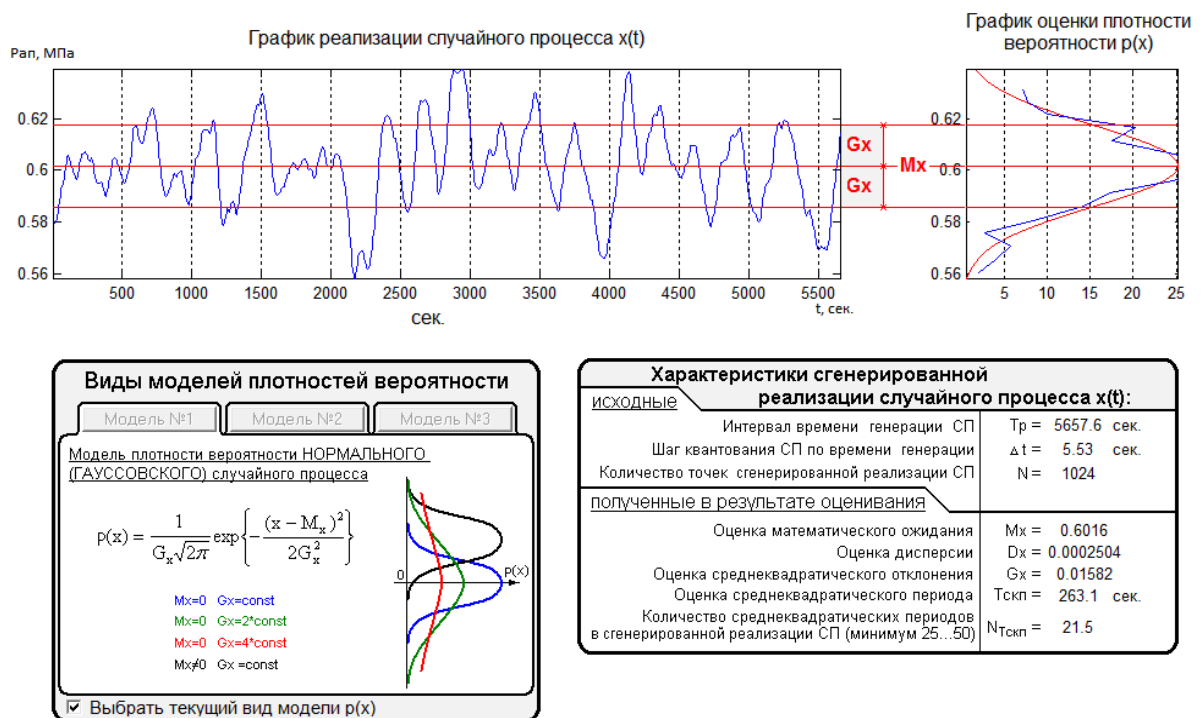


Рис. 2.11 – Результаты оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідного контрольованому збуренню

За результатами оцінювання щільності імовірності випадкового процесу обирається його модель. В якості моделі обираємо нормальний випадковий процес:

$$p(f) = \frac{1}{\sigma_f \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(f-m_f)^2}{2\sigma_f^2}}$$

За результатами оцінювання нормованих кореляційних функцій з набору типових вибираємо два варіанти моделей кореляційних функцій і спектральних щільностей:

Модель №5

$$R_f(\tau_K) = D_f \cdot e^{-\alpha|\tau_K|} \cdot c(\beta \cdot |\tau_K|)$$

$$S_f(\omega) = \frac{D_f \cdot 2\alpha \cdot (\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \alpha^2 - \beta^2)^2 + 4\alpha^2 \omega^2}$$

Модель №6

$$R_f(\tau_K) = D_f \cdot e^{-\alpha|\tau_K|} \cdot \left(c(\beta \cdot |\tau_K|) + \frac{\alpha}{\beta} s(\beta \cdot |\tau_K|) \right)$$

$$S_f(\omega) = \frac{D_f \cdot 4\alpha \cdot (\alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \alpha^2 - \beta^2)^2 + 4\alpha^2 \omega^2}$$

Параметрами моделей випадкових складових збурень є коефіцієнт спаду α і коефіцієнт коливальності β . Пошук значень цих параметрів і називають параметричною ідентифікацією моделі стохастичної складової збурень. Вона веде, як правило, у два етапи: 1) вибір початкових наближень параметрів $\hat{\alpha}^0$, $\hat{\beta}^0$; 2) пошук значень параметрів, які забезпечують найкраще наближення моделі до її оцінки.

При виборі початкових наближень параметрів можна користуватися рекомендаціями, які викладені в програмі. При параметричній оптимізації моделі використовується пошукова процедура, що використовує квадратичний критерій. При цьому вирішується задача

$$\bar{a}^* = \arg \min \left[\left(\hat{R}_f(\tau_K) - R_f^M(\tau_K) \right)^2 \right], \quad \bar{a} = \{\alpha, \beta\}^T.$$

Результати параметричної ідентифікації моделі №5 неконтрольованих збурень наведені на рис. 2.12, моделі №6 – на рис. 2.13, а підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень наведені на рис. 2.14.

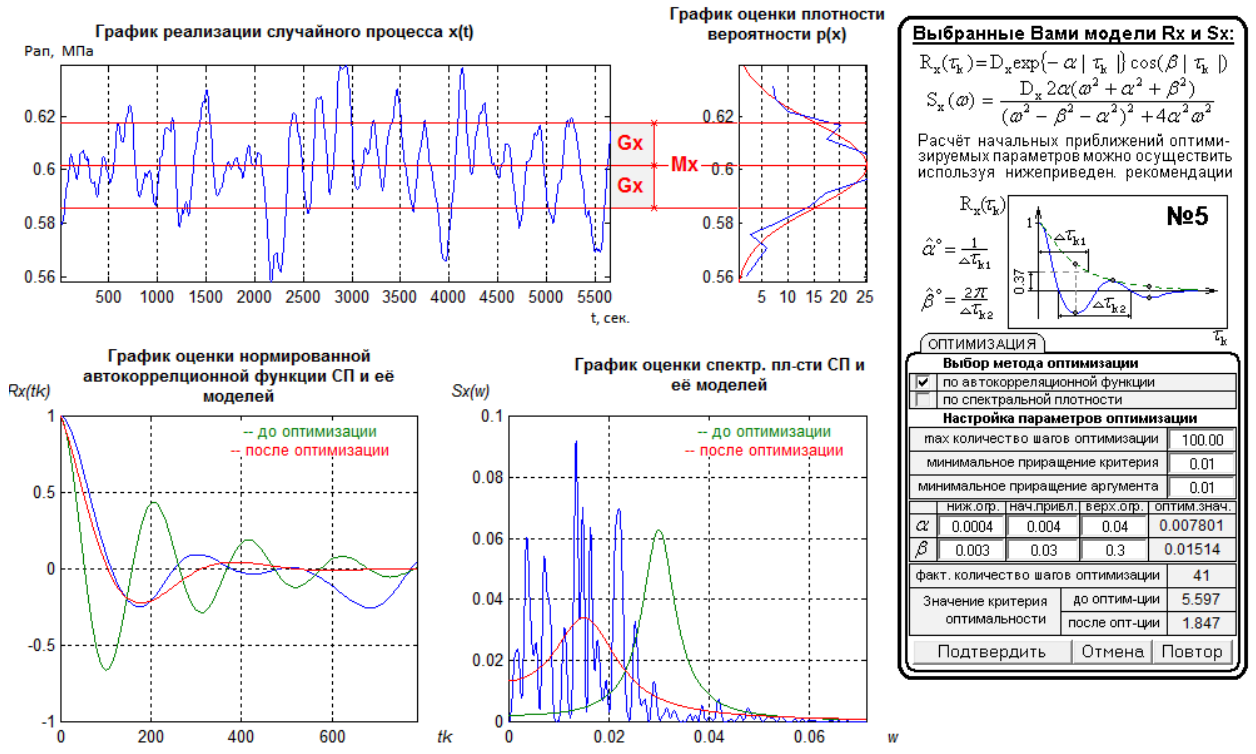


Рис. 2.12 – Результати параметричної ідентифікації моделі №5 неконтрольованих збурень

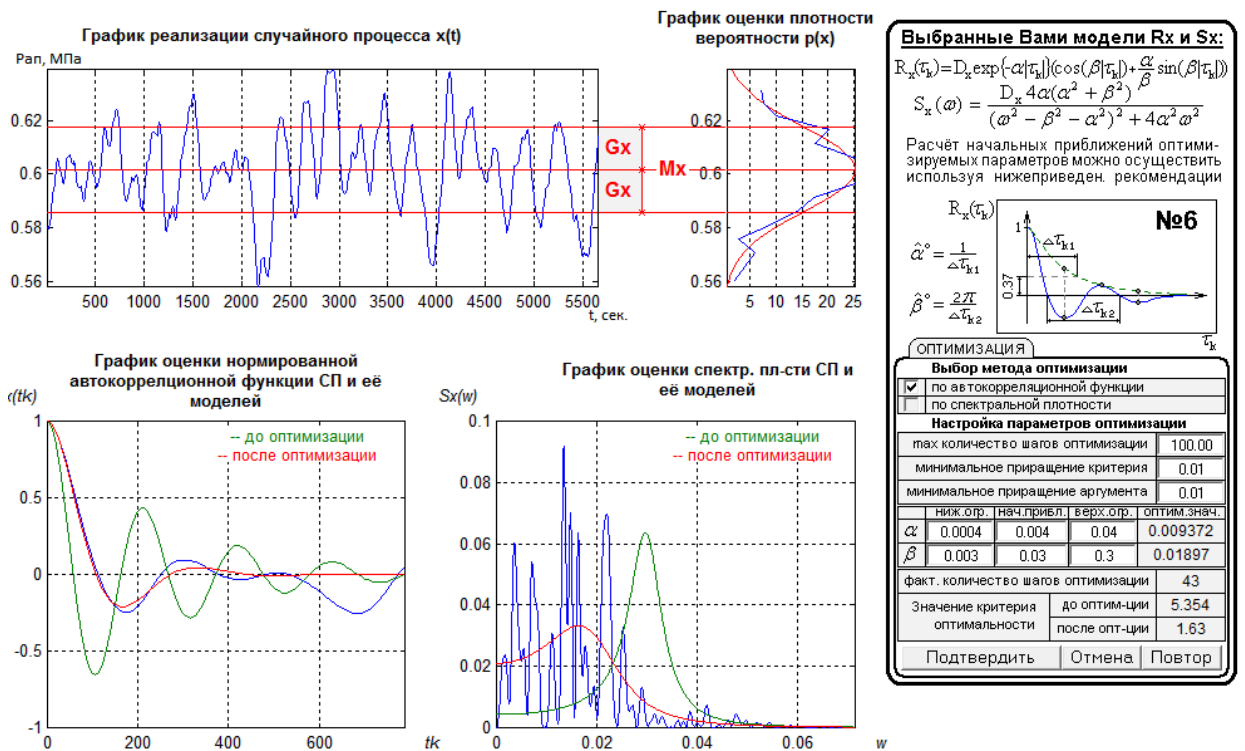


Рис. 2.13 – Результати параметричної ідентифікації моделі №6 неконтрольованих збурень



Рис. 2.14 – Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень

Як видно з результатів ідентифікації моделі неконтрольованих збурень (рис. 2.13) кращою є модель №6, тому що для цієї моделі меншими є середньо-квадратичні відхилення моделі від оцінок кореляційних функцій.

Процедура ідентифікації детермінованих складових неконтрольованих координатних збурень f .

Перша частина процедури відповідає процедурі ідентифікації контрольованих збурень, тільки замість моделі $\bar{P}_n^M(\bar{a}_{pn}; t)$ маємо в наявності модель зміни $\bar{\theta}_{2f}(\bar{a}_\theta, t)$. Інакше кажучи, будемо шукати модель зміни керованої (регульованої) змінної, котра викликається сукупною дією неконтрольованих збурень (управляюча дія на інтервалі запису $x(t)$ не повинна змінюватися).

Надалі слід вирішити питання про точку додавання детермінованої складової неконтрольованих збурень. Для досліджуваного ОК вона адитивно прикладається до керуючої дії u .

Якщо в якості точки додавання неконтрольованого збурення обрано вхід ОК, то модель неконтрольованого збурення може бути отримана за допомогою методу структурних перетворень:

На практиці дуже часто прагнуть використовувати найбільш прості моделі детермінованих складових. У таких умовах в якості моделі $f^M(\bar{a}_f, t)$ прий-

мають модель ступінчастої дії,
$$f^M(a_{fH}, t) = \begin{cases} a_f = \Delta f, & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases}$$
, прикладеного до входу ОУ.

Ступінчасте збурення є одним з найбільш несприятливих з обмежених по величині дій на ОК (з погляду виникаючих у САК динамічних відхилень і тривалості виникаючих перехідних процесів).

Наближена ідентифікація $\square f$ для ступінчастого збурення може бути проведена у такий спосіб:

1. Визначають (приблизно) середнє значення керуючої дії $u(t) = \bar{u}^n(t)$, якому відповідає номінальне значення регульованої координати.

2. Задають значення $\square f \square 0,2 u^H(t)$.

ПРИМІТКА: У тому випадку, якщо управляюча дія є двопозиційною, то $\bar{u}^H(t)$ визначають за формулою:

$$\bar{u}^H(t) \approx \frac{\bar{t}_u^{\max}}{\bar{t}_u} \cdot 100\%$$

де \bar{t}_u - середній період перемикання $U(t)$;

\bar{t}_u^{\max} - середній час включення $U^{\max}(t)$.

Для досліджуваного ОК в якості моделі детермінованої складової неконтрольованих збурень прийmemo ступінчасту вхідну дію величиною 10%х.р.о.

У цьому підрозділі роботи в пакеті Simulink середовища Матлаб для каналів «u1 – Рап» , «u2 – Фзп.», «u2 – Рап» ОК розробляються схеми моделювання як для моделі 1-го, так і для моделі 2-го порядку.

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК для каналу u1 – Рап має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{0,02 * e^{-11,05p}}{22,87p + 1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК для каналу u1 – Рап має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{0,02 * e^{-4p}}{(14,37p + 1)^2}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК для каналу u2 – Фзп має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{10 * e^{-14,65p}}{16,12p + 1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК для каналу u2 – Фзп має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{10 * e^{-7,6p}}{(11p + 1)^2}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК для каналу u2 – Рап має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{-0,02 * e^{-9,75p}}{24,8p + 1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК для каналу u2 – Рап має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{-0,02 * e^{-0,75p}}{(15,3p + 1)^2}$$

Моделі повинні мати один вхід, вихід моделей виводиться на графік в одній системі координат. У цю ж систему координат зводяться експериментальні дані. Для додавання в схему експериментальних даних попередньо готують експериментальні дані в табличному виді і реалізують їх у компоненті Look-Up-Table. Для досліджуваного ОК експериментальні дані для каналів «u1 – Рап», «u2 – Фзп», «u2 – Рап» зведено в таблиці 2.2, 2.3, 2.4 відповідно. Схема моделювання для каналів «u1 – Рап», «u2 – Фзп.», «u2 – Рап» керування ОК наведені на рис. 2.15, 2.17, 2.19 відповідно. Результати моделювання для каналів «u1 – Рап.», «u2 – Фзп.», «u2 – Рап.» наведені на рис. 2.16, 2.18, 2.20.

Таблиця 2.2 – Експериментальні дані за каналом «u1 – Рап»

t, c	u1 – Рап, МПа
0	0,6
10	0,6
20	0,62
30	0,67
40	0,71
50	0,75
60	0,78
70	0,79
80	0,8
90	0,8
100	0,8

Таблиця 2.3 – Експериментальні дані за каналом «u2 – Fзп»

t, с	u2 – Fзп, кг/год.
0	1000
10	1025
20	1040
30	1055
40	1065
50	1070
60	1085
70	1100
80	1100

Таблиця 2.4 – Експериментальні дані за каналом «u2 – Рап»

t, с	u2 – Рап, МПа
0	0,6
10	0,59
20	0,52
30	0,48
40	0,46
50	0,45
60	0,42
70	0,4
80	0,4
90	0,4

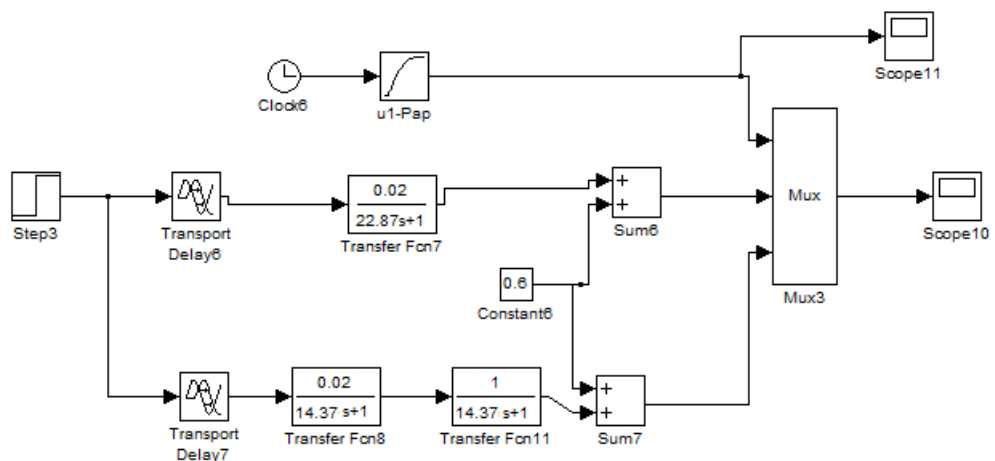


Рис. 2.15 – Схема моделювання каналу «u1 – Рап» керування ОК

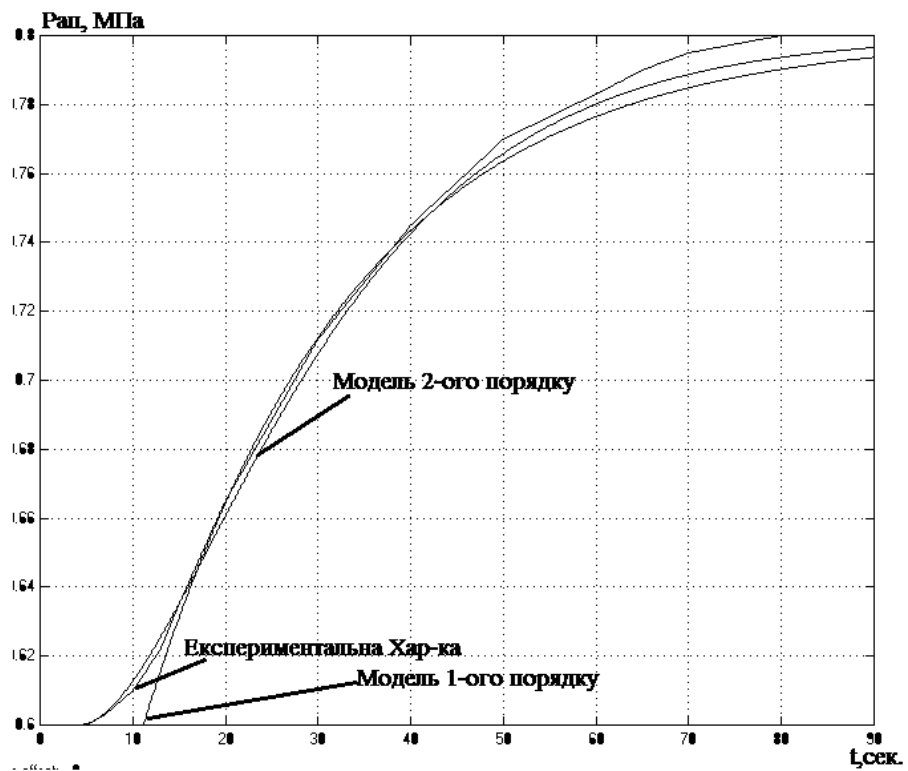


Рис. 2.16 – Результати моделювання ОК по каналу «u1 – Pap»

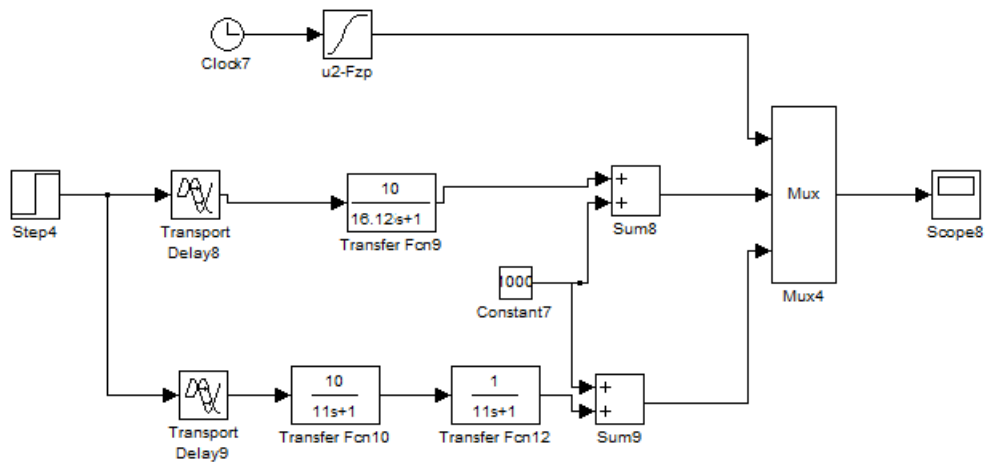


Рис. 2.17 – Схема моделювання каналу «u2 – Fзп» керування ОК

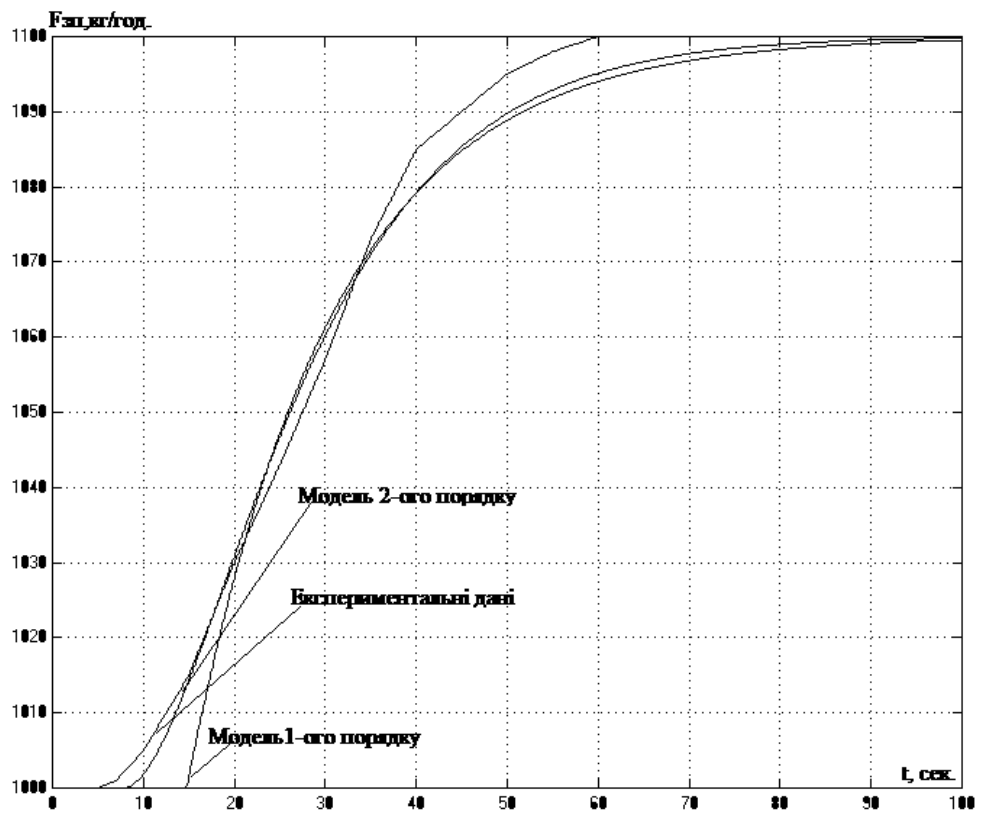


Рис. 2.18 – Результати моделювання ОК по каналу «u2 – Fzp»

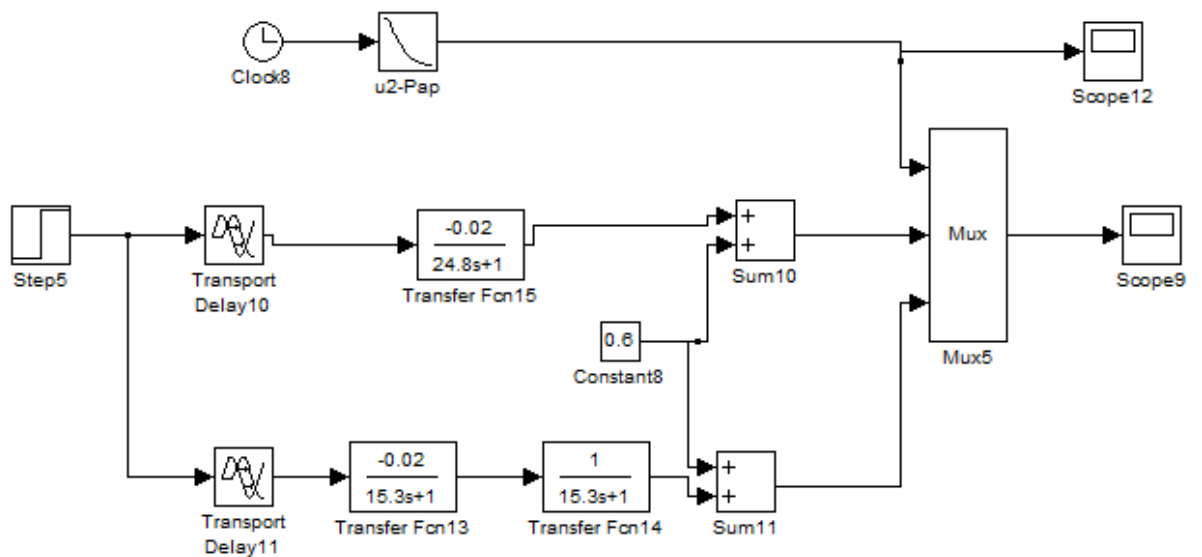


Рис. 2.19 – Схема моделювання каналу «u2 – Rap» керування ОК

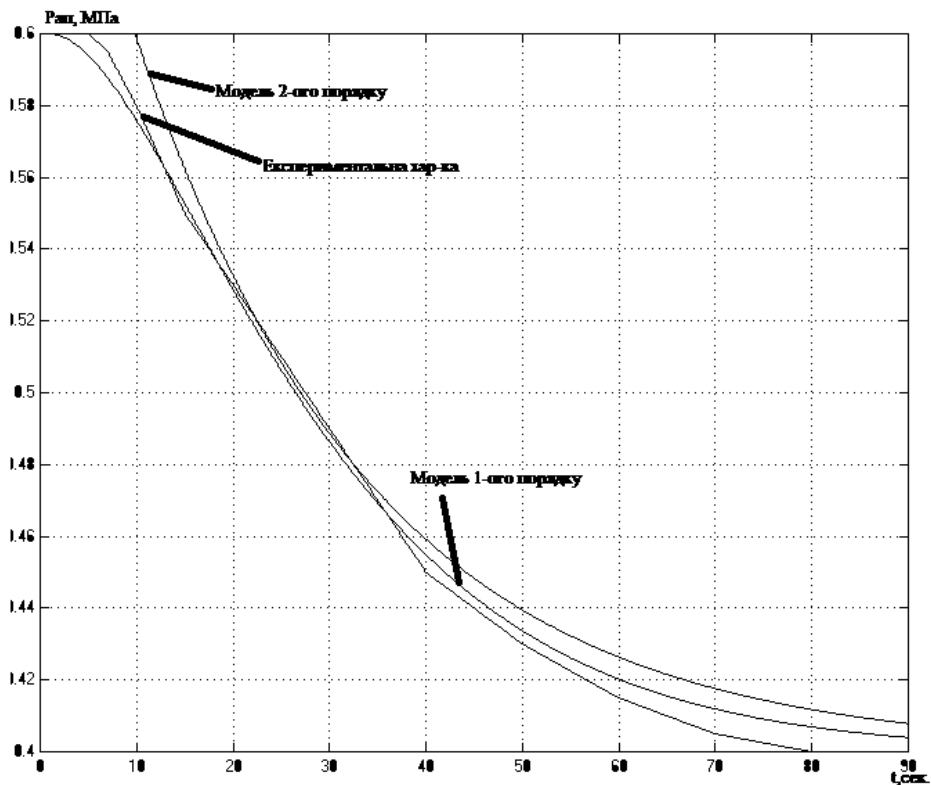


Рис. 2.20 – Результати моделювання ОК по каналу «u2 – Рап»

Модель статичної характеристики:

$$Рап = 0,02 \cdot u2 + 0,6.$$

$$Fзп = 10 \cdot u2 + (-0,02) \cdot u2 - 500.$$

Для виконання цього розділу роботи скористаємося можливостями додатка MS Excel. Експериментальні дані для перевірки моделі статички наведені в таблиці 2.3, результати розрахунків зведені в таблицю 2.5, а також представлені у вигляді графіків на рис. 2.21.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунків моделі статичної характеристики

u1	u2	Рап	Fзп
10	50	0,4	1000
50	0	0,6	500
50	100	0,6	1500
100	50	1,4	100

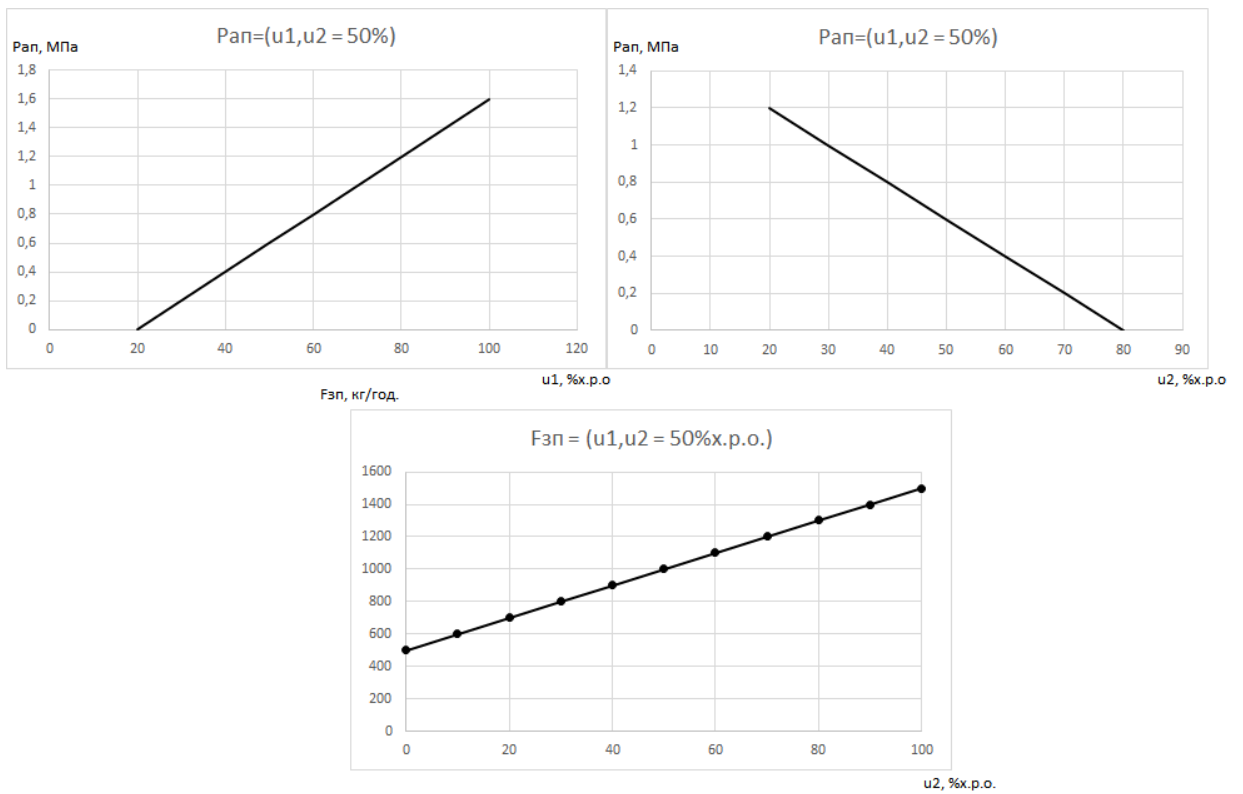


Рис. 2.21 – Результати моделювання статичної характеристики ОК

Як видно із графіка (рис. 2.21), модель статичної характеристики точно описує експериментальні дані.

Для реалізації повної моделі ОК об'єднаємо моделі динаміки каналів ОК. Схема моделювання в середовищі Матлаб, що відображує модель ОК, наведена на рис. 2.22, а результати моделювання – на рис. 2.22, 2.23 та 2.24.

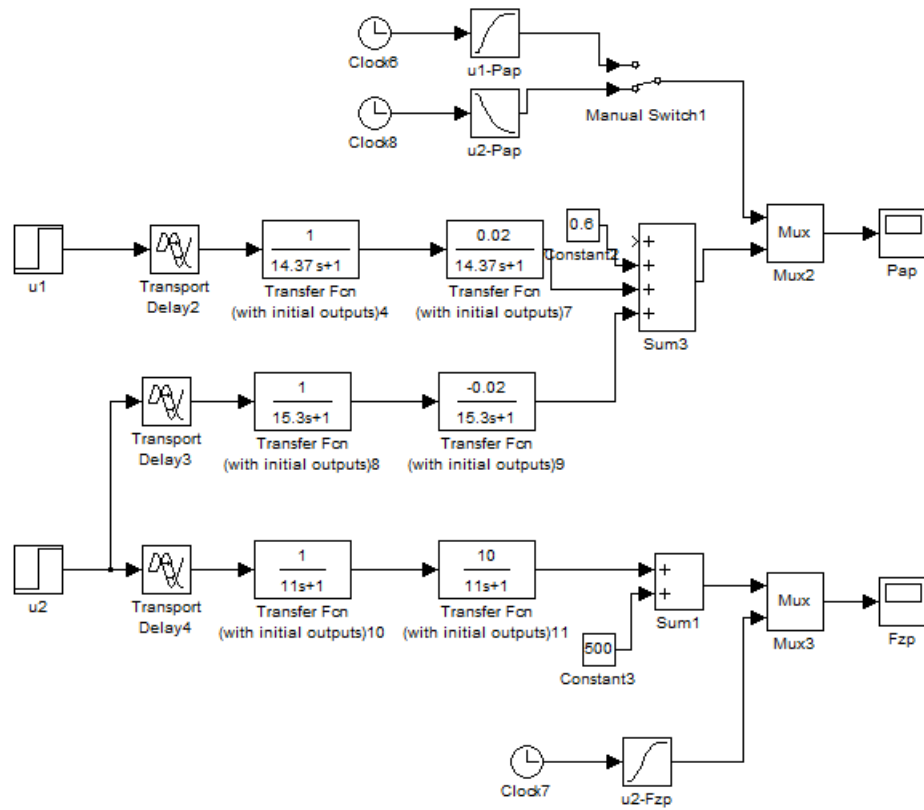


Рис. 2.22 – Схема моделювання повної моделі ОК

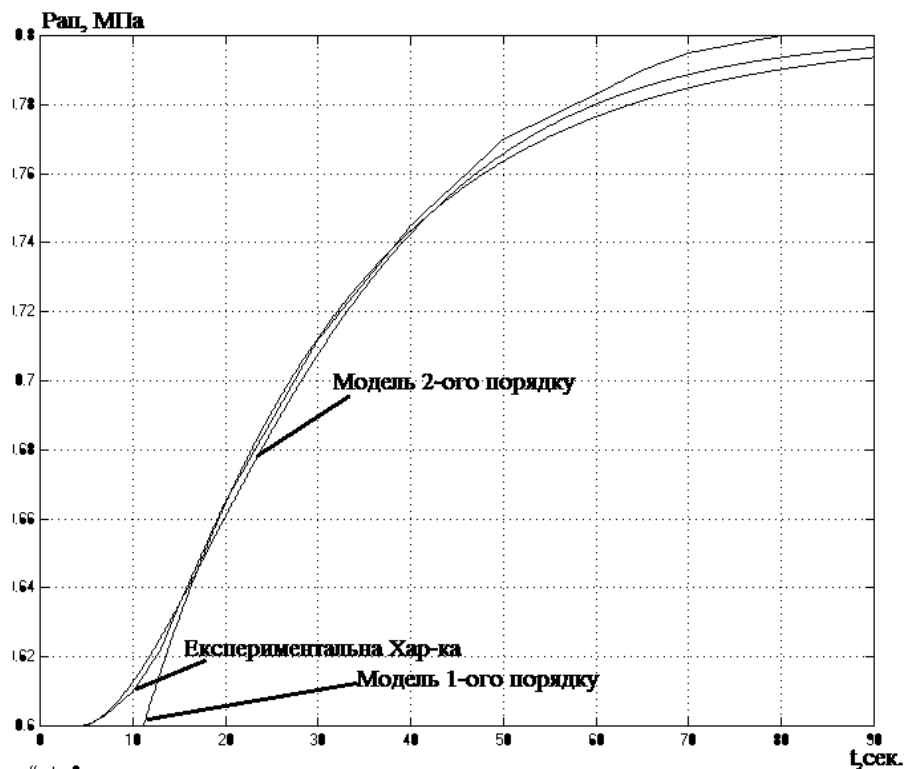


Рис. 2.23 – Результати реалізації повної моделі ОК за каналом «u1 – Pap» в середовищі Матлаб

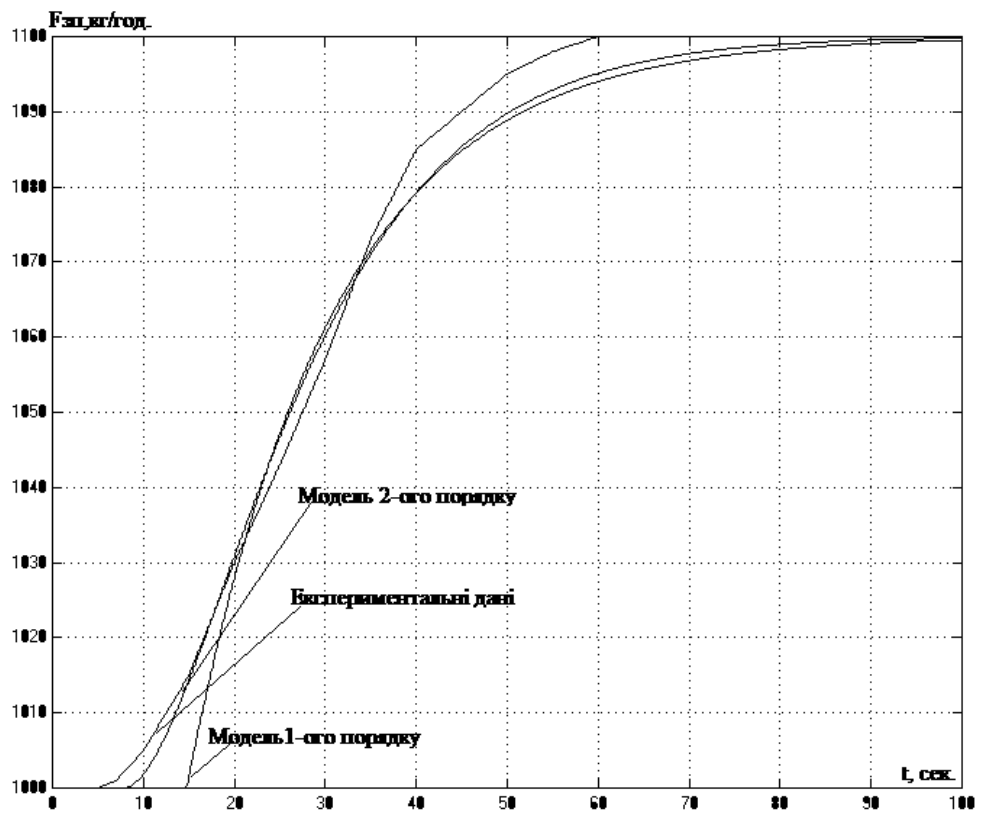


Рис. 2.24 – Результати реалізації повної моделі ОК за каналом «u2 – Fzp» в середовищі Матлаб

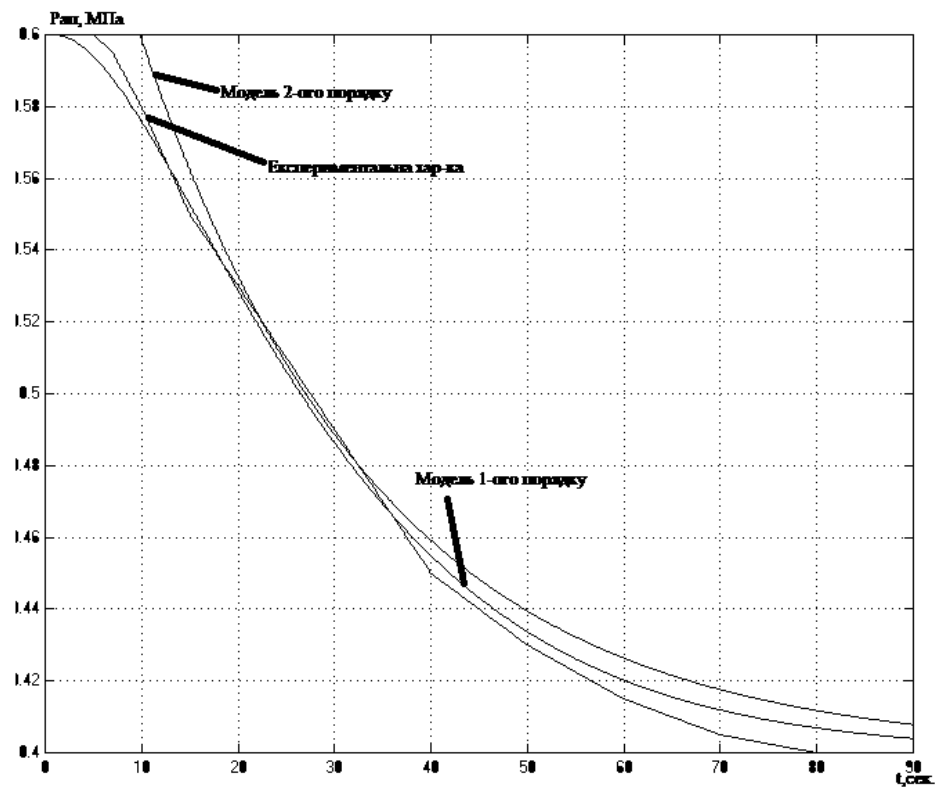


Рис. 2.25 – Результати реалізації повної моделі ОК за каналом «u2 – Pzp» в середовищі Матлаб

Як видно з результатів моделювання, модель ОК достатньо точно відображує експериментальні дані. Це означає, що отримана модель ОК є адекватною.

Для відтворення моделі збурень як стохастичних процесів (СП) із заданими властивостями будемо використовувати метод формуючому фільтру. Його можна представити у вигляді такої структурної схеми моделювання (рис. 2.26).

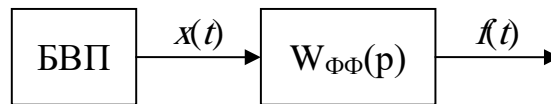


Рис. 2.26 – Структурна схема моделі СП

Для відтворення моделі стохастичного процесу із заданими властивостями спочатку треба визначити передаточну функцію формуючого фільтра $W_{\phi\phi}(p)$. Відомо, що спектральні щільності вхідного $x(t)$ і вихідного $f(t)$ сигналів взаємозалежні

$$|W_{\phi}(j\omega)|_{\phi}^2 = \frac{S_f(\omega)}{S_x(\omega)} = W_{\phi}(j\omega) \cdot W_{\phi}(-j\omega)$$

Якщо випадковий процес $x(t)$ має властивості білого шуму, то його спектральна щільність $S_x(\omega) = a = \text{const}$. Вона може бути розрахована за формулою

$$S_x(\omega) = G_x^2 \frac{2 \cdot \Delta t_2}{3},$$

де G_x - середньоквадратичне відхилення процесу $x(t)$, Δt_2 – крок генерації випадкового процесу.

Надалі до передаточної функції формуючого фільтра підставляють формули для спектральних щільностей вхідного й вихідного сигналу.

Для моделі №6

$$R_f(\tau_k) = D_f e^{-\alpha|\tau_k|} \cdot \left(c \beta|\tau_k| + \frac{\alpha}{\beta} s s \beta|\dot{\mathbf{i}}_k| \right);$$

$$S_f(\omega) = \frac{D_f 4\alpha(\alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 + 4\alpha^2\omega^2}$$

$$\begin{aligned} S_f(j\omega) &= \frac{D_f 4\alpha(\alpha^2 + \beta^2)}{(-(j)^2\omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 - 4\alpha^2(j)^2\omega^2} = \\ &= \frac{\sqrt{D_f 4\alpha(\alpha^2 + \beta^2)}}{(j\omega)^2 + \beta^2 + \alpha^2 + 2\alpha j\omega} \cdot \frac{\sqrt{D_f 4\alpha(\alpha^2 + \beta^2)}}{(j\omega)^2 + \beta^2 + \alpha^2 - 2\alpha j\omega} \end{aligned}$$

$$W_{\phi\phi}(j\omega) = \frac{\frac{2}{S_x(\omega)} \sqrt{D_f \alpha(\alpha^2 + \beta^2)}}{(j\omega)^2 + 2\alpha j\omega + \alpha^2 + \beta^2}$$

Бачимо, що

А після заміни

$$W_{\phi\phi}(p) = \frac{\frac{2}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{D_f \alpha(\alpha^2 + \beta^2)}}{p^2 + 2\alpha p + \alpha^2 + \beta^2} = \frac{\frac{2}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{D_f \alpha(\alpha^2 + \beta^2)}}{(\alpha^2 + \beta^2) \left(\frac{1}{\alpha^2 + \beta^2} p^2 + \frac{2\alpha}{\alpha^2 + \beta^2} p + 1 \right)}$$

Тоді

$$W_{\phi}(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}$$

$$\text{де } k = \frac{2}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{D_f \alpha}{\alpha^2 + \beta^2}}, \quad T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}, \quad \xi = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}$$

Для випадкового процесу, що відображає неконтрольовані збурювання:

$$\alpha = 0,0093; \beta = 0,0188.$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma_f}{2} = \frac{0,01582}{2} = 0,0079$$

$$\Delta t_r = \frac{1}{(2 \dots 3) * \alpha} = \frac{1}{(2 \dots 3) * 0,0079} = 63 \dots 42 \text{ с}$$

Виберемо крок генерації, рівним 60 с.

$$S_x(\omega) = G_x^2 \frac{2 * \Delta t_r}{3} = 0,0079^2 \frac{2 * 60}{3} = 0,0024$$

$$k = \frac{2}{S_x(\omega)} * \sqrt{\frac{D_f \alpha}{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{2}{0,0024} * \sqrt{\frac{0,00025 * 0,00937}{0,00937^2 + 0,0188^2}} = 56,6$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,00937^2 + 0,0188^2}} = 47,6$$

$$\varepsilon = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{0,00937}{\sqrt{0,00937^2 + 0,0188^2}} = 0,46$$

Вихідна передатна функція формуючого фільтра.

$$W_{\phi\phi}(p) = \frac{56,6}{47,6^2 p^2 + 2 * 0,44 * 47,6 p + 1}$$

Сигнал неконтрольованих збурень

Повинен відповідати таким статистичним параметрам:

$$M_f = 0,6016$$

$$\sigma_f = 0,0,01582$$

$$\alpha = 0,00937$$

$$\beta = 0,0188$$

Схема моделювання буде мати вигляд, наведений на рис. 2.27.

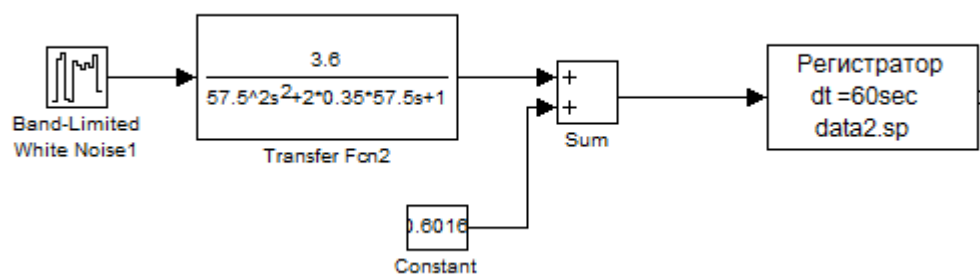


Рис. 2.27 – Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим фільтром, що має розрахункові параметри

У параметрах блоку БВП необхідно встановити такі параметри:

$$\text{Noise power} = S_x(\omega) = 0,0024;$$

$$\text{Sample time} = \Delta t_{\Gamma} = 60;$$

Seed = 1.

Результати моделювання наведені на рис. 2.28.

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \widehat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|0,5767 - (0,6016)|}{0,5767} \cdot 100\% = 4,3\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

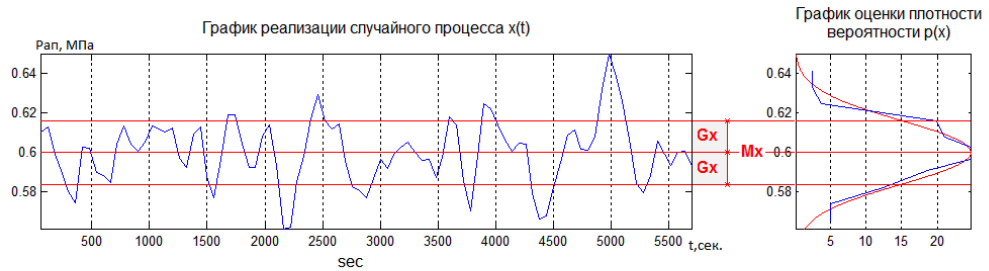
$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \widehat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|0,2498 - 0,01582|}{0,2498} \cdot 100\% = 1453\%$$

Точність відтворення коефіцієнту спаду:

$$\Delta \alpha_f = \frac{|\alpha_f - \widehat{\alpha}_f|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,01371 - 0,00937|}{0,01371} \cdot 100\% = 30\%$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta \beta_f = \frac{|\beta_f - \widehat{\beta}_f|}{\beta_f} \cdot 100\% = \frac{|0,01618 - 0,01898|}{0,01618} \cdot 100\% = 17\%$$



Виды моделей плотностей вероятности

Модель №1 Модель №2 Модель №3

Модель плотности вероятности **НОРМАЛЬНОГО** (ГАУССОВСКОГО) случайного процесса

$$p(x) = \frac{1}{G_x \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x - M_x)^2}{2G_x^2}\right\}$$

$M_x=0$ $G_x=const$
 $M_x=0$ $G_x=2*const$
 $M_x=0$ $G_x=4*const$
 $M_x \neq 0$ $G_x=const$

Выбрать текущий вид модели p(x)

Характеристики сгенерированной реализации случайного процесса x(t):

ИСХОДНЫЕ	Интервал времени генерации СП	$T_p = 5700$ sec
	Шаг квантования СП по времени генерации	$\Delta t = 60$ sec
	Количество точек сгенерированной реализации СП	$N = 95$
ПОЛУЧЕННЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОЦЕНКИВАНИЯ	Оценка математического ожидания	$M_x = 0.6$
	Оценка дисперсии	$D_x = 0.0002602$
	Оценка среднеквадратического отклонения	$G_x = 0.01613$
	Оценка среднеквадратического периода	$T_{скп} = 456$ sec
	Количество среднеквадратических периодов в сгенерированной реализации СП (минимум 25...50)	$N_{Тскп} = 12.5$



Выбранные Вами модели Rx и Sx:

$$R_x(\tau_k) = D_x \exp\{-\alpha|\tau_k|\} \left(\cos(\beta|\tau_k|) + \frac{\alpha}{\beta} \sin(\beta|\tau_k|) \right)$$

$$S_x(\omega) = \frac{D_x}{(\omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 + 4\alpha^2 \omega^2}$$

Расчёт начальных приближений оптимизируемых параметров можно осуществить используя нижеприведен рекомендации

$$\hat{\alpha}^\circ = \frac{1}{\Delta \tau_{k1}}$$

$$\hat{\beta}^\circ = \frac{2\pi}{\Delta \tau_{k2}}$$

ОПТИМИЗАЦИЯ

Выбор метода оптимизации

по автокорреляционной функции

по спектральной плотности

Настройка параметров оптимизации

max количество шагов оптимизации	100.00			
минимальное приращение критерия	0.01			
минимальное приращение аргумента	0.01			
нач. оп.	нач. прир.	верх. оп.	оптим. знач.	
α	0.0004	0.004	0.04	0.01371
β	0.003	0.03	0.3	0.01618
факт. количество шагов оптимизации	43			
Значение критерия оптимальности	до оптим-ции	1.766		
	после опт-ции	0.8649		

Сохранить Отмена Повтор

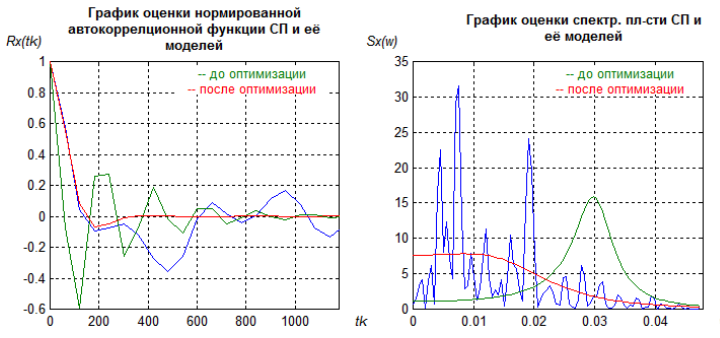


Рис. 2.28 – Результаты моделирования неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

Похибка відтворення M_f , σ_f , α і β більша від 5%, а значить необхідно провести коректування параметрів формуючого фільтра. Після коректування були отримані наступні параметри формуючого фільтра: $k = 3,6$; $T = 57,5$ с; $\xi=0,35$; $\Delta t_\Gamma=60$; $S_x(\omega) = 0,0024$. Схема моделювання остаточного формуючого фільтра наведена на рис. 2.29, а результати моделювання наведені на рис. 2.30.

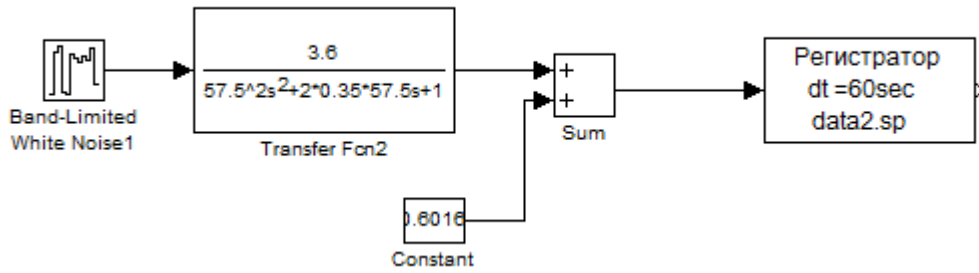


Рис. 2.29 – Схема моделювання неконтрольованих збурень із формулюючим фільтром, що має скоректовані параметри

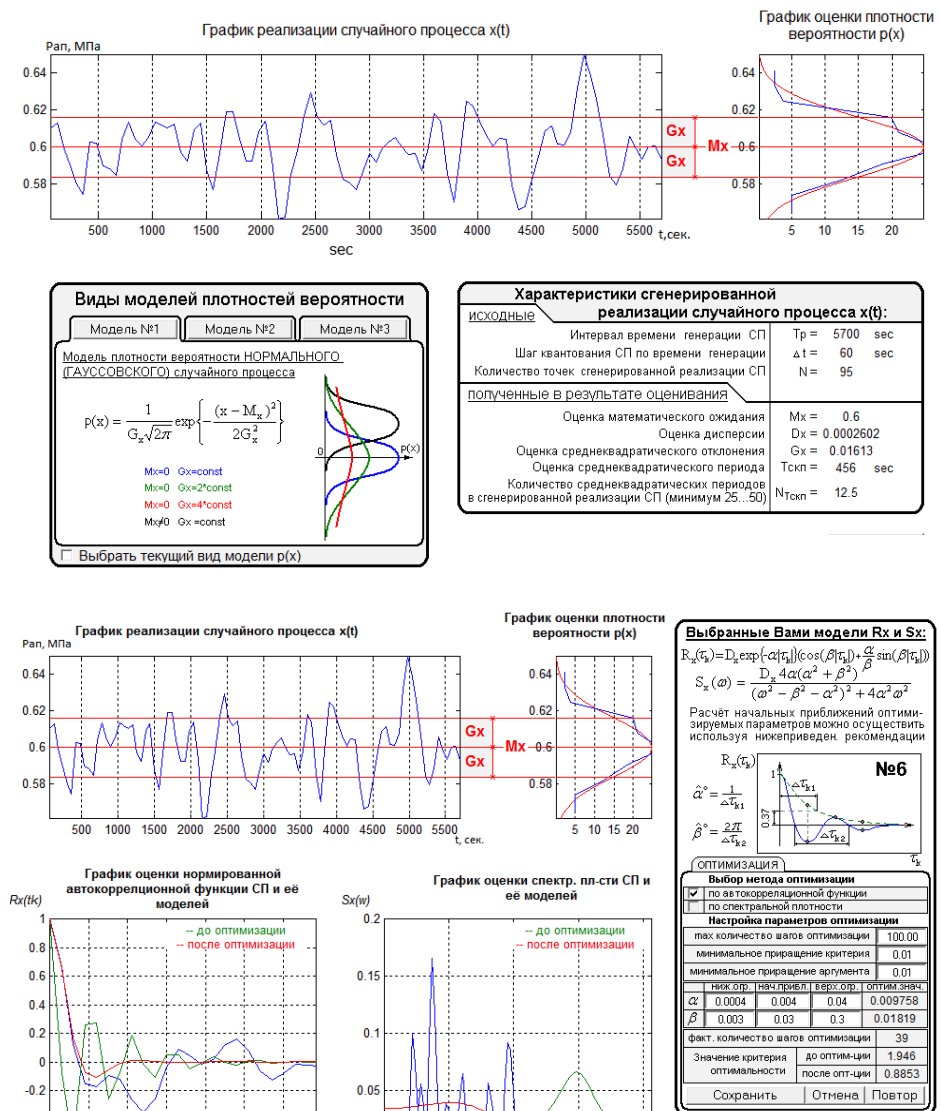


Рис. 2.30 – Результаты моделювання неконтрольованих збурювань із розрахунковими параметрами формулюючого фільтра

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \widehat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|0,6 - (0,6016)|}{0,6} \cdot 100\% = 0,26\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \widehat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|0,01613 - 0,01582|}{0,01613} \cdot 100\% = 1,9\%$$

Точність відтворення коефіцієнту спаду:

$$\Delta \alpha_f = \frac{|\alpha_f - \widehat{\alpha}_f|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,009758 - 0,00979|}{0,009758} \cdot 100\% = 0,28\%$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta \beta_f = \frac{|\beta_f - \widehat{\beta}_f|}{\beta_f} \cdot 100\% = \frac{|0,01819 - 0,01896|}{0,01819} \cdot 100\% = 4,23\%$$

Похибка відтворення M_f , σ_f , α і β менша від 5%, а значить точність моделі неконтрольованих збурювань є достатньою.

Повна модель ОК містить у собі повну модель каналів і модель вхідних дій. Схема моделювання повної моделі ОК наведена на рис. 2.31.

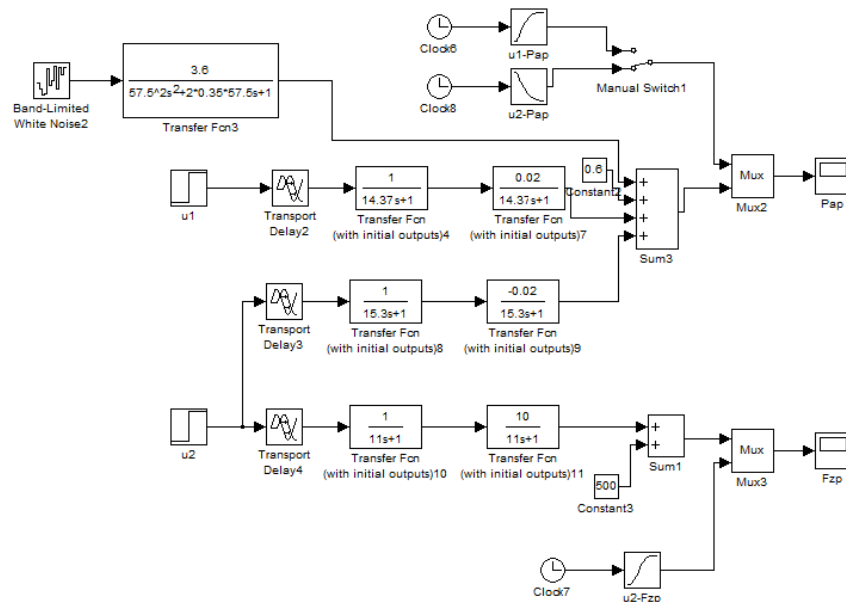


Рис. 2.31 – Схема моделювання повної моделі ОК

Проведемо експерименти з повною моделлю ОК. Результати експерименту в результаті дії збурень тільки детермінованого характеру наведені на рис. 2.32, в умовах дії стохастичних неконтрольованих збурень – на рис. 2.33.

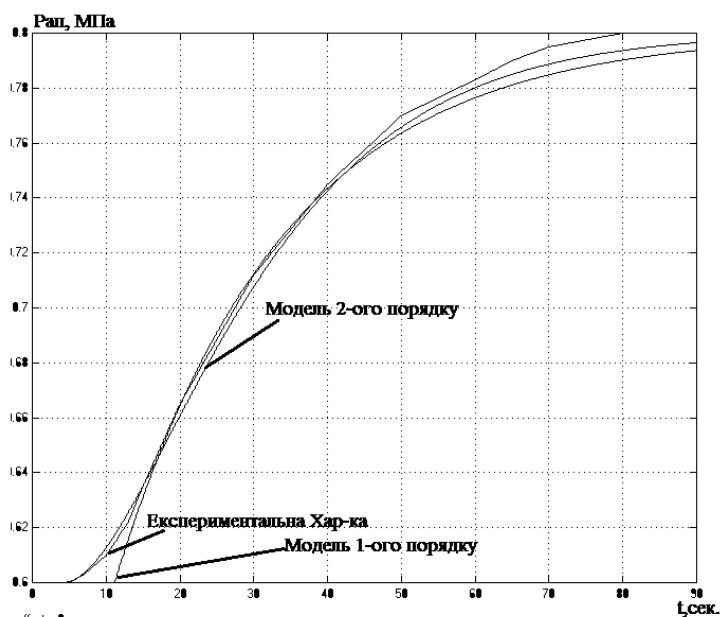


Рис 2.32 – Результати експерименту в результаті дії збурень тільки детермінованого характеру

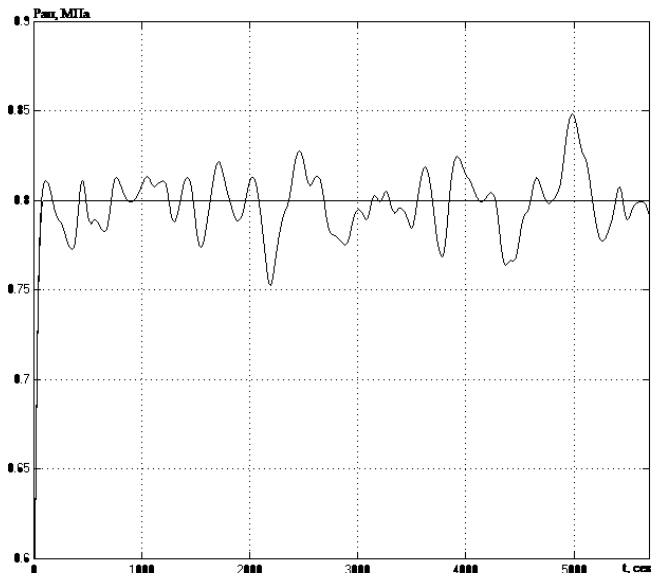


Рис. 2.33 – Результати експерименту в умовах дії стохастичних неконтрольованих збурень

Як показують результати експериментів, модель ОК в достатній мірі відтворює результати експериментальних досліджень.

2.4 Висновки за розділом

В результаті виконання цього розділу була проведена ідентифікація процесу обробки крупи в камері пропарювання, як об'єкта керування. Було проідентифіковано модель каналу, в результаті чого було з'ясовано, що канали керування ОК має статичні властивості, тобто властивості самовирівнювання. Це пов'язано з тим, що в камері попарювання протікають процеси, які за своєю природою мають такі властивості. При складанні структурної схеми моделювання та її реалізації було отримано результати (перехідні характеристики), які достатньо точно відтворюють експериментальні дані, що свідчить про правильність проведення процедури ідентифікації моделі каналу ОК.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА І ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ, ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ САР

3.1 Конкретизація завдань регулювання для процесу обробки крупи в камері пропарювання

Загальною метою керування є керування матеріальними та енергетичними потоками для отримання властивостей продукту необхідного виду і якості.

Із загальної мети керування можна виділити окремі задачі:

- підтримання вихідних змінних об'єкту керування ($M_{зп}$, $F_{зп}$) на їх заданому значенні ($M_{зп}^{здн}$, $F_{зп}^{здн}$) - задача регулювання.
- пристосування в процесі роботи об'єкту керування до його змінних властивостей - задача адаптації;
- забезпечення ефективних режимів роботи об'єкту керування - задача оптимізації;
- забезпечити ввімкнення і вимкнення при пусках, зупинках, аварійних ситуаціях - задача логічного керування.

Необхідно і доцільно автоматизувати кожен із завдань керування.

Для завдання регулювання автоматизація необхідна для автоматичного регулювання заданої змінної в околиці бажаного значення із заданою точністю без фізичної участі людини. Для якісної і економічно доцільною реалізації технологічного процесу випічки хліб необхідно регулювати тиск пари в апараті Рап, а також витрати пропареного зерна $F_{зп}$.

Для завдання адаптації необхідна автоматизація пристосування в процесі роботи об'єкта керування до його змінних властивостей, заданим. Розглянутий технологічний процес є об'єктом неперервної дії. Властивості продукту істотно впливають на динамічні властивості об'єкта. Але ці властивості в процесі роботи установки на тривалому інтервалі часу

змінюються мало. Цю задачу можна вирішити, змінюючи (коригуючи) настройки регуляторів в процесі роботи установки.

Для задачі оптимізації слід автоматизувати пошук оптимального протікання процесу, мінімізувати витрати енергії, брак готової продукції, збільшити продуктивність обладнання. Для процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання задачу можна вирішити, підвищивши вимоги до розв'язання задачі регулювання. Головним джерелом підвищення економічної ефективності цього процесу є зниження енерговитрат пари на реалізацію технологічного процесу.

Тому для даного технологічного процесу актуальна автоматизація задачі логічного керування.

Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів (див. табл. 1.1) тиск пари в апараті Рап має підтримуватися на рівні 0,6 МПа з точністю $\pm 0,05\%$. За цим параметром припустимі короточасні відхилення до $\pm 0,1\%$ протягом часу не більше 80 секунд. Регламентна зона за цим параметром наведена на рис. 3.1.

Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів (див. табл. 1.1) витрати пропареного зерна Fзп має підтримуватися на рівні 1000кг/год з точністю ± 100 кг/год. За цим параметром припустимі короточасні відхилення до ± 200 кг/год протягом часу не більше 60 секунд. Регламентна зона за цим параметром наведена на рис. 3.2.

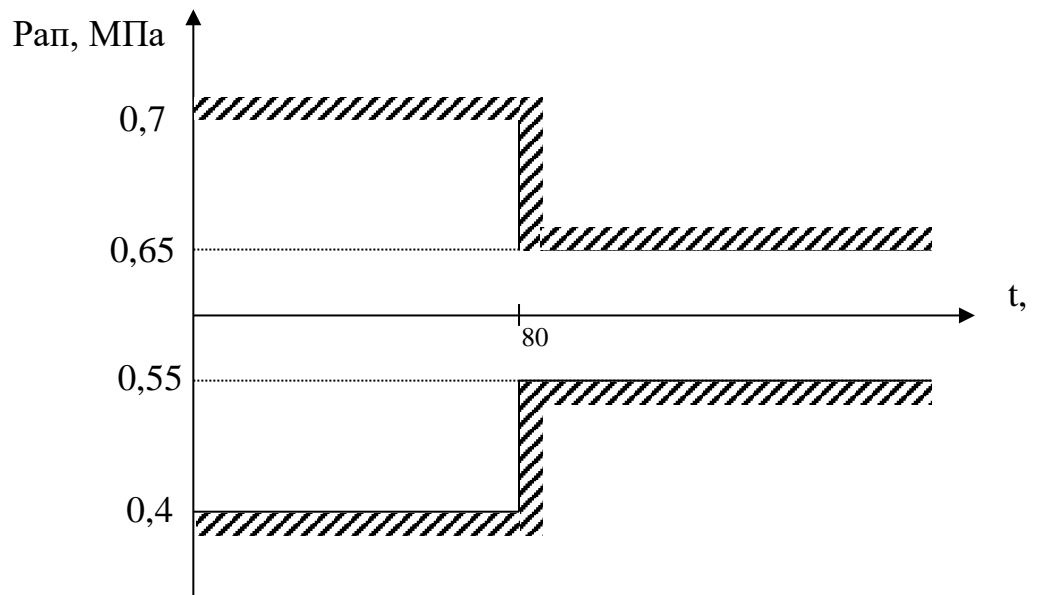


Рис. 3.1 – Регламентна зона для тиску пари в апараті

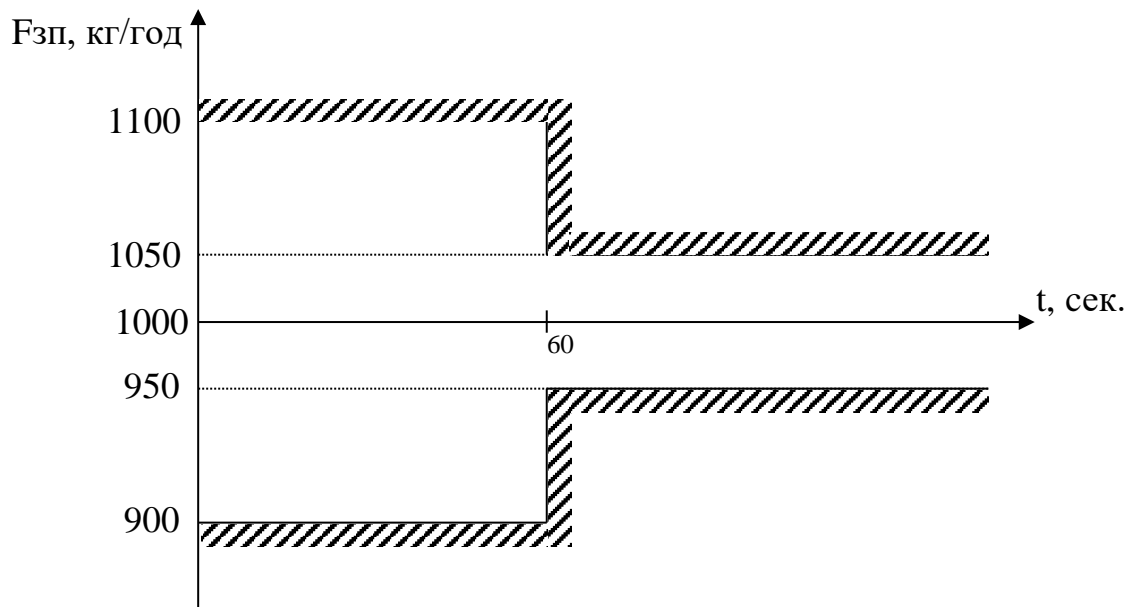


Рис. 3.2 – Регламентна зона для витрат пропареного зерна

3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

Координатна схема процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання наведена на рис. 1.5. Відповідно до неї та до структурної схеми, що відповідає замкненому принципу керування, структурна схема САР матиме вигляд, наведений на рис. 3.3.

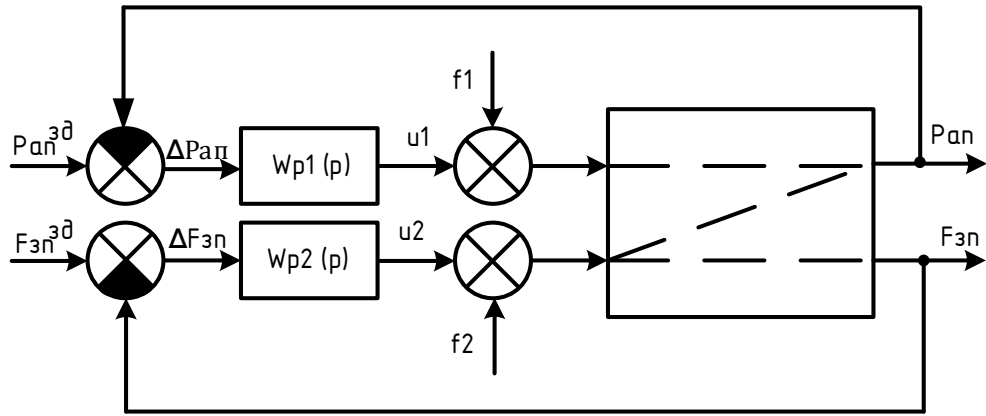


Рис. 3.3 – Структурна схема САР гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання

На рисунку:

$u1$ – Положення РО для зміни витрати пари;

$u2$ – Положення РО зміни частоти обертів електроприводу двигуна шлюзового затвору;

P_{ap} – Тиск пари в апараті;

$F_{зп}$ – Витрати пропареного зерна

$f1, f2$ – вектор неконтрольованих збурень;

$W_{p1}(p)$ – передаточна функція регулятора вологості пропареного зерна;

$W_{p2}(p)$ – передаточна функція регулятора витрат пропареного зерна;

$P_{ap}^{зд}$ – задане значення тиску пари в апараті;

$\Delta M_{зп}$ – помилка регулювання значення вологості пропареного зерна;

$F_{зп}^{зд}$ – задане значення витрат пропареного зерна;

$\Delta F_{зп}$ – помилка регулювання значення витрат пропареного зерна.

Процес гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання за каналом « $u1$ - $M_{зп}$ », « $u2$ - $F_{зп}$ » має статичні властивості, тому в якості альтернативних варіантів алгоритмів регулювання обираємо пропорційно-інтегральний (ПІ) і пропорційно-інтегрально-диференційний (ПІД) алгоритми регулювання.

Рівняння руху ПІ-регулятора:

$$u(t) = K_P \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{ИЗ}} \int_0^t \Delta y(t) dt \right) + u_0;$$

Передаточна функція ПІ-регулятора:

$$W_P(p) = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{ИЗ} p} \right)$$

Рівняння руху ПІД-регулятора:

$$u(t) = K_P \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{ИЗ}} \int_0^t \Delta y(t) dt + T_{ИД} p \frac{d\Delta y(t)}{dt} \right) + u_0;$$

Передаточна функція ПІД-регулятора:

$$W_P(p) = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{ИЗ} p} + \frac{T_{ИД} p}{0,2 \cdot T_{ИД} p + 1} \right)$$

В результаті виконання роботи була проведена ідентифікація моделей каналів перетворення координатних дій технологічного процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання. Результати ідентифікації зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 –Результати ідентифікації каналів перетворення координатних дій ОК

Канал ОК	Модель динаміки	
	1-го порядку	2-го порядку
«u1 - Рап»	$W_o(p) = \frac{0,02 * e^{-11,05p}}{22,87p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,02 * e^{-4p}}{(14,37p + 1)^2}$
«u2 - Фзп»	$W_o(p) = \frac{10 * e^{-14,65p}}{16,12p + 1}$	$W_o(p) = \frac{10 * e^{-7,6p}}{(11p + 1)^2}$

Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис. 3.3, а з ПД-регулятором - на рис. 3.4. Структурна схема моделювання ОК наведена на рис. 3.5.

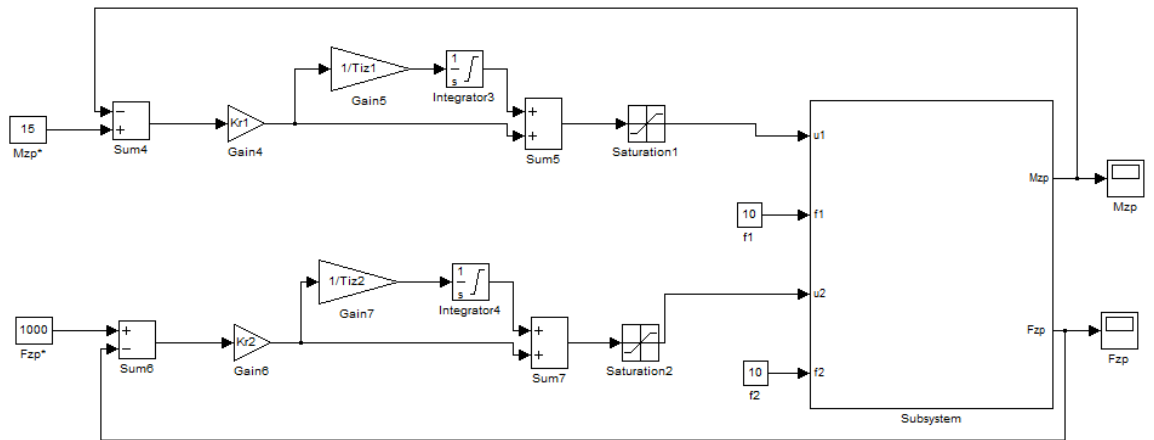


Рис. 3.3 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

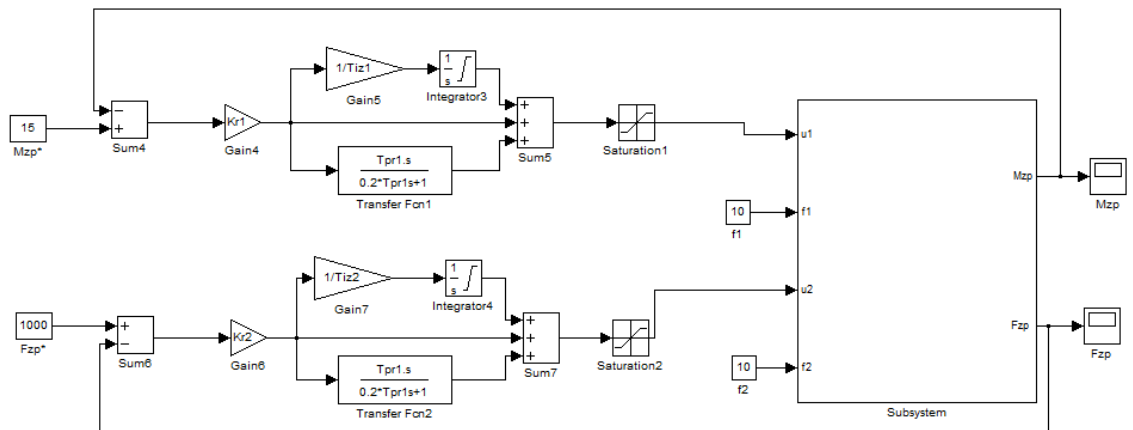


Рис. 3.4 – Структурна схема моделювання САР з ПД-регулятором

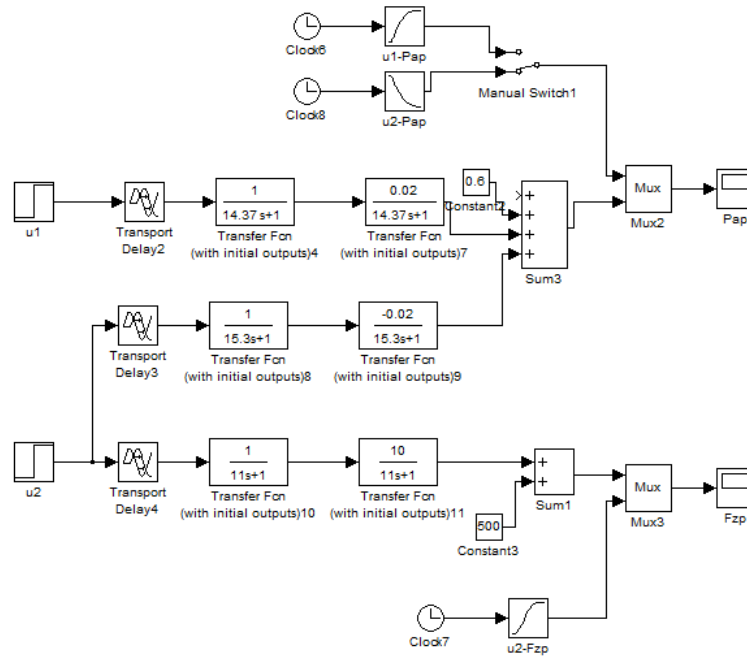


Рис. 3.5 – Структурна схема моделювання ОК

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК за каналом «u1 - Pap»

$$W_o(p) = W_o(p) = \frac{0,02 * e^{-11,05p}}{22,87p + 1}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора за каналом «u1-Рап»:

$$k_p = 0,8 * T_0 / (k_0 * \tau_0) = 0,8 * 22,87 / (0,02 * 11,05) = -82,78 \% \text{х.р.о.} / \text{МПа}$$

$$T_{из} = 2,5 * \tau_0 = 2,5 * 11,05 = 25,87 \text{ с}$$

Розрахунок параметрів ПІД- регулятора за каналом «u1 - Рап»:

$$k_p = T_0 / (k_0 * \tau_0) = 22,87 / (0,02 * 11,05) = 103,48 \% \text{х.р.о.} / \text{МПа}$$

$$T_{из} = 2 * \tau_0 = 2 * 11,05 = 22,1 \text{ с}$$

$$T_{пр} = \tau_0 = 6,02 \text{ с}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК за каналом «u2-»Fзп:

$$W_o(p) = \frac{10 * e^{-14,65p}}{16,12p + 1}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора за каналом «u2 - Fзп»:

$$k_p = 0,8 * T_0 / (k_0 * \tau_0) = 0,8 * 16,12 / (10 * 14,65) = 0,09 \% \text{х.р.о.} / \text{кг/год.}$$

$$T_{из} = 2,5 * \tau_0 = 2,5 * 14,65 = 36,62 \text{ с}$$

Розрахунок параметрів ПІД- регулятора за каналом «u2 - Fзп»:

$$k_p = T_0 / (k_0 * \tau_0) = 16,12 / (10 * 14,65) = 0,11 \text{ \%х.р.о. / кг/год}$$

$$T_{из} = 2 * \tau_0 = 2 * 14,65 = 29,3 \text{ с}$$

$$T_{пр} = \tau_0 = 7,32 \text{ с}$$

Оптимальний параметричний синтез САР слід проводити в пакеті Simulink середовища Матлаб з використанням спеціалізованого програмного забезпечення, розробленого на кафедрі АВП ОНАХТ.

Структурна схема моделювання для САР з ПІ-регулятором для оптимального параметричного синтезу є розвитком схеми моделювання САР, і матиме вигляд, наведений на рис. 3.6. Приклад структурної схеми моделювання для САР з ПІД-регулятором наведений на рис. 3.7.

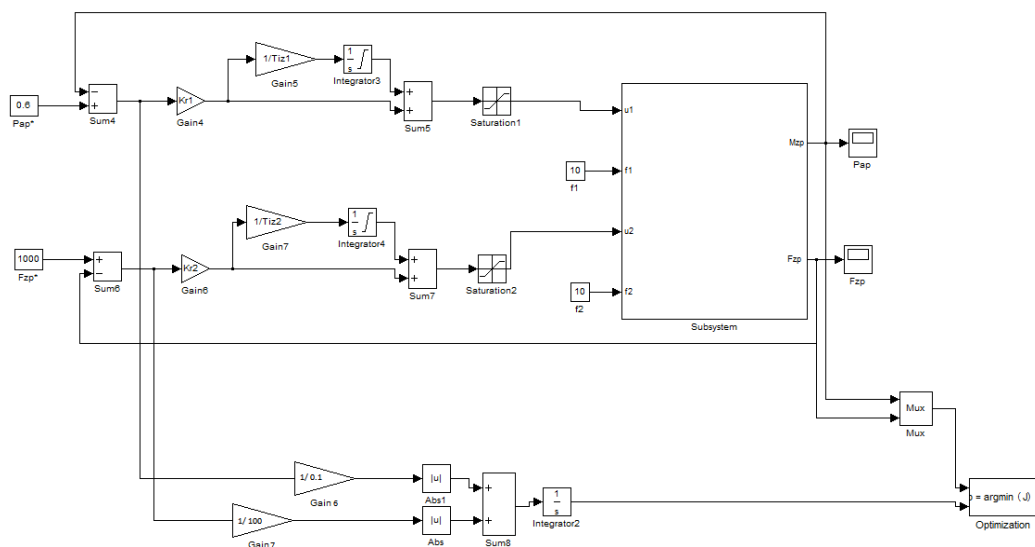


Рис. 3.6 – Структурна схема моделювання для САР з ПІ-регулятором для оптимального параметричного синтезу

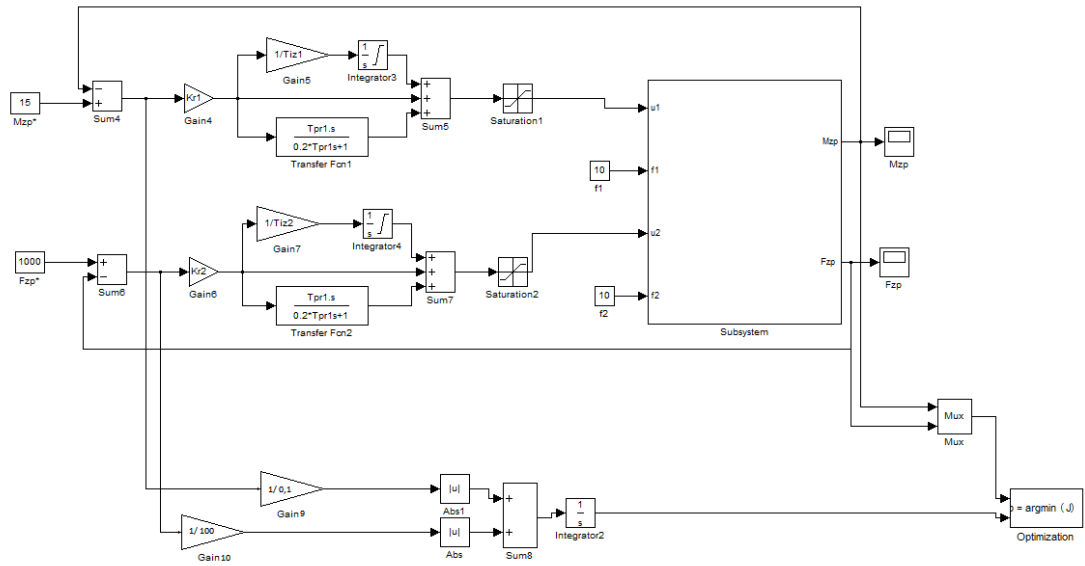
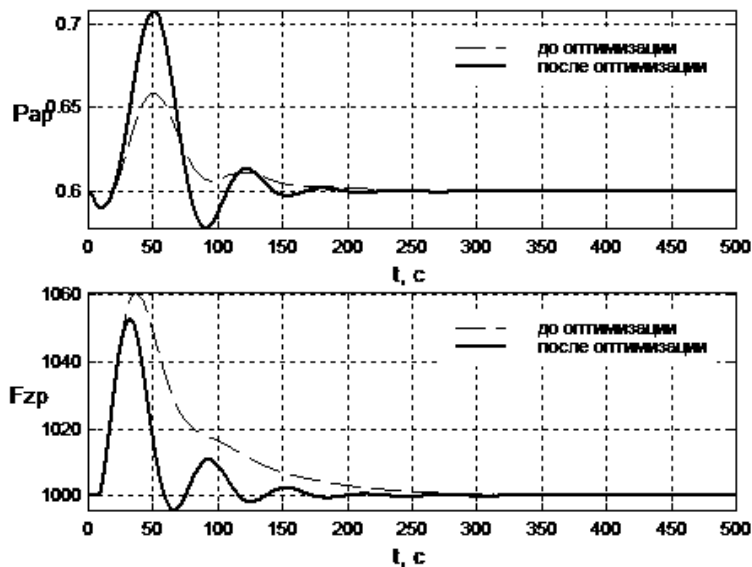


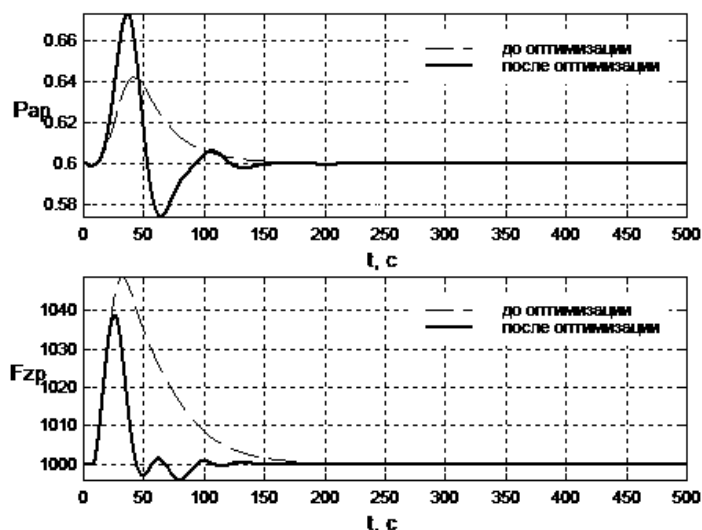
Рис. 3.7 – Структурна схема моделювання САР з ПД-регулятором для оптимального параметричного синтезу

Результати оптимального параметричного синтезу САР з ПД-регулятором наведено на рис. 3.8, а САР з ПД-регулятором – на рис. 3.9.



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности
Kr1	56.3196	0	82.78	500	до - 4071.4078
Tp1	19.3206	0	25.87	500	после - 1895.9453
Kr2	0.15887	-5	0.09	100	Количество шагов процедуры оптимизации
Tp2	27.5296	0	36.625	500	
					максимальное - 1000
					фактическое - 142

Рис. 3.8 – Результати оптимізації параметрів ПД-регулятора



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
Kr1	116.9615	0	103.48	500	до - 2665.7819
Tz1	13.4333	0	22.1	500	после - 864.5737
Tr1	4.2654	0	6.025	500	оптимизации.
Kr2	0.22835	-5	0.11	500	Количество шагов
Tz2	15.3853	0	29.3	500	процедуры оптимизации:
Tr2	7.6905	0	7.325	500	максимальное - 1000
					фактическое - 271

Рис. 3.9 – Результати оптимізації параметрів ПД-регулятора

Порівняльний аналіз перехідних процесів у параметрично оптимальних системах за значенням критерію оптимальності і показникам, для яких встановлені гранично-припустимі значення. Порівняння САР з ПД-регулятором та САР з ПД-регулятором показано на рис. 3.10.

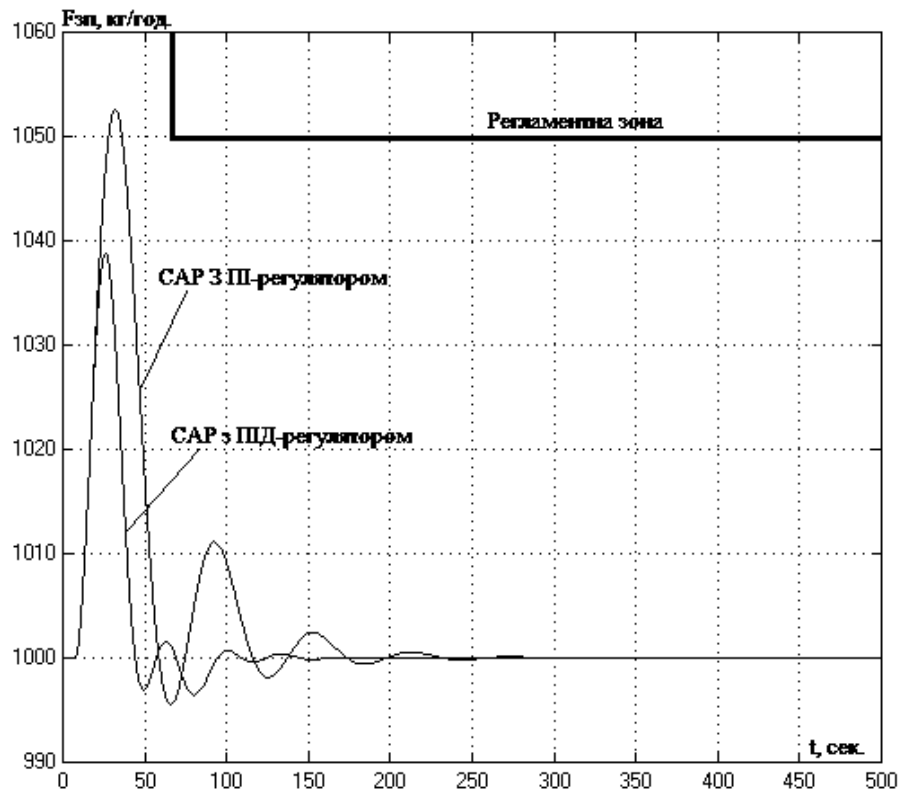
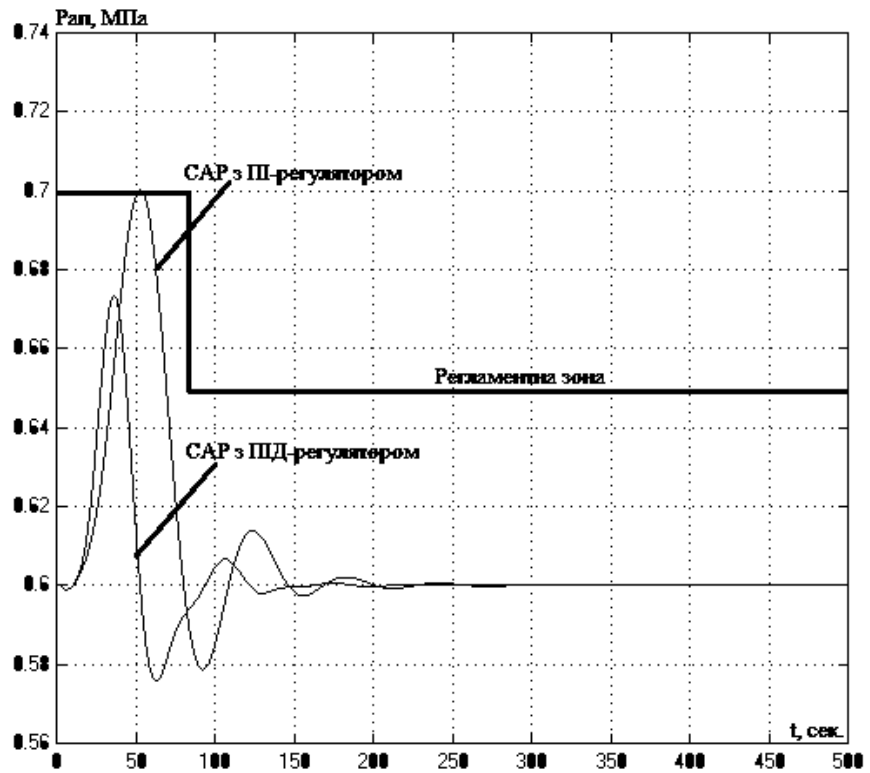


Рис. 3.10 – Результати порівняння САР з ПІ-регулятором та ПДД-регулятором

В роботі ставиться задача порівняння якості роботи різних варіантів САР за різними прямими показниками якості.

Під прямими показниками якості розуміють деякі спеціальні характеристики перехідного процесу в САР, що викликають ступінчасті вхідні дії при нульових початкових умовах. Прямі показники якості визначаються безпосередньо із графіків перехідних характеристик. У даній роботі розглядається наступні показники:

1. Максимальне динамічне відхилення Δu^{\max} – це максимальне відхилення поточного значення регульованої координати від її заданого (бажаного) значення.

2. Час перехідного процесу (час регулювання) $t_{\text{рег}}$ – це відрізок часу від моменту зміни вхідної дії до моменту, коли перехідний процес увійде до зони незначних відхилень (ЗНВ) та більше не вийде з неї. ЗНВ визначає такі відхилення u від $u^{\text{зд}}$, якими для конкретного ОК можна знехтувати.

Порівняння САР з ПІ-регулятором та САР з ПІД-регулятором наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняння САР з ПІ-регулятором та САР з ПІД-регулятором

САР	$\Delta R_{\text{апmax}}, \%$	$T_{\text{пп}R_{\text{ап}}}, \text{с}$	$\Delta F_{\text{зпmax}}, \text{кг/год.}$	$T_{\text{пп}F_{\text{зп}}}, \text{с}$	J
ПІ	0	52	52	0	1895
ПІД	0	41	37	0	864

З таблиці 3.2 можна зробити висновки, що САР з ПІД-регулятором краща, ніж САР з ПІ-регулятором, за всіма показниками.

Система називається грубою (у сенсі Андронова) у тому випадку, якщо при малих варіаціях її параметрів, властивості системи, зокрема, показники якості, також змінюються мало. Система вважається грубою, якщо при варіації її параметрів зберігається насамперед стійкість САР. Для практики промислових систем керування грубість системи фактично означає її працездатність. Негрубі системи в промисловості непрацездатні.

Серед параметрів ОК найчастіше варіації підлягають коефіцієнт передачі та час запізнення. На практиці параметри ОК можуть варіювати в значних межах і залежать від реальних виробничих умов. В рамках курсової роботи з навчальною метою слід задавати варіації параметрів ОК $20 \pm 10\%$.

У рамках курсової роботи аналіз грубості САР слід проводити також з використанням спеціалізованого програмного забезпечення, розробленого на кафедрі АВП, яке активізується з натисканням кнопки "Грубість САР".

У даній курсовій роботі грубість проводилась при варіації часу запізнення ОК.

Результати аналізу на грубість показані на рис. 3.11, 3.12 для САР з ПІ-регулятором та САР з ПІД-регулятором відповідно.

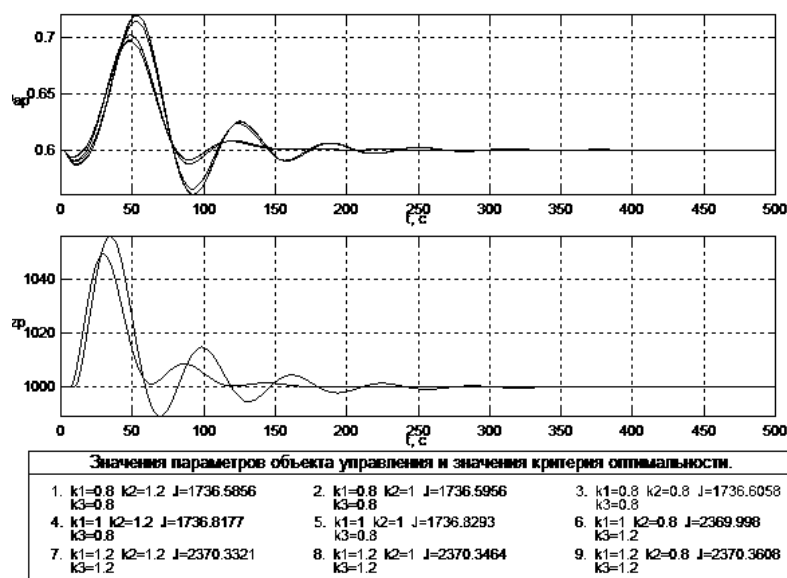


Рис. 3.11 – Результати перевірки САР з ПІ-регулятором на грубість

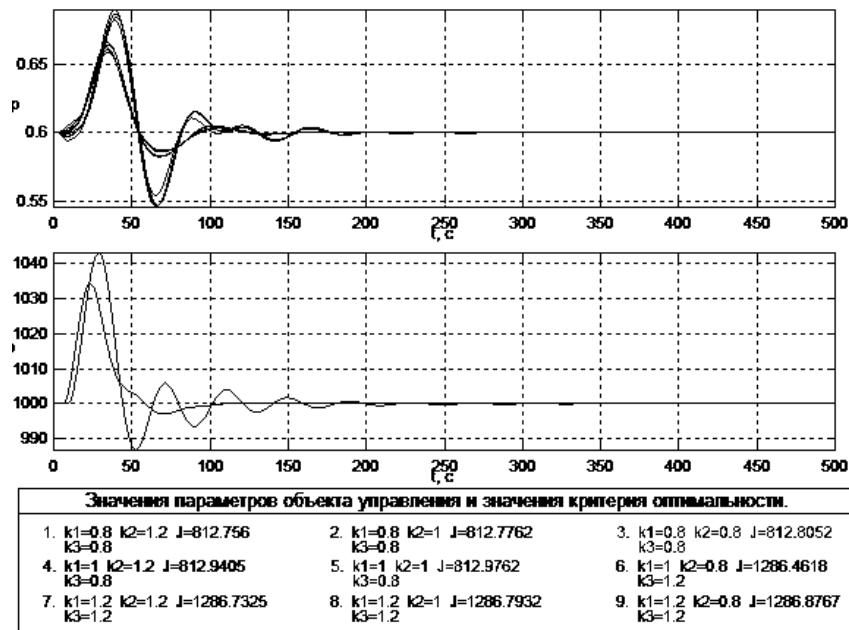


Рис. 3.12 – Результати перевірки САР з ПІД-регулятором на грубість

З рисунків вище видно, що САР з ПІ та ПІД-регулятором груба, а значить САР працездатна.

У рамках роботи аналіз САР при стахостичних вхідних діях слід вкочувати з використанням спеціалізованого програмного забезпечення «Аналізатор ймовірних характеристик», розробленого на кафедрі АВП.

На рис. 3.13 та рис. 3.14 показана схема моделювання для визначення ймовірних характеристик САР для ПІ та ПІД регулятора, а на рис. 3.15 та рис.3.16 результати.

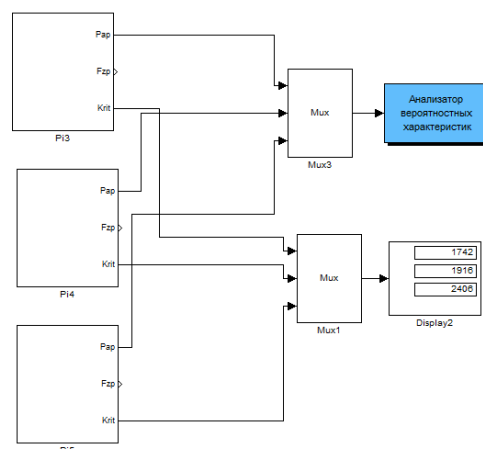


Рис. 3.13 – Схема моделювання для визначення ймовірних характеристик САР з ПІ-регулятором

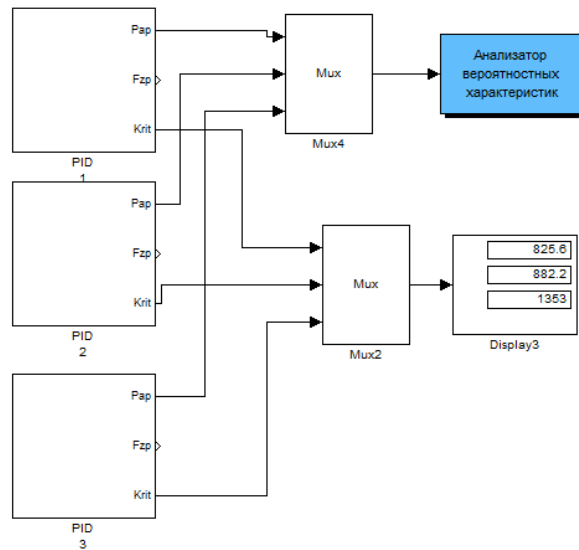


Рис. 3.14 – Схема моделирования для визначення ймовірних характеристик САР з ПІД-регулятором

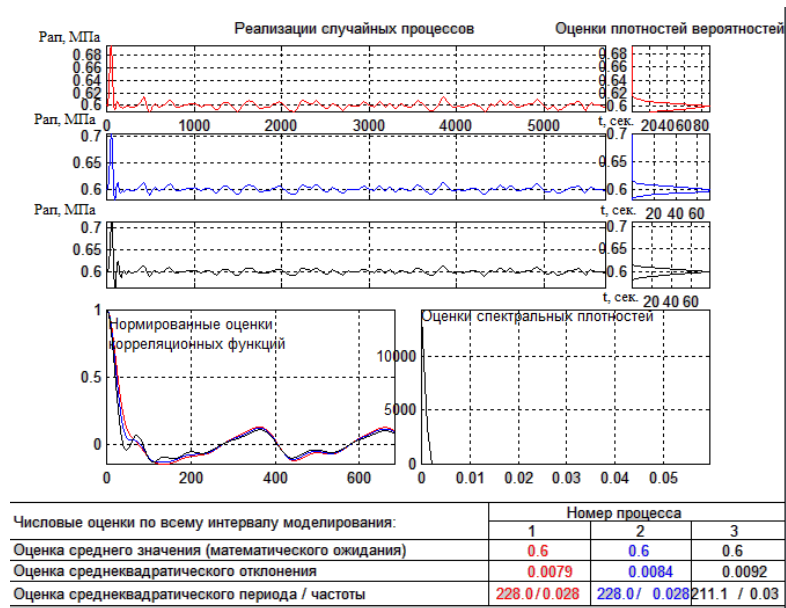


Рис. 3.15 – Результаты моделирования для САР з ПІ-регулятором

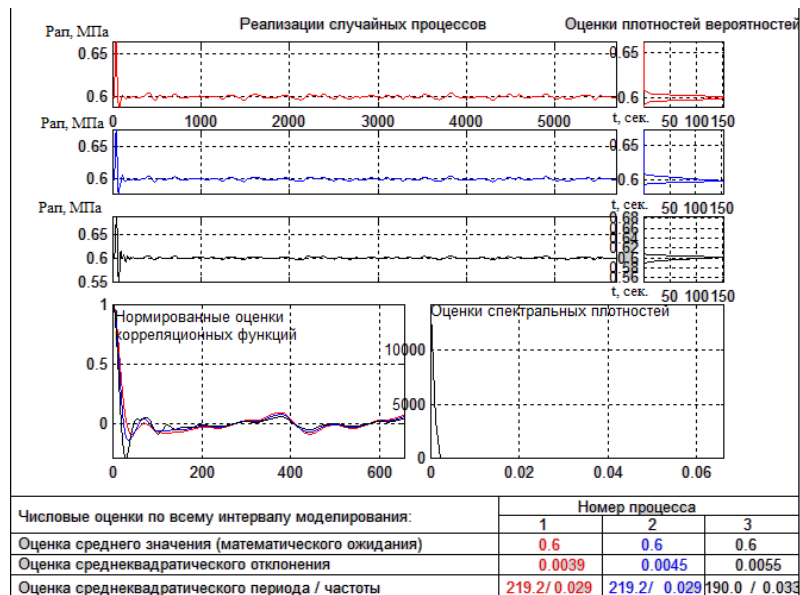


Рис. 3.15 – Результати моделювання для САУ з ПД-регулятором

Порівняння результатів моделювання проведемо за математичним очікуванням, середньоквадратичним відхиленням, середньоквадратичним періодом та інтегральним критерієм. Порівняльні результати оцінки САУ на грубість з ПІ-регулятором зведено в таблицю 3.3, а САУ з ПД-регулятором – в таблицю 3.4.

Таблиця 6.3 – Результати оцінки САУ з ПІ-регулятором на грубість в сталих процесах

САУ	Значення параметрів ОК		
	номінальн і	«найсприятливіші »	«найнесприятливіші і»
Математичне очікування	0,6	0,6	0,6
Середньоквадратичне відхилення	0,0084	0,0079	0,0092
Середньоквадратичний період	228	228	211,1
Інтегральний критерій	1916	1742	2406

Таблиця 3.4 – Результати оцінки САР з ПІД-регулятором на грубість в сталих процесах

САУ	Значення параметрів ОК		
	номінальн і	«найсприятливіші »	«найнесприятливіш і»
Математичне очікування	0,6	0,6	0,6
Середньоквадратичне відхилення	0,0045	0,0039	0,0055
Середньоквадратичн ий період	219	219	190
Інтегральний критерій	882,2	825,5	1353

3.3 Структурний і параметричний синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності

Координатна схема процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання наведена на рис. 2.1. Відповідно до неї та до структурної схеми, що відповідає замкненому принципу керування, структурна схема САР матиме вигляд, наведений на рис. 3.16.

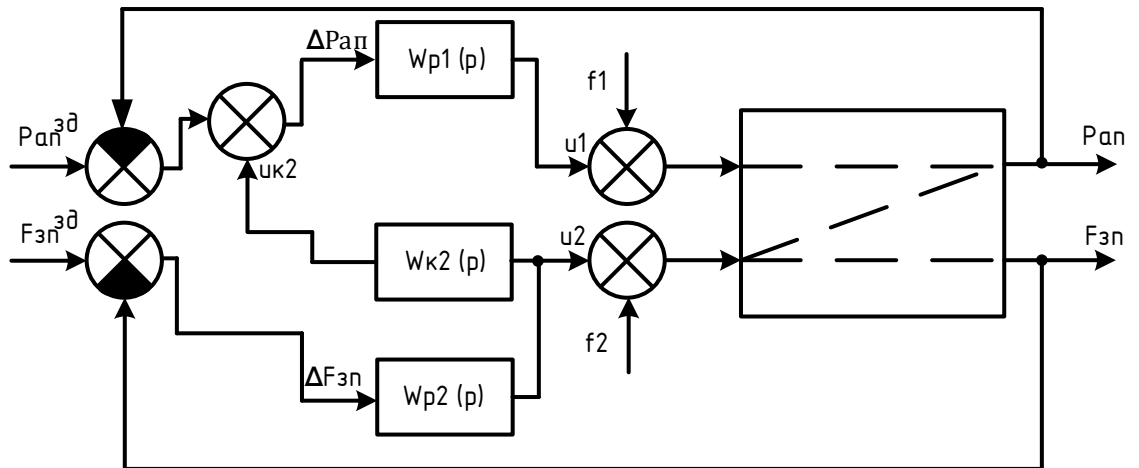


Рис. 3.16 – Структурна схема автономної системи керування

На рисунку:

u_1 – Положення РО для зміни витрати пари;

u_2 – Положення РО зміни частоти обертів електроприводу двигуна шлюзового затвору;

$P_{ап}$ – Тиск пари в апараті;

$F_{пз}$ – Витрати пропареного зерна

f_1, f_2 – вектор неконтрольованих збурень;

$W_{p1}(p)$ – передаточна функція регулятора вологості пропареного зерна;

$W_{p2}(p)$ – передаточна функція регулятора витрат пропареного зерна;

$P_{ад}^{зд}$ – задане значення тиску пари в апараті;

$\Delta P_{ап}$ – помилка регулювання значення тиску пари в апараті;

$F_{пз}^{зд}$ – задане значення витрат пропареного зерна;

$\Delta F_{пз}$ – помилка регулювання значення витрат пропареного зерна.

$W_{k1}(p)$ - передаточна функція коригуючого зв'язку.

В результаті виконання роботи була проведена ідентифікація моделей каналів перетворення координатних дій технологічного процесу охолодження м'яса. Результати ідентифікації зведені в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 –Результати ідентифікації каналів перетворення координатних дій ОК

Канал ОК	Модель динаміки	
	1-го порядку	2-го порядку
«u1 - Рап»	$W_o(p) = \frac{0,02 * e^{-11,05p}}{22,87p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,02 * e^{-4p}}{(14,375p + 1)^2}$
«u2 - Фзп»	$W_o(p) = \frac{10 * e^{-14,65p}}{16,125p + 1}$	$W_o(p) = \frac{10 * e^{-7,6p}}{(11p + 1)^2}$

Оптимальні параметри ПД-регулятора за каналом «u1 - Рап»:

$$K_p = 116,96 \frac{\%x.p.o.}{\text{МПа}}; T_{из} = 13,43\text{с}; T_{ПР} = 4,26\text{с}$$

Розрахунок коригуючої ланки:

$$W^k(p) = - \frac{W_{u2-Рап}^o(p)}{W_{u1-Рап}^o(p) * W_{u1-Рап}^p(p)}$$

Тоді

$$\begin{aligned} W^k(p) &= - \frac{-0,02 * e^{-9,75p}}{24,8p + 1} = \\ &= - \frac{-0,02 * e^{-11,05p}}{22,87p + 1} * 116,96 * \left(1 + \frac{1}{13,43p} + 4,26p\right) = \\ &= e^{(-9,75 - (-11,05))p} * \frac{0,02}{-0,02 * 116,96} * \frac{\frac{1}{22,87p + 1}}{\frac{57,2p^2 + 13,43p + 1}{13,43p} * \frac{1}{24,8p + 1}} = \\ &= -0,008 * e^{+1,3p} \frac{13,43p * (24,8p + 1)}{(57,2p^2 + 13,43p + 1) * (22,87p + 1)} \end{aligned}$$

Отримана передаточна функція коригуючого зв'язку є фізично нереалізованою, оскільки містить ланку чистого випередження. Для забезпечення фізичної реалізованості передаточної функції проведемо заміну ланки чистого випередження форсуючою ланкою:

$$e^{+1,3} = \frac{1,3p}{0,13p+1}$$

Тоді передаточна функція фізично реалізованого коригуючого зв'язку матиме вигляд:

$$W^k(p) = 0,008 * \frac{1,3p}{0,13p + 1} * \frac{13,43p * (24,8p + 1)}{(57,2p^2 + 13,43p + 1) * (22,87p + 1)}$$

Структурна схема моделювання передаточної функції коригуючого зв'язку наведена на рис. 3.17.

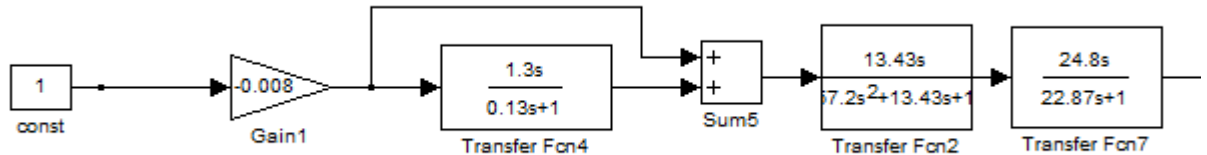


Рис. 3.17 – Структурна схема моделювання передаточної функції коригуючого зв'язку

Перед тим як додавати коригуючу ланку до САР її потрібно спростити. Спрощена коригуюча ланка матиме вигляд:

$$W^k(p) = K_k * \frac{T_{k1}p}{0,1 * T_{k1}p + 1} * \frac{T_{k2}p}{(T_{k2}p + 1)^2}$$

В якості початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку приймемо такі значення параметрів: $K_k = 0,008$; $T_{k1} = 1,3$, $T_{k2} = 22,87$. Для уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку скористаємося схемою моделювання, наведеної на рис. 3.16. Результати розрахунку початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку наведені на рис. 3.18, а результати моделювання – на рис. 3.19.

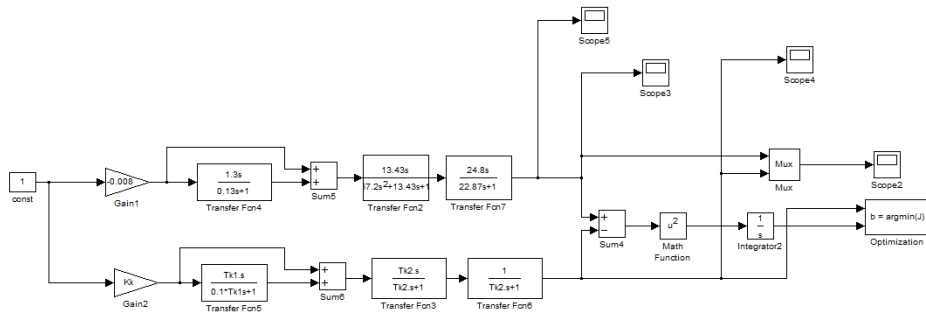


Рис. 3.18 – Схема моделювання СКЛ відносно НФРКЛ

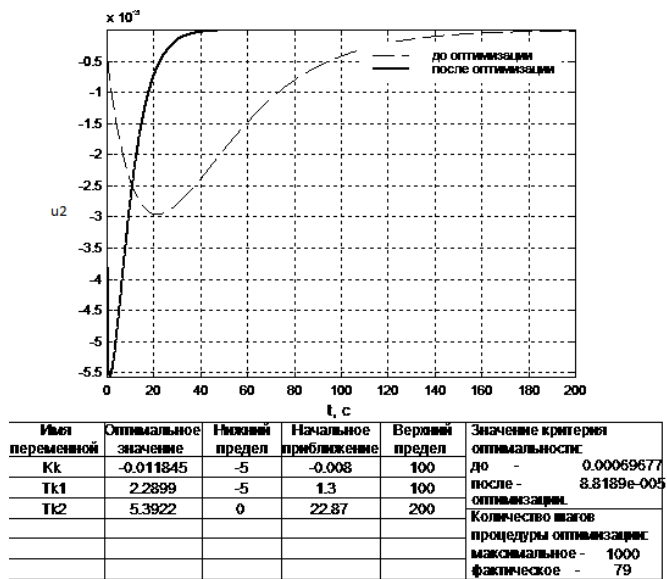


Рис. 3.19 – Результати моделювання СКЛ відносно НФРКЛ

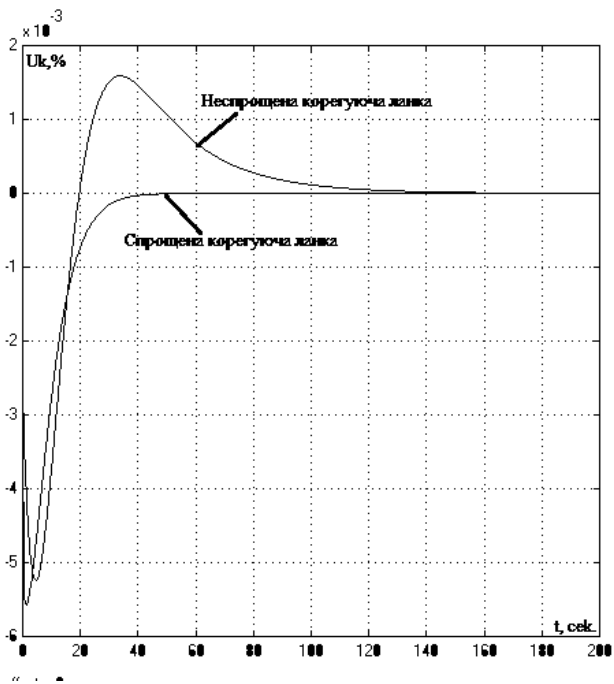


Рис. 3.20 – Перехідні характеристики розрахункового та спрощеного коригуючого зв'язку

Структурна схема моделювання САР ПДТ наведена на рис. 3.21, а схема модулювання ОК – на рис. 3.22.

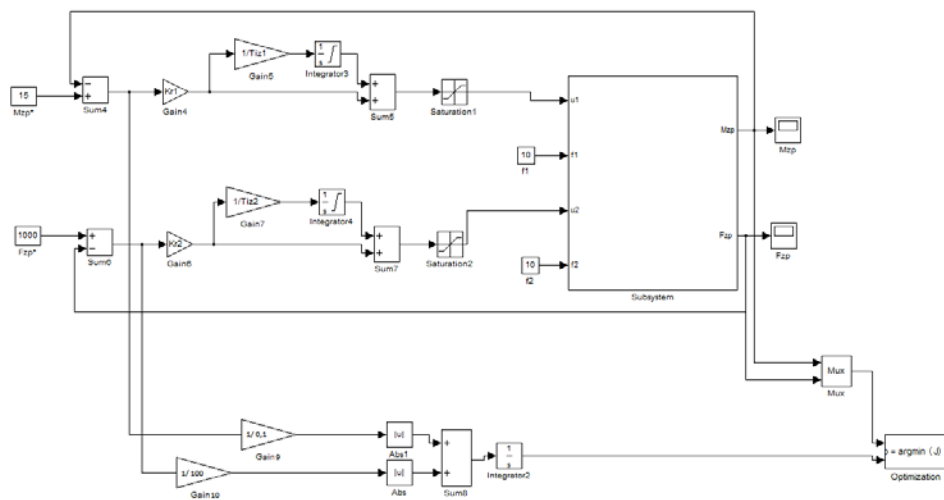


Рис. 3.21 – Структурна схема моделювання САР ПДТ

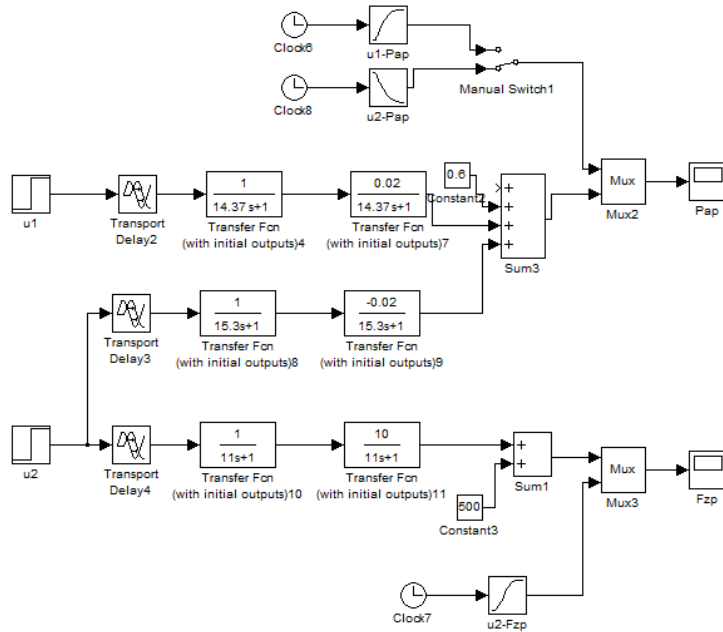
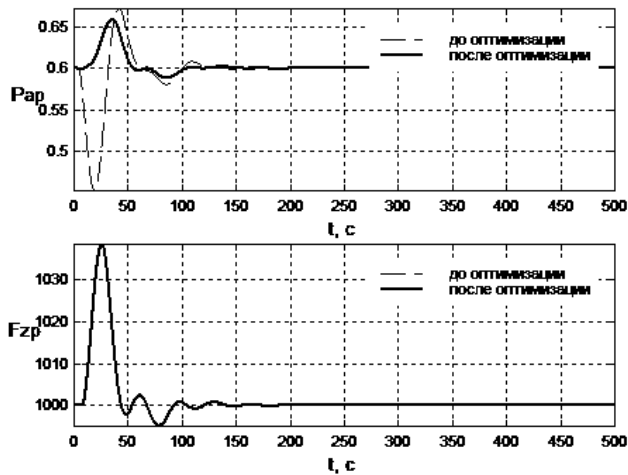


Рис. 3.22 – Структурна схема моделювання ОК

Результати оптимального параметричного синтезу САР ПДТ наведено на рис. 3.23.



Имя переменной	Оптимальное значение	Нижний предел	Начальное приближение	Верхний предел	Значение критерия оптимальности:
Kr1	133.2748	0	116.9515	500	до - 876.9514
Tz1	14.0508	0	13.4333	500	после - 872.3849
Tr1	8.742	1	4.2654	500	оптимизации
Kk	2.9146e-005	-5	-0.012	500	Количество шагов процедуры оптимизации
Tk1	3.5354	-5	2.29	500	максимальное - 1000
Tk2	2.7551	-5	5.4	500	фактическое - 151

Рис. 3.23 – Результати оптимізації параметрів САР ПДТ

Система називається грубою (у сенсі Андронова) у тому випадку, якщо при малих варіаціях її параметрів, властивості системи, зокрема, показники якості, також змінюються мало. Система вважається грубою, якщо при варіації її параметрів зберігається насамперед стійкість САР. Для практики промислових систем керування грубість системи фактично означає її працездатність. Негрубі системи в промисловості непрацездатні.

Серед параметрів ОК найчастіше варіації підлягають коефіцієнт передачі та час запізнення. На практиці параметри ОК можуть варіювати в значних межах і залежать від реальних виробничих умов. В рамках курсової роботи з навчальною метою слід задавати варіації параметрів ОК $20\pm 10\%$.

У рамках курсової роботи аналіз грубості САР слід проводити також з використанням спеціалізованого програмного забезпечення, розробленого на кафедрі АВП, яке активізується з натисканням кнопки "Грубість САР".

У даній курсовій роботі грубість проводилась при варіації часу запізнення ОК.

Результати аналізу на грубість показані на рис. 3.24 для САР ПДТ.

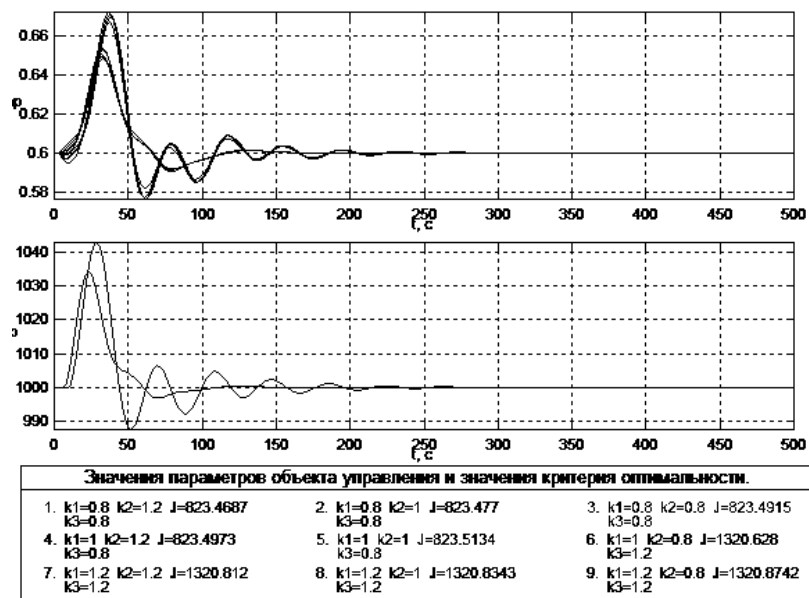


Рис. 3.24 – Результати перевірки САР ПДТ

Для оцінки САР на грубість в сталому режимі будемо використовувати схему моделювання, наведену на рис. 3.25. Результати моделювання наведені на рис. 3.26 і в таблиці 3.6.

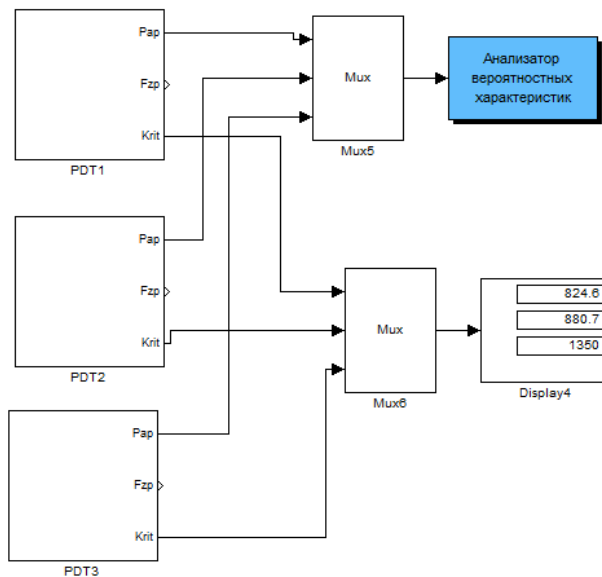


Рис. 3.25 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оцінки на грубість в сталих режимах

Таблиця 3.6 – Результати оцінки САР підвищеної динамічної точності на грубість в сталих режимах

САУ	Значення параметрів ОК		
	номінальні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»
Математичне очікування	0,6	0,6	0,6
Середньоквадратичне відхилення	0,0035	0,0033	0,0042
Середньоквадратичний період	211,1	228	190
Інтегральний критерій	880,7	824,6	1350

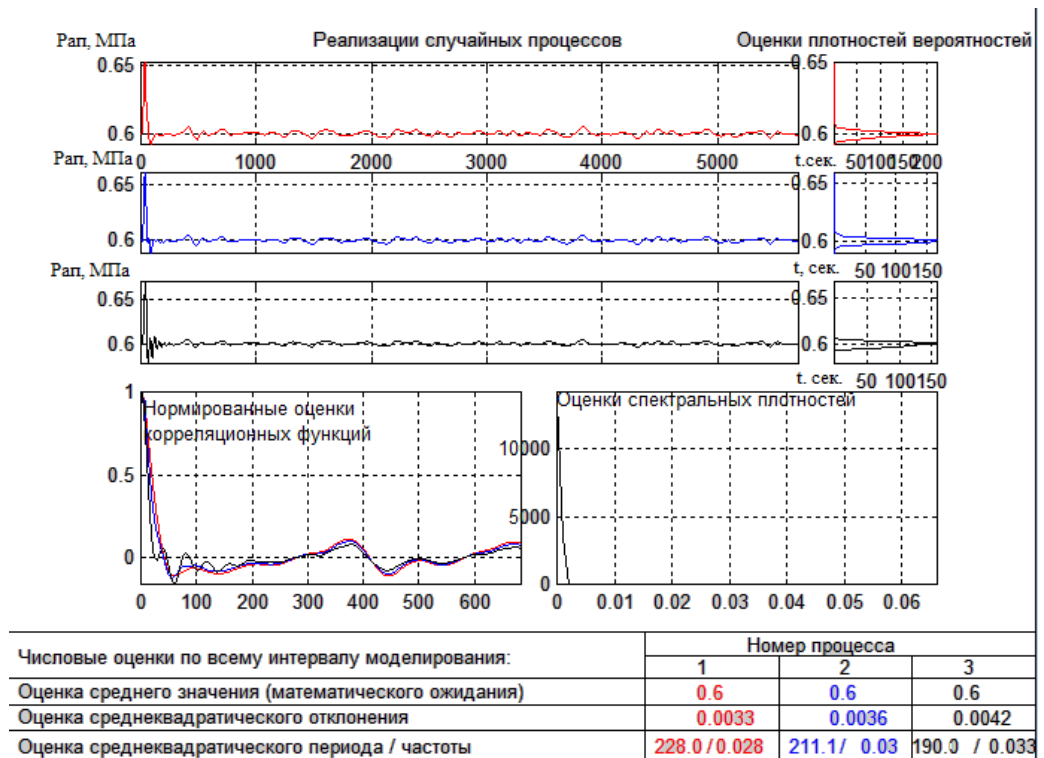


Рис. 7.26 - Результаты оцінки САР підвищеної динамічної точності на грубість в сталих режимах

Для порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності розроблено структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.27. В якості САР базової структури розглядається САР з ПІД-регуляторами. Результати порівняння наведені на рис. 3.28 і в таблиці 3.7.

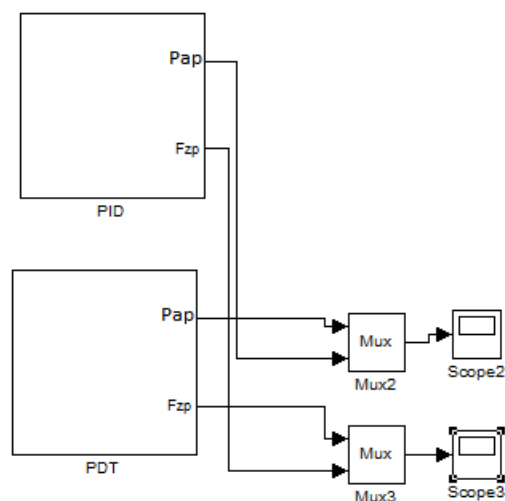


Рис. 3.27 – Структурна схема моделювання для порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

Таблиця 3.7 – Результати порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

САР	ΔR_{apmax} , %	$T_{пп}R_{ap}$, с	$\Delta F_{зпmax}$, кг/год.	$T_{пп}F_{зп}$, с	J
ПД	0	48	37	0	862
ПДТ	0	46	37	0	613

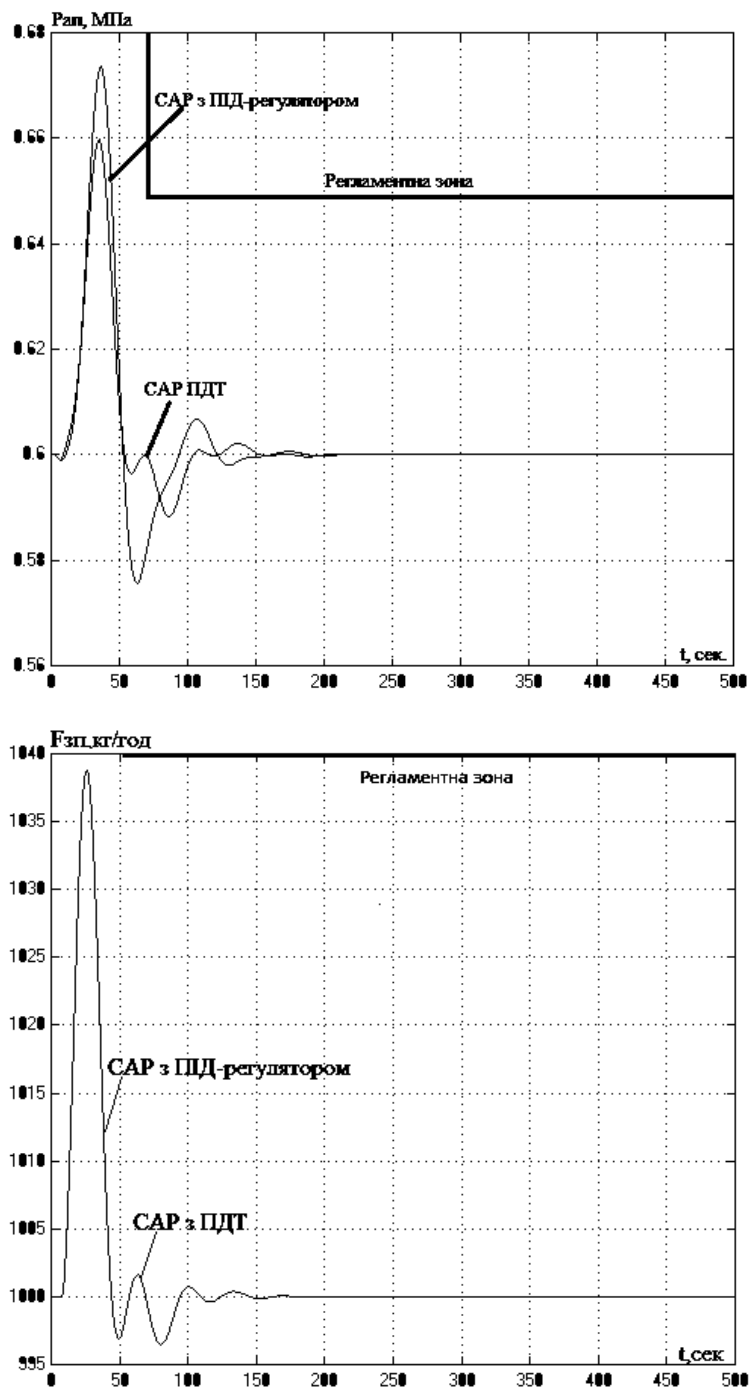


Рис. 3.28 – Результати порівняння САР з ПД-регулятором та САР ПД

З таблиці 3.7 можна зробити висновки, що САР ПДТ краща, ніж САР з ПД-регулятором, за усіма показниками якості.

Для порівняння якості роботи в сталих режимах САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності розроблено структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.29. Результати порівняння наведені на рис. 3.30 і в таблиці 3.8.

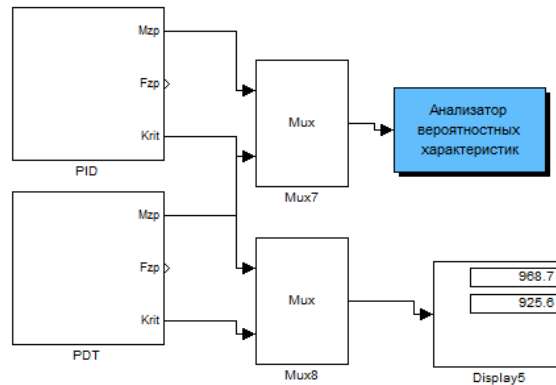


Рис. 3.29 – Структурна схема моделювання для порівняння якості роботи в сталих режимах САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

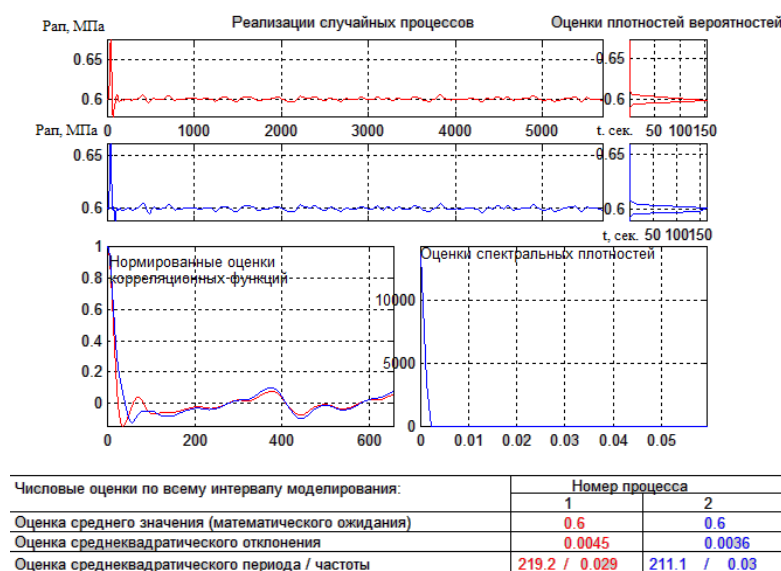


Рис. 3.30 – Результаты порівняння якості роботи в сталих режимах САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

Таблиця 3.8 – Результати порівняння якості роботи в сталих режимах САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

САУ	Значення параметрів ОК	
	Базової структури	ПДТ
Математичне очікування	0,6	0,6
Середньоквадратичне відхилення	0,0045	0,0036
Середньоквадратичний період	219,2	211,1
Інтегральний критерій	968,7	925,6

3.4 Висновки за розділом

Сформульовано гранично-припустимі вимоги до якості регулювання процесом гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання.

Синтез САР проведено в два етапи. На першому етапі розрахунок налаштувань регулятора проводився за інженерними методиками Копеловича, а на другому етапі було застосовано оптимальний параметричний синтез. В якості критерію використано інтегральний модульний критерій.

В якості базового алгоритму регулювання будемо використовувати ПД-алгоритм.

У результаті синтезу САР підвищеної динамічної точності ми одержали систему, показники якості якої задовольняють гранично-припустимим значенням. Підвищення динамічної точності САР з ПД-регулятором дало покращення показників якості. Система виявилась грубою, а значить – працездатною.

Для технічної реалізації контуру регулювання тиску в апараті доцільно використовувати автономну САР.

РОЗДІЛ 4 КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ І РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ
ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ
ГІДРОТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ КРУПИ В КАМЕРІ ПРОПАРЮВАННЯ

4.1 Конкретизація задачі логічного керування процесом гідротермічної
обробки крупи в камері пропарювання

В якості об'єкта модернізації системи автоматизації обрана ділянка
гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання, схема якої зображена
на рис. 4.1.

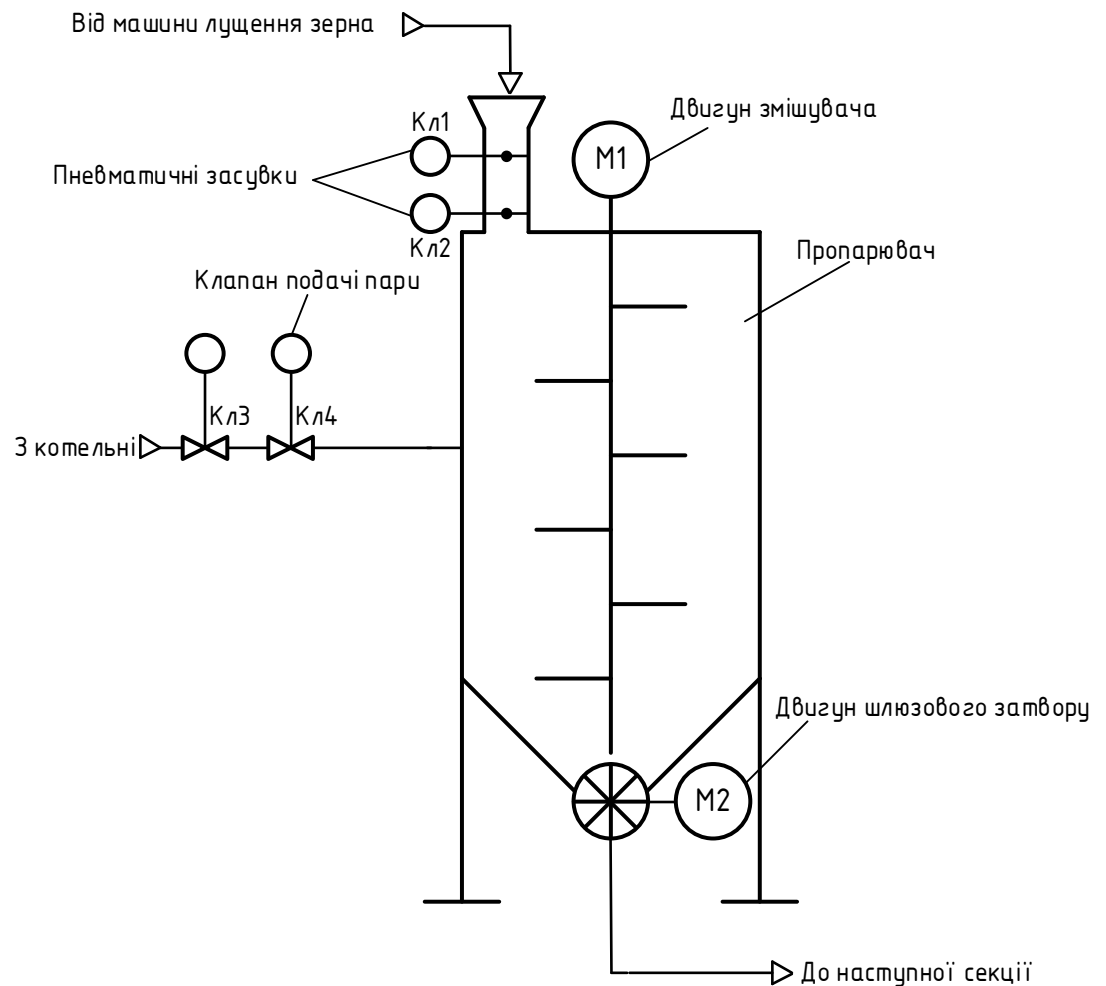


Рис. 4.1 – Апаратурно-технологічна схема процесу гідротермічної
обробки крупи в камері пропарювання

Опис процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання

Гідротермічну обробку зерна проводять з метою поліпшення його технологічних властивостей, створення оптимальних умов для переробки зерна, а також для отримання круп, що відповідають найвищим вимогам по своїй живильній цінності і органолептичним характеристикам. Застосування ГТО призводить до збільшення виходу крупи від 5 до 12%, поліпшення її споживчих властивостей, збільшення харчової цінності та стійкості при зберіганні.

Залежно від виду зерна і асортименту крупи, яка виробляється, застосовують різні методи ГТО. Для гречки, вівса застосовують гаряче кондиціювання із застосуванням пари.

Пропарювання зерна рекомендують проводити при тиску пари 0,3 ... 0,7 МПа тривалістю 5 хвилин у результаті чого вологість зерна збільшується на 3 ... 6 %. Після цього зерно відволожують (10 ... 30 хв).

Після пропарювання зерно сушать при температурі близько 150 °С, що зменшує міцність оболонок і вони краще відділяються від ядра.

Завершують процес ГТО охолодженням зерна до температури, яка відрізняється від температури наколишнього середовища не більше ніж на 5 ... 8 °С, яке сприяє додатковому зневодженню оболонок і покращує їх відділення.

В процесі ГТО використовують зволожувачі, пропарювачі і сушарки. Застосування зазначеного обладнання позитивно впливає як на технологічні показники зерна, так і на органолептичні і поживні характеристики готової продукції - крупи. У крупи вирівнюється колір, вона швидше розварюється до однорідної консистенції. Зволожувач призначений для внесення вологи в зерно в процесі його гідротермічної обробки. Зволожувач встановлюється в підготовчих відділеннях підприємств по зберіганню і переробці зерна.

Як вихідні дані розглянемо такі характеристики обладнання (рис. 4.1):

Пневматичні засувки Кл1, Кл2 – запірні (дискретної дії); клапан подачі пару Кл3 – запірний (дискретної дії); клапан Кл4 – регулюючий клапан подачі пари (аналогової дії); електродвигун М1 – двигун змішувача (дискретної дії); електродвигун М2 – двигун шлюзового затвору, що керується через частотний

перетворювач, що забезпечує аналогове (плавне) керування. Також використаємо дані попередніх досліджень з ідентифікації ОК та САР.

Перед початком технологічного процесу необхідно перевірити передпускові умови, до яких відносяться наступні: наявність пари на вході в пропарювача ($P_{\text{пар}} > P_{\text{пар min}}$). Потім необхідно сповістити персонал про початок ведення технологічного процесу. Для цього використовується звукова сигналізація.

Спочатку потрібно відкрити пневматичну засувку №1 Кл1, потім – через витримку часу 10с відкрити пневматичну засувку №2 Кл2, потім, якщо спрацьовує умова $I_{\text{зерн}} > I_{\text{зерн min}}$ відкрити запірний клапан подачі пари Кл3, та після цього запустити контур регулювання тиску пари в апараті.

Для регулювання тиску пари в апараті та виведення її на режим необхідно відкрити клапан подачі пари на 60%, якщо $P_{\text{ап}} > P_{\text{ап min}}$, тоді ввімкнеться КР $P_{\text{ап}}$.

Після запуску контуру регулювання тиску пари в апараті необхідно ввімкнути двигун живильника М1, та після цього запустити контур регулювання витрат пропареного зерна $F_{\text{зп}}$.

Для регулювання витрат пропареного зерна та виведення її на режим необхідно запустити двигун М2 шлюзового затвору на 60%, якщо $F_{\text{зп}} > F_{\text{зп min}}$, тоді ввімкнеться КР $F_{\text{зп}}$.

Для зупинки процесу необхідно спочатку закрити пневматичну засувку Кл1, потім через витримку часу 10с закрити пневматичну засувку Кл2, запірний клапан подачі пари Кл3 та регулюючий клапан подачі пари Кл4, вимкнути двигун живильника М1 та через витримку часу вимкнути двигун шлюзового затвору М2.

При виникненні аварії (переповнення пропарювача $I_{\text{зерн}} > I_{\text{зерн max}}$) треба закрити пневматичну засувку Кл1, закрити пневматичну засувку Кл2, запірний клапан подачі пари Кл3 та регулюючий клапан подачі пари Кл4, вимкнути двигун живильника М1 та вимкнути двигун шлюзового затвору М2.

4.2 Формалізація регламентів, розробка алгоритмів автоматичного логічного керування пуском ділянки в роботу та нормальною зупинкою

На основі наведеного вище опису роботи процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання формалізуємо у вигляді блок-схеми регламент функціонування установки у режимах пуску та технологічної зупинки, та складемо відповідні алгоритми керування.

На рис. 4.2 наведено блок-схему регламенту функціонування в режимі пуску, а на рис. 4.3 – блок-схему регламенту функціонування в режимі нормальної зупинки.

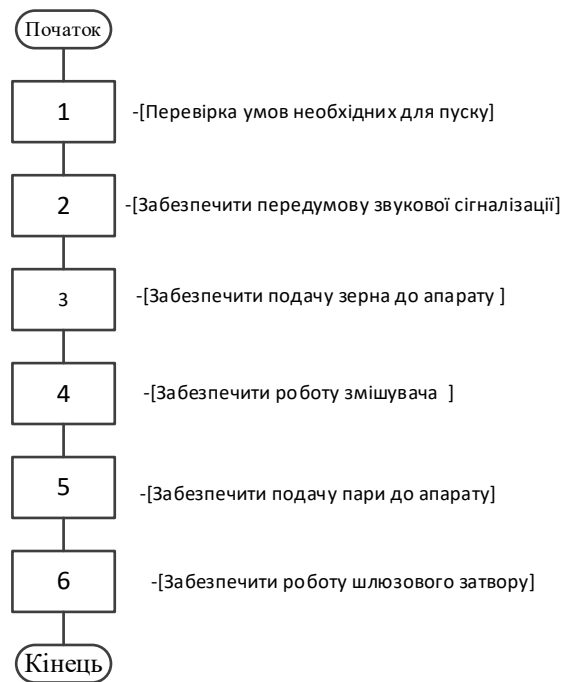


Рис. 4.2 – Блок-схема регламенту функціонування процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання при його пуску

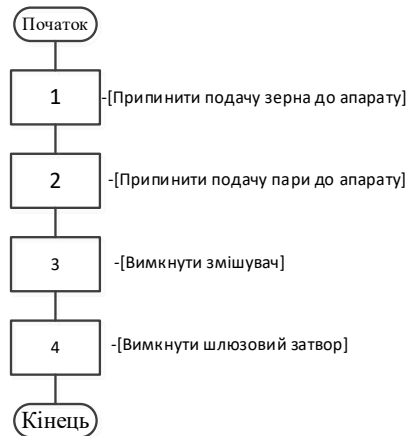


Рис. 4.3 – Блок-схема регламенту функціонування за зупинкою процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання

Розроблені алгоритми керування наведено на рис. 4.4, та 4.5 у вигляді блок-схем алгоритмів керування пуском та зупинкою процесом, що розроблені згідно до регламенту функціонування.

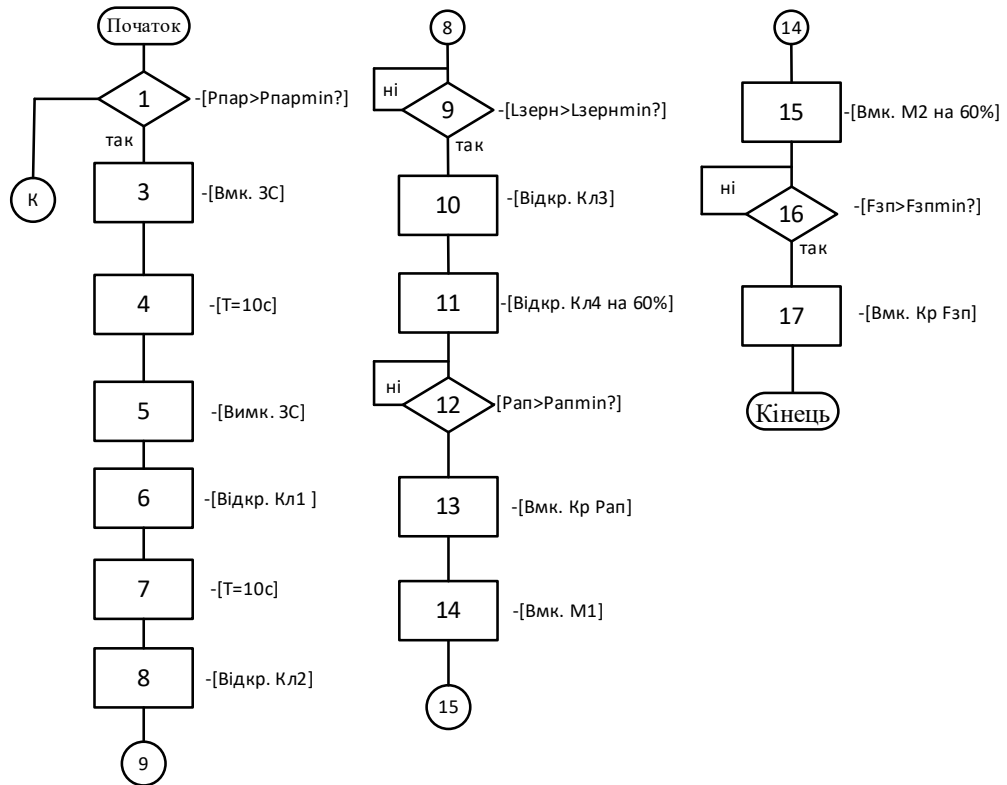


Рис. 4.4 – Блок-схема алгоритму пуску процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання

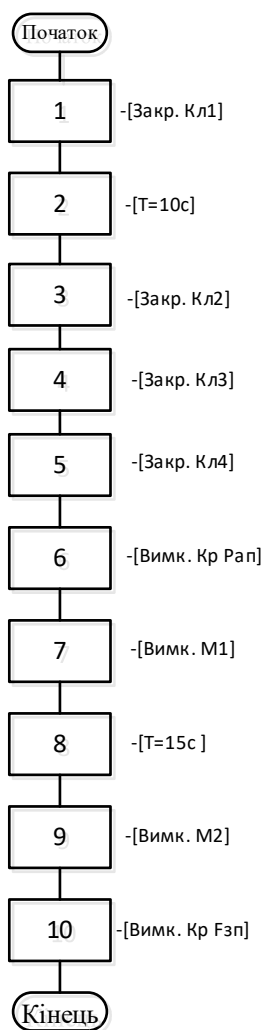


Рис. 4.5 – Блок-схема алгоритму зупинки процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання

4.3 Формалізація регламентів та розробка алгоритмів логічного керування для підсистем зупинки в нештатних ситуаціях

На основі наведеного вище опису роботи процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання формалізуємо у вигляді блок-схеми регламент функціонування установки у режимі зупинки в нештатних ситуаціях, та складемо відповідний алгоритм керування.

На рис. 4.6 наведено блок-схему регламенту функціонування в режимі аварійної зупинки.



Рис. 4.6 – Блок-схема регламенту функціонування процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання

Розроблений алгоритм керування наведено на рис. 4.7 у вигляді блок-схеми алгоритму керування аварійної зупинки, що розроблена згідно до регламенту функціонування.

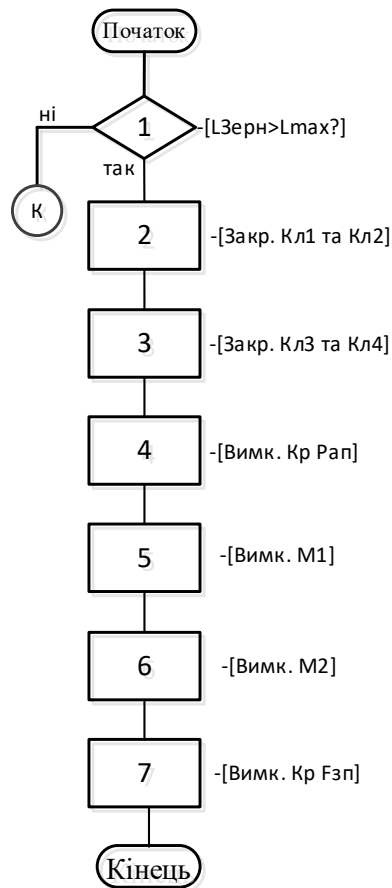


Рис. 4.7 – Блок-схема алгоритму аварійної зупинки процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання

4.4 Реалізація алгоритмів логіко-програмного керування в виді функціональної логічної схеми

Формування умов необхідних для запуску здійснюється елементом 5 за сигналами від датчику тиску пари 1, який приходить у систему через АЦП 2, а також від кнопки ПУСК 3, які приходять у схему через ДЦП 4. Підхоплення сигналу пуску здійснює RS-тригер 6. Після появи логічної «1» на виході RS-тригера включиться передпускова сигналізація (ППЗС). Витримку часу забезпечує таймер 7 (10 с). Формує сигнал на ППЗС елемент 8 «&» через ЦДП 9. По завершенні дії ППЗС від таймера 7 починає свою роботу програма гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання

Сигнал «1» надходить на вхід «S» RS-тригера 10, який через ЦДП 11 та ЕПП 12 відкриває пневматичну засувку №1(Кл1). Далі сигнал «1» через витримку часу що забезпечує таймер 13(10сек) надходить на хід «S» RS-тригера 14, який через ЦДП 15 та ЕПП 16 відкриває пневматичну засувку №2(Кл2).

Далі Сигнал «1» з виходу RS-тригера 14 потрапляє елемент 17 «&» на який також приходить Сигнал «1» при виконанні умови $20 \text{ Ізерн} > \text{Ізерн}_{\text{мін}}$ через ЦДП 21, після цього надходить на вхід «S» RS-тригера 18, який через ЦДП 19 відкриває запірний клапан подачу пари(Кл2). Після відкриття запірного клапану подачу пари(Кл2) ввімкнеться контур регулювання тиску пари в апараті КР Рап..

Контур регулювання пари в апараті (КР Рап) є традиційним. КР Рап спочатку формує керуючий сигнал 60% через ЦАП 29 на Кл2 після того, як сигнал «1» з'явиться на вході «S» RS-тригера 22. А після того, як сигнал з датчика РЕ та АЦП 24 буде дорівнювати $\text{Рап} > \text{Рап}_{\text{мін}}$, про що засвідчить сигнал «1» з порогового елемента 26, сигнал «1» з «&» 27 (на який також приходить сигнал 1 з елемента 22), підключає вихід КР Рап до виходу u_1 регулятора 25.

Після включення контуру регулювання тиску в апараті Сигнал «1» надходить на вхід «S» RS-тригера 49, який через ЦДП 50 ввімкне двигун змішувача(М1). Після ввімкнення двигуна змішувача(М1) ввімкнеться контур регулювання витрати пропареного зерна КР Фзп.

Контур регулювання витрати пропареного зерна (КР Фзп) також є традиційним. КР Фзп спочатку формує керуючий сигнал 60% через ЦАП 37 на М2 після того, як сигнал «1» з'явиться на вході «S» RS-тригера 30. А після того, як сигнал з датчика FE та АЦП 32 буде дорівнювати $\text{Фзп} > \text{Фзп}_{\text{мін}}$, про що засвідчить сигнал «1» з порогового елемента 34, сигнал «1» з «&» 35 (на який також приходить сигнал 1 з елемента 30), підключає вихід КР Фзп до виходу u_2 регулятора 33.

Щоб здійснити штатну зупинку технологічного процесу необхідно сигнал «1» від кнопки «Стоп» 38 через ДЦП 39 та елемент «1» 42 подати на

вхід «R» RS-тригера 6, після чого на його виході з'явиться «0», а через 10 с (через таймер – елемент 7) «0» з'явиться на всіх елементах, що підключені до 6, при цьому всі RS-тригера будуть готові до скидання «1» зі своїх виходів за приходом сигналу «1» на їхні «R» входи. Сигнал «1» з'явиться на «R» RS-тригера 10 який закрий пневтичну засувку №1(Кл1), далі через витримку часу що забезпечує таймер 44(10сек), Сигнал «1» з'явиться на «R» RS-тригерах 14, 18, 22, 49, які закриють пневматичну засувку №2(Кл2), запірний клапан подачі пари(Кл3), регулюючий клапан подачі пари (Кл4), та вимкне двигун змішувача(М1), після вимкнення двигун змішувача(М1) Сигнал «1» потрапляє на таймер який через витримку часу(15с) вимикає двигун шлюзового затвору(М2).

Щоб здійснити аварійну зупинку технологічного процесу(переповнення пропарювача) необхідно сигнал 1 від датчика рівня зерна в пропарювачі 40 через ДЦП 41 та елемент «1» 42 подати на вхід «R» RS-тригера 6, після чого на його виході з'явиться «0», а «0» з'явиться на всіх елементах, що підключені до 6, при цьому всі RS-тригера будуть готові до скидання «1» зі своїх виходів за приходом сигналу «1» на їхні «R» входи. Сигнал «1» з'явиться на «R» RS-тригерах 10,14, 18, 22, 49 які закриють пневтичну засувку №1(Кл1), закриють пневматичну засувку №2(Кл2), запірний клапан подачі пари(Кл3), регулюючий клапан подачі пари (Кл4), та вимкне двигун змішувача(М1), після вимкнення двигун змішувача(М1) та двигун шлюзового затвору(М2).

Функціонально логічна схема керування процесом складена, як описано вище, та наведена на рис. 4.8.

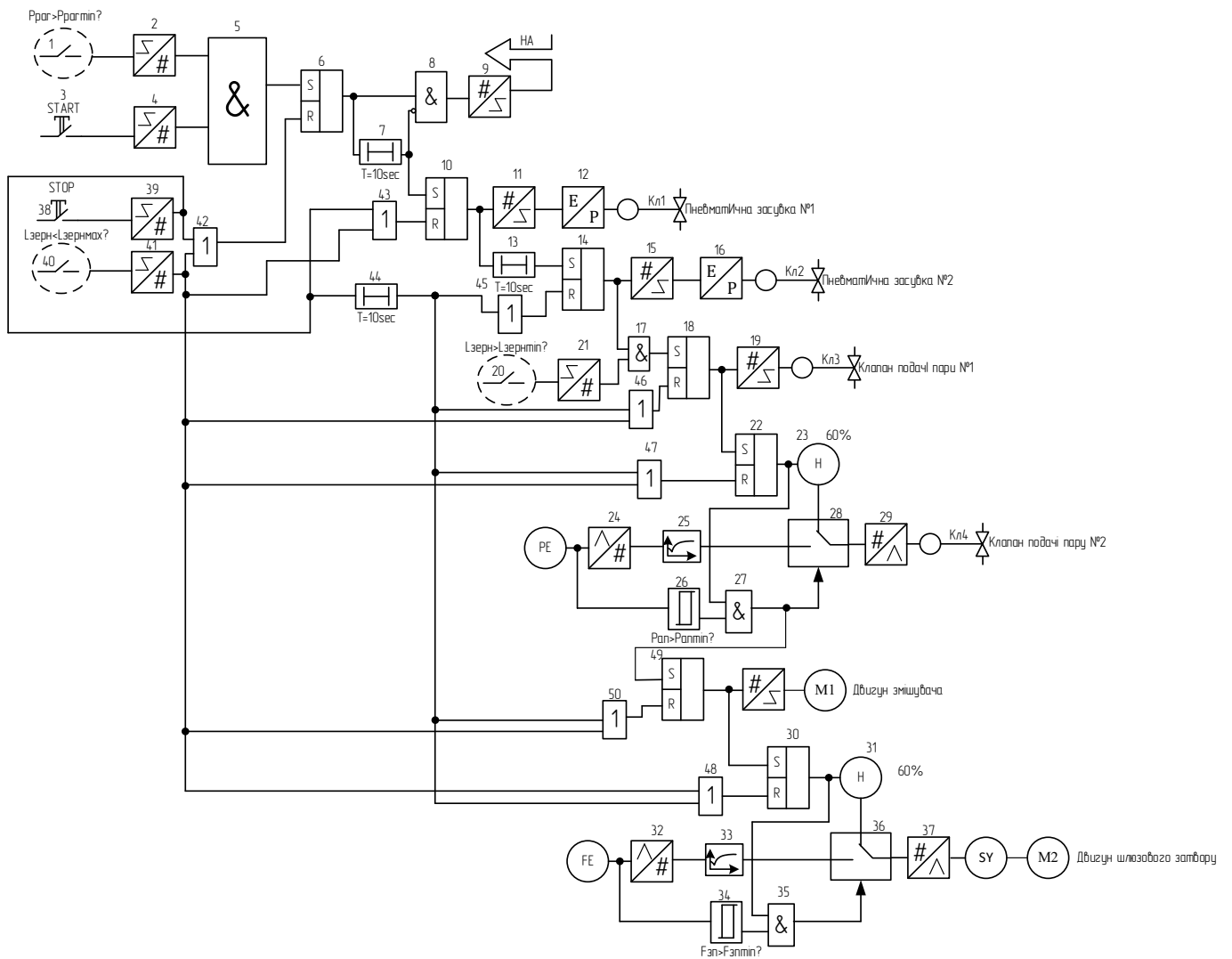


Рис. 4.8 – Функціонально логічна схема керування процесом гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання

4.5 Імітаційне моделювання роботи алгоритмів логічного керування

Моделювання роботи САК здійснюється в середовищі MATLAB, використані характеристики ОК та параметри налаштування регуляторів ідентичні здобутим у попередніх розділах 2 та 3. На рис. 4.9 наведена схема моделювання роботи САК, реалізована в середовищі MATLAB, відповідно до функціональної логічної схеми, описаної вище.

Усі сигнали контрольованих змінних, а також ті, що керують клапанами, двигуном електропривода та «START» і «STOP», «Аварія» подаються на Score через MUX_dr_score 1, схема котрого наведена на рис. 4.10.

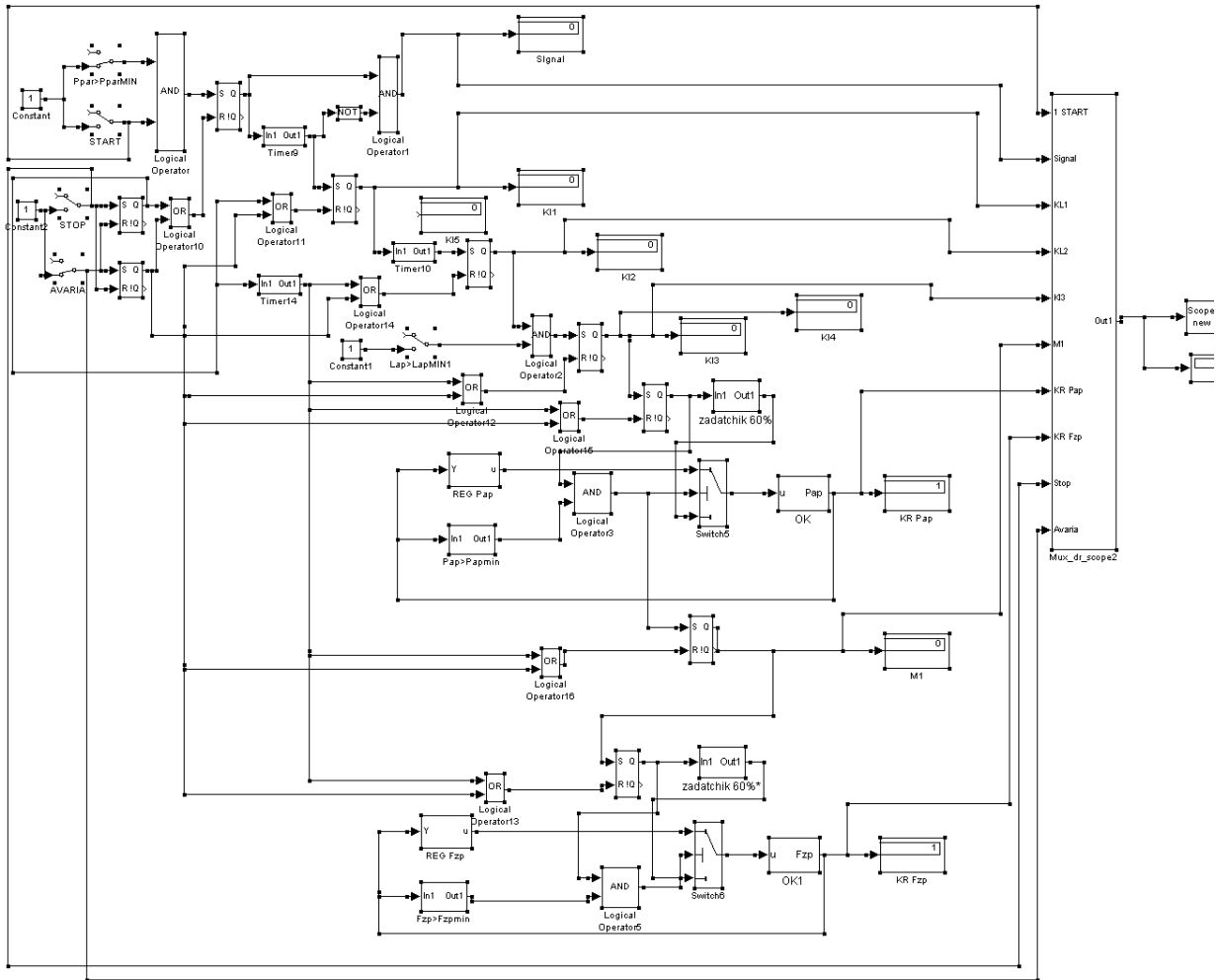


Рис. 4.9 – Схема моделювання роботи алгоритму запуску, технологічної та аварійної зупинки процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання , яка реалізована в MATLAB

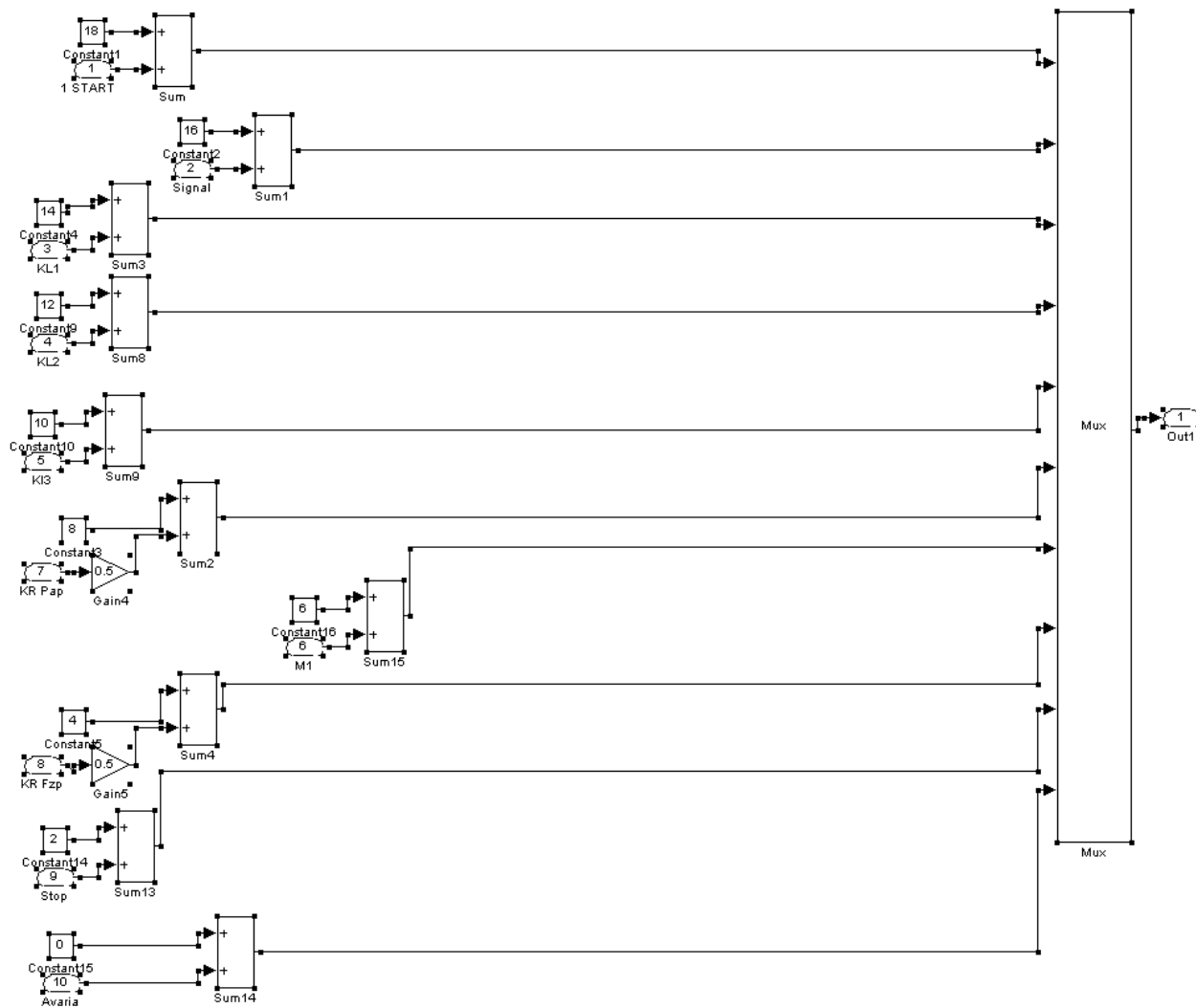


Рис. 4.10 – Схема моделювання роботи блоку MUX_dr_score 1, що реалізована в MATLAB

На рис. 4.11 наведені часові графіки змінних (діаграма роботи системи керування), що відображають реальну послідовність керування пристроями.

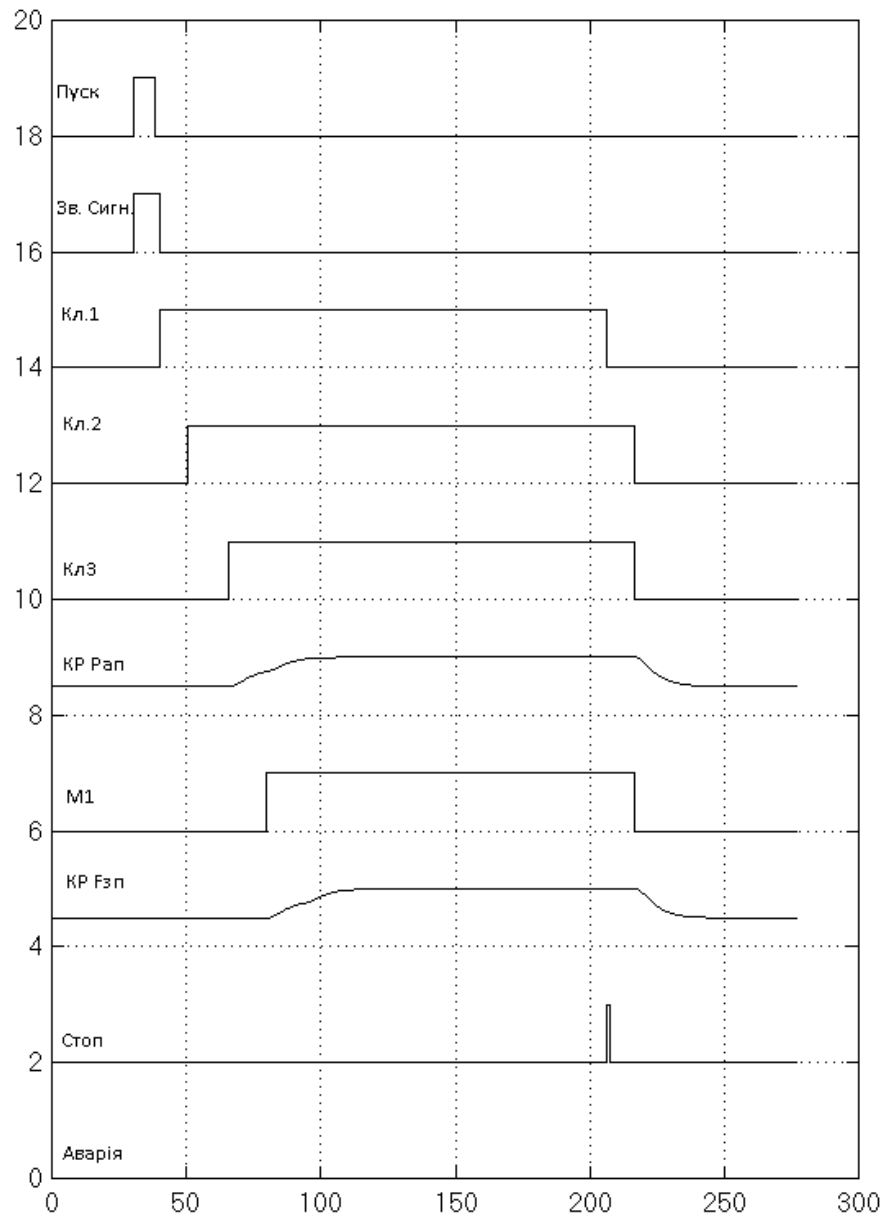


Рис. 4.11 – Діаграма роботи системи керування в штатному режимі:

На рис. 4.12 наведено діаграму роботи системи керування в аварійному режимі, що відповідає переповненню пропарювача. Цей аварійний режим виникає після спрацювання датчика рівня зерна у пропарювачі, що визиває потребу вимкнути електрообладнання без втручання оператора, згідно до алгоритму керування. При цьому кнопка STOP оператором не натискається.

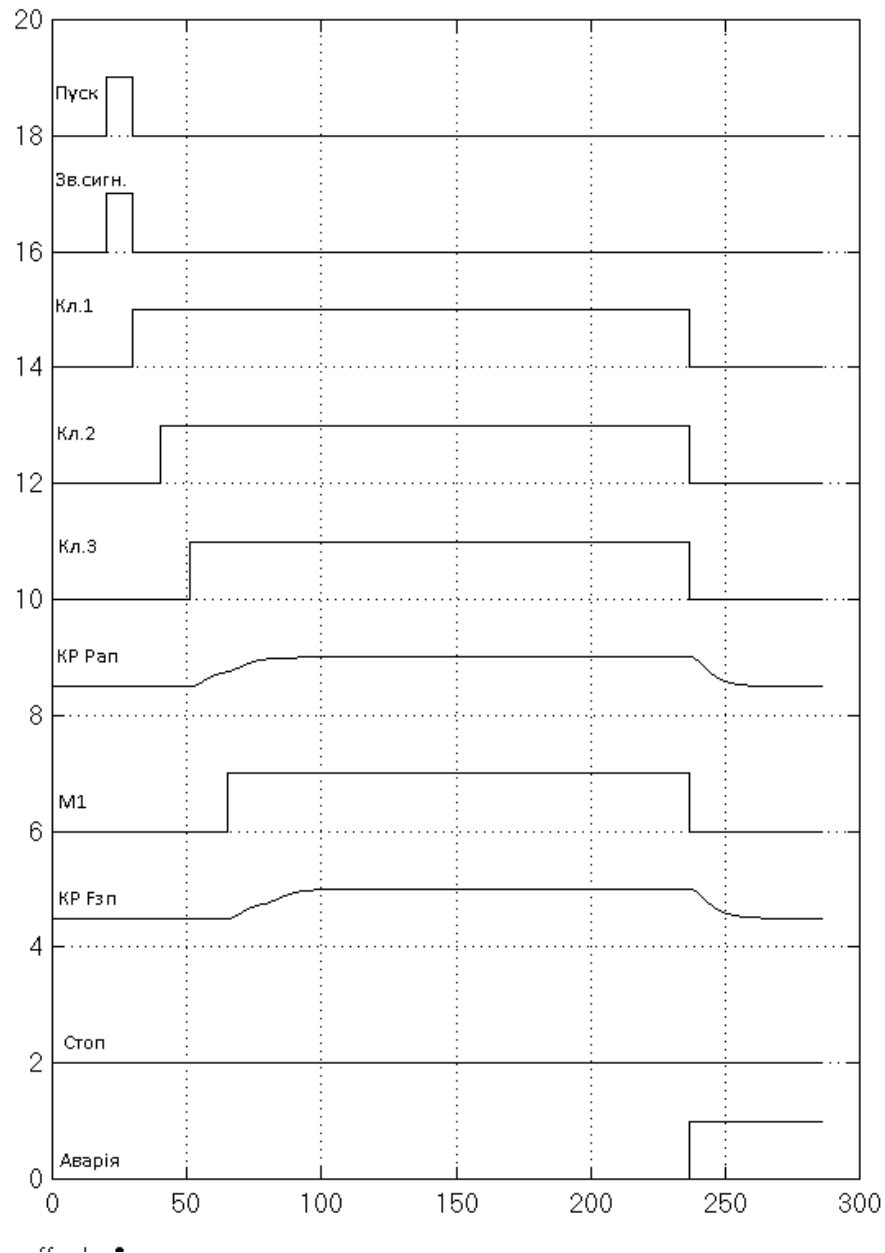


Рис. 4.12 – Діаграма роботи системи керування в аварійному режимі:

4.6 Висновки за розділом

В результаті виконання розділу для даного технологічного процесу були складені регламенти функціонування та алгоритми пуску-зупинки системи гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання в штатному та аварійному режимах, розроблена функціональна логічна схема, побудована її реалізація в середовищі MATLAB.

Можемо сказати про те, що алгоритми керування, які були розроблені, а також характеристики, отримані при моделюванні роботи САК, достатньо точно співпадають з реальними технологічними процесами.

У результаті моделювання ми вдосконалися, що складені алгоритми автоматичного логічного керування та функціонально логічна схема керування процесом гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання виконані правильно.

РОЗДІЛ 5 ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ЗМІННИ ПРОЦЕСУ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ КЕРУЮЧИХ ВПЛИВІВ

5.1 Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення

Пропарювач ПЗ-3 фірми SIMO знаходиться у закритому від дощу та снігу приміщенні. Приміщення в якому знаходиться пропарювач ПЗ-3 фірми SIMO не є пожежо- і вибухонебезпечним приміщенням, з температурою +10 – +30°C та вологістю 40 – 70%.

Датчики та виконавці механізми розміщуються безпосередньо на трубопроводах та всередині пропарювача. Інше технічне обладнання системи керування та АРМ оператора-технолога знаходиться в окремому приміщенні, яке не є пожежо- та вибухонебезпечним з температурою 20 - 25 °C та вологістю 50 - 60%.

«Правила улаштування електроустановок» визначають:

відкрита, або зовнішня, електроустановка

Електроустановка, не захищена будівлею від атмосферного впливу. Електроустановки, захищені тільки навісами, сітчастими огорожами тощо, розглядають як зовнішні

закрита, або внутрішня, електроустановка.

Електроустановка, розміщена всередині будівлі, що захищає її від атмосферного впливу

Щодо безпеки ураження людей електричним струмом розрізняють:

а) приміщення без підвищеної безпеки, в яких відсутні умови, що створюють підвищену або особливу безпеку;

б) приміщення з підвищеною безпекою, які характеризуються наявністю в них однієї з умов, що створює підвищену безпеку:

1) вологості або струмопровідного пилу;

2) струмопровідної підлоги (металева, земляна, залізобетонна, цегляна тощо);

3) високої температури;

4) можливості одночасного дотику людини до металоконструкцій будівель, технологічних апаратів, механізмів тощо, які мають з'єднання з землею, з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування – з іншого;

в) особливо небезпечні приміщення, які характеризуються наявністю однієї з умов, що створює особливу небезпеку:

1) особливої вологості;

2) хімічно активного або органічного середовища;

3) одночасно двох або більше умов підвищеної небезпеки

Відповідно до введеної класифікації електрообладнання пропарювача слід віднести до закритої електроустановки, приміщення до місця з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом.

Згідно з «Правилами будови електроустановок. електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» клас вибухонебезпечних зон характерних виробництв та категорія і група вибухонебезпечної суміші повинні відображатися в нормах технологічного проектування або в галузевих переліках виробництв з вибухопожежонебезпеки.

Газо-, пароповітряні вибухонебезпечні середовища утворюють вибухонебезпечні зони класів 0, 1, 2, а пилоповітряні — вибухонебезпечні зони класів 20, 21, 22.

Вибухонебезпечна зона класу 0 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище присутнє постійно або протягом тривалого часу.

Вибухонебезпечна зона класу 0 згідно з вимогами даного розділу може мати місце тільки в межах корпусів технологічного обладнання.

Вибухонебезпечна зона класу 1 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище може утворитися під час нормальної роботи (тут і далі нормальна

робота — ситуація, коли установка працює відповідно до своїх розрахункових параметрів).

Вибухонебезпечна зона класу 2 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище за нормальних умов експлуатації відсутнє, а якщо воно виникає, то рідко і триває недовго. У цих випадках можливі аварії катастрофічних розмірів (розрив трубопроводів високого тиску або резервуарів значної місткості) не повинні розглядатися під час проектування електроустановок.

Частоту виникнення і тривалість вибухонебезпечного газо-, пароповітряного середовища визначають за правилами (нормами) відповідних галузей промисловості.

Вибухонебезпечна зона класу 20 — простір, у якому під час нормальної експлуатації вибухонебезпечний пил у вигляді хмари присутній постійно або часто в кількості, достатній для утворення небезпечної концентрації суміші з повітрям, і (або) простір, де можуть утворюватися пилові шари непередбаченої або надмірної товщини. Звичайно це має місце всередині обладнання, де пил може формувати вибухонебезпечні суміші часто і на тривалий термін.

Вибухонебезпечна зона класу 21 — простір, у якому під час нормальної експлуатації ймовірна поява пилу у вигляді хмари в кількості, достатній для утворення суміші з повітрям вибухонебезпечної концентрації.

Ця зона може включати простір поблизу місця порошкового заповнення або осідання і простір, де під час нормальної експлуатації ймовірна поява пилових шарів, які можуть утворювати небезпечну концентрацію вибухонебезпечної пилоповітряної суміші.

Вибухонебезпечна зона класу 22 — простір, у якому вибухонебезпечний пил у завислому стані може з'являтися не часто й існувати недовго або в якому шари вибухонебезпечного пилу можуть існувати й утворювати вибухонебезпечні суміші в разі аварії.

Ця зона може включати простір поблизу обладнання, що утримує пил, який може вивільнитися шляхом витoku і формувати пилові утворення.

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де розміщується пропарювач, слід віднести до вибухонебезпечної зони класу 21 — простір, у якому під час нормальної експлуатації ймовірна поява пилу у вигляді хмари в кількості, достатній для утворення суміші з повітрям вибухонебезпечної концентрації.

«Правила будови електроустановок. електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» встановлюють:

Допустимий рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних машин (стаціонарних і пересувних) у залежності від класу вибухонебезпечної зони:

Клас вибухонебезпечної зони	Рівень вибухозахисту і ступінь захисту
0	Особливо вибухобезпечне електрообладнання
1	Вибухобезпечне електрообладнання
2	Підвищеної надійності проти вибуху
20	Особливо вибухобезпечне і вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)
21	Вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)
22	Без засобів вибухозахисту (за умови дотримання вимог п. 4.6.9). Ступінь захисту IP54 Частини машин, що дають іскріння (наприклад, контактні кільця), повинні бути замкнені в оболонку зі ступенем захисту IP54

Допустимий рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів (стаціонарних, пересувних і переносних) у залежності від класу вибухонебезпечної зони:

Клас вибухонебезпечної зони	Рівень вибухозахисту і ступінь захисту
0	Особливо вибухобезпечне електрообладнання
1	Вибухобезпечне електрообладнання
2	Підвищеної надійності проти вибуху. Допускається застосовувати електрообладнання без засобів вибухозахисту для апаратів і приладів, що не іскрять і не нагріваються вище +80° С в оболонці зі ступенем захисту не менше IP54
20	Особливо вибухобезпечне і вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)
21	Вибухобезпечне електрообладнання (за умови дотримання вимог п. 4.6.9)
22	Без засобів вибухозахисту (за умови дотримання вимог п. 4.6.9) оболонки зі ступенем захисту не менше IP54

Для пропарювача слід вибирати ступінь захисту оболонки електричних машин та ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів – 21 – «Вибухобезпечне електрообладнання».

«Правила будови електроустановок. електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» визначають:

Пожежонебезпечна зона класу П-I — простір у приміщенні, у якому знаходиться горюча рідина, яка має температуру спалаху більше $+61^{\circ}\text{C}$.

Пожежонебезпечна зона класу П-II — простір у приміщенні, у якому можуть накопичуватися і виділятися горючий пил або волокна.

Пожежонебезпечна зона класу П-IIIa — простір у приміщенні, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.

Пожежонебезпечна зона класу П-III — простір поза приміщенням, в якому знаходяться горюча рідина, яка має температуру спалахнення понад $+61^{\circ}\text{C}$ або тверді горючі речовини.

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де розміщується пропарювач, слід віднести до пожежонебезпечної зони класу П-II — простір у приміщенні, у якому можуть накопичуватися і виділятися горючий пил або волокна.

«Правила будови електроустановок. електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» встановлюють:

Мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин у залежності від класу пожежонебезпечної зони:

Вид установки та умови роботи	Ступінь захисту оболонок для пожежонебезпечних зон класу			
	П-I	П-II	П-IIIa	П-III
Установки стаціонарні, які іскрять або мають частини, що іскрять за умовами роботи	IP44	IP54	IP44	IP44
Установки стаціонарні, які не іскрять і не мають частин, що іскрять за умовами роботи	IP44	IP44	IP44	IP44
Установки на пересувних механізмах (крани, тельфери тощо), які іскрять або не іскрять за умовами роботи	IP44	IP54	IP44	IP44

Мінімальний ступінь захисту оболонок електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів у залежності від класу пожежонебезпечної зони:

Вид установки та умови роботи	Ступінь захисту оболонок для пожежо-небезпечних зон класів			
	П-I	П-II	П-IIIa	П-III
Установки стаціонарні або на пересувних механізмах (крани, тельфери тощо), які іскрять за умовами роботи	IP44	IP54	IP44	IP44
Установки стаціонарні або на пересувних механізмах, які не іскрять за умовами роботи	IP44	IP44	IP44	IP44
Шафи для розміщення апаратів і приладів	IP44	IP54 IP44*	IP44	IP44
Коробки наборів затискачів силових і вторинних кіл	IP44	IP44	IP44	IP44

Для пропарювача слід вибирати мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин, електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів не менше IP44.

5.2 Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання

Для виміру тиску пари в апараті використовується перетворювач тиску Danfoss MBS 3200 зовнішній вигляд показано на рис. 5.1, технічні характеристики на рис. 5.2.



Рис. 5.1 – Зовнішній вигляд перетворювача тиску Danfoss MBS 3200

Technical data

Table 1: Performance (EN 60770)

Accuracy (incl. non-linearity, hysteresis and repeatability)		$\leq \pm 0.5\%$ FS (typ.)
		$\leq \pm 1.0\%$ FS (max.)
Non-linearity BFSL (conformity)		$\leq \pm 0.2\%$ FS
Hysteresis and repeatability		$\leq \pm 0.1\%$ FS
Thermal error band (compensated temperature range)		$\leq \pm 1.0\%$ FS
Response time	Liquids with viscosity < 100 cSt	< 4 ms
	Air and gases (MBS 3250)	< 35 ms
Overload pressure (static)		6 x FS (max. 1500 bar)
Burst pressure		6 x FS (max. 2000 bar)
Power-up time		< 50 ms
Durability, P: 10 – 90% FS		> 10 x 10 ⁶ cycles

Table 2: Electrical specifications

Nom. output signal (short-circuit protected)	4 – 20 mA	0 – 5 V, 1 – 5 V, 1 – 6 V DC	0 – 10 V, 1 – 10 V DC	10 – 90% of supply voltage
Supply voltage [U _s], polarity protected	9 – 32 V DC	9 – 32 V DC	15 – 32 V DC	4.5 – 5.5 V DC
Supply – current consumption	–	≤ 5 mA	≤ 8 mA	≤ 5 mA at 5 V DC
Supply voltage dependency	< 0.1% FS / 10 V		< 0.05% FS / 10 V	–
Ratiometricity	–	–	–	< 0.05% FS / 4.5 – 5.5 V
Output limitation	22.4 mA	0-5 V: 5.75 V, 1-5 V: 5.6 V, 1-6 V: 6.75 V	0-10 V: 11.5 V	\approx supply voltage
Sink / Source	–	–	< 1 mA	–
Load [R _L] (load connected to 0 V)	R _L \leq (U _s - 9 V) / 0.02 A	R _L \geq 10 k Ω	R _L \geq 15 k Ω	R _L \geq 10 k Ω at 5 V DC

Table 3: Environmental conditions

Sensor operating temperature (depending on gasket material)	4 – 20 mA 10 – 90% of supply voltage 0 – 5 V, 1 – 5 V, 1 – 6 V, 0 – 10 V			-40 – 100 °C -40 – 125 °C
Media temperature range				-40 – 125 °C
Ambient temperature range (depending on electrical connection)				See Electrical connections
Compensated temperature range				0 – 100 °C
Transport/storage temperature range				-50 – 125 °C
EMC – Emission				EN 61000-6-3
EMC – Immunity				EN 61000-6-2
Insulation resistance				> 100 m Ω at 500 V DC
Mains frequency test				Based on SEN 361503
Vibration stability	Sinusoidal		15.9 mm-pp, 5 Hz – 25 Hz 20 g, 25 Hz – 2 kHz	IEC 60068-2-6
	Random		7.5 g _{rms} , 5 Hz – 1 kHz	IEC 60068-2-64
Shock resistance	Shock		500 g / 1 ms	IEC 60068-2-27
	Free fall		1 m	IEC 60068-2-32
Enclosure (depending on electrical connection)				See Electrical connections

Рис. 5.2 – Технічні характеристики перетворювача тиску Danfoss MBS 3200

Схема підключення перетворювача тиску Danfoss MBS 3200 показана на рис. 5.3.

Type code	A1	G1	A3	E3	A8	C8
	EN 175301-803-A, Pg 9	AMP Econoseal J series (male)	2 m screened cable	EN 60947-5-2 M12 x 1-4-pin	AMP Superseal 1.5 series (male)	ISO 15170-A1-3-2 Sn Bayonet
Ambient temperature	-40 – 100 °C	-30 – 100 °C	-30 – 85 °C	-25 – 90 °C	-30 – 100 °C	-40 – 100 °C
Ambient temperature 0 – 5 V, 1 – 5 V, 1 – 6 V, 0 – 10 V, 1 – 10 V output	-40 – 125 °C	-30 – 105 °C	-30 – 85 °C	-25 – 90 °C	-30 – 100 °C	-40 – 125 °C
Ambient temperature Ratiometric output, 10-80% of supply voltage	-40 – 125 °C	-30 – 105 °C	-30 – 85 °C	-25 – 90 °C	-30 – 100 °C	-40 – 125 °C
Enclosure (IP protection fulfilled together with mating connector)	IP65	IP67	IP67	IP67	IP67	IP67/IP69
Material	Glass filled polyamid, PA 6.6	Glass filled polyamid, PA 6.6 ^{III}	Polyolfin cable with PE shrinkage tubing	Nickel plated brass, CuZn/Ni	Glass filled polyamid, PA 6.6 ^{III}	Glass filled polyamid PA 6.6 ^{III}
Electrical connection, 4 – 20 mA output (2 wire)	Pin 1: + supply Pin 2: + supply Pin 3: not used Earth: Connected to MBS enclosure	Pin 1: + supply Pin 2: + supply ^{III} Pin 3: not used	Brown wire: + supply Black wire: + supply Red wire: not used Orange: not used Screen: not connected to MBS enclosure	Pin 1: + supply Pin 2: not used Pin 3: not used Pin 4: + supply	Pin 1: + supply Pin 2: + supply Pin 3: not used	Pin 1: + supply Pin 2: + supply Pin 3: not used Pin 4: not used
Electrical connection, 0 – 5 V, 1 – 5 V, 1 – 6 V, 0 – 10 V, 1 – 10 V output	Pin 1: + supply Pin 2: + supply Pin 3: + output Earth: Connected to MBS enclosure	Pin 1: + supply Pin 2: + supply ^{III} Pin 3: + output	Brown wire: + output Black wire: + supply ^{III} Red wire: not used Orange: not used Screen: not connected to MBS enclosure	Pin 1: + supply Pin 2: not used Pin 3: + output Pin 4: + supply ^{III}	Pin 1: + supply Pin 2: + supply ^{III} Pin 3: + output	-
Electrical connection Ratiometric output, 10-90% of supply voltage	Pin 1: + supply Pin 2: + supply ^{III} Pin 3: output ^{III} Earth: Connected to MBS enclosure	Pin 1: + supply Pin 2: + supply ^{III} Pin 3: + output	Brown wire: output Black wire: + supply Red wire: + supply ^{III} Orange wire: not used Screen: not connected to MBS enclosure	Pin 1: + supply Pin 2: not used Pin 3: output Pin 4: + supply ^{III}	Pin 1: + supply Pin 2: + supply Pin 3: output ^{III}	Pin 1: + supply Pin 2: + output Pin 3: Ventilation Pin 4: + supply ^{III}

Рис. 5.3 – Схема підключення перетворювача тиску Danfoss MBS 3

Для вимірювання витрат пропареного зерна на виході із пропарювача використовується система виміру витрат MFI3000, вих. 4-20 мА. живл. 24В, потуж. 2 Вт, ступінь захисту датчика IP65, діапазон: 0-30 т/год, основна похибка 0,02%, вибухозахист Ex та , зовнішній вигляд показано на рис. 5.4 , технічні характеристики на рис. 5.5.



Рис. 5.4 – Зовнішній вигляд системи виміру витрат MFI3000

4. Technical Data

Flow Sensor MFS3000-Ex

Medium touched parts:	Stainless steel 1.4307 or 1.4571 (optional) and PA 6.6GF30 (MFS3000-K-Ex*) or PTFE (MFS3000-T-ExD)
Process connection:	Welding branch
Housing material:	Stainless steel 1.4307 or 1.4571 (optional)
Protection class:	IP 65
Transmit frequency range:	24.150 ... 24.250 GHz
Transmit power:	12.7 dBm

ATEX:

Thermal data	
Permissible ambient temperature:	-10 to +75°C (MFS3000-Ex*)
Permissible process temperature:	-20 to +80°C (MFS3000-K-ExD and MFS3000-K-ExG) -20 to +100°C (MFS3000-T-ExD)
Surface temperature:	max. 135°C

Electrical data (maximum values)

Current supply circuit (clamps 3 and 4)	
Voltage	16 ... 24 VDC
Current	25 mA
RS485 interface current circuit (clamps 1 and 2)	
Voltage	6 VDC
Current	50 mA

Applied standards:

EN IEC 60079-0:2018, EN 60079-7:2015, EN 60079-31:2014

Transmitter MFI3000

Analog output	
Current:	0 ... 20 mA
Output value:	max. 22 mA
Load:	max. 750 Ω
Accuracy:	≤ 0,02 % of the final value
Load influence:	≤ 0,01 %
Response time:	≤ 150 ms
Damping:	filter 1 st order for (0,1 - 99)s; adjustable
Voltage:	0 ... 10 V
Output value:	max. 11 V
Load:	min. 50 kΩ
Accuracy:	≤ 0,02 % of the final value
Load influence:	≤ 1 % at 50 kΩ
Response time:	≤ 150 ms
Damping:	filter 1 st order for (0,1 - 99)s; adjustable
Pulse output	
Operational mode:	Open-Collector, open-circuit principle
Switching capacity:	≤ 1.4 W
Switching voltage:	≤ 28 VDC
Switching current:	≤ 50 mA
Pulse duration:	≤ 50 ms

Alarm relay

Operational mode:	normally opened or normally closed
Alarm function:	MAX, MIN oder sensor fault
Fail-LED/red:	permanent light → limiting value alarm
Relay contact:	1 opener or closer
Switching capacity:	max. 30 VA at AC, max. 15 W at DC
Switching voltage:	max. 30 VDC or 125 VAC
Switching current:	max. 0,5 A
Min-Contact voltage:	10 mVDC
Min-Contact current:	10 μA
Contact material:	AgPd+Au or PdRu+Au

Interfaces

USB:	Front socket connection (USB-B mini) for PC/Notebook
RS485:	2400, 4800, 9600 or 19200 bps, device address: 1-255

Power supply

Type:	energy supply class A, C.3 or D.C.4 by IEC 654 part 2
AC:	24 VAC, -20% to +20 %, 50-60 Hz
DC:	24 VDC, -20 % to +30 %
Power consumption:	max. 2 W
Power-LED/green:	good condition of the supply

Electromagnetic Compatibility

This product meets the specifications according to the EMC directive 2014/30/EU.

More Data

Fail-LED/red:	slow blink → no sensor connection fast blink → FRAM-memory error
Form of construction:	Housing for 35 mm DIN rail (EN 50022)
Dimension:	22.5 x 99 x 114.5 mm
Ambient temperature:	-10 to +60°C
Protection class:	IP 20
Weight:	150 g

Рис. 5.5 – Технічні характеристики виміру витрат MFI3000

Схема підключення датчика розрідження показана на рис. 5.6.

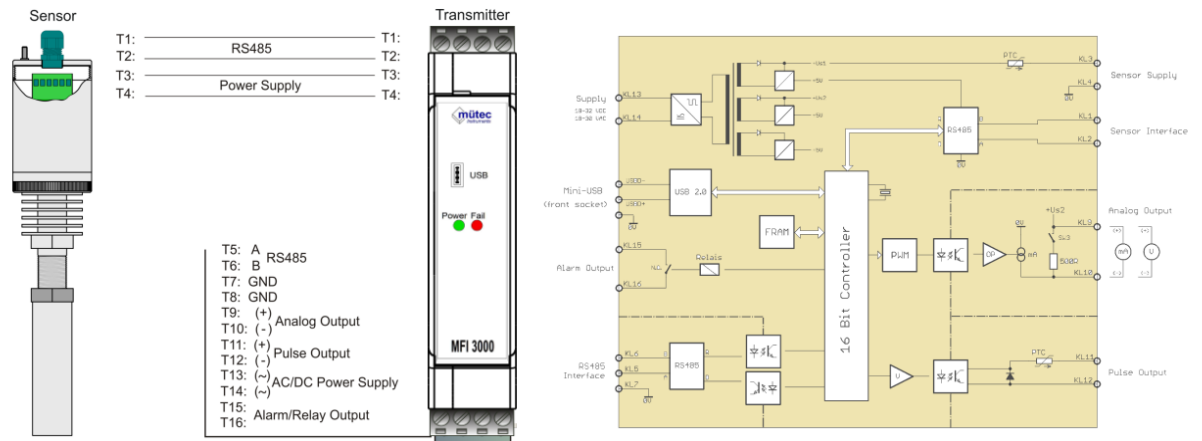


Рис. 5.6 – Схема підключення виміру витрат MFI3000

Для сигналізації рівня зерна у пропарювачі з використовується датчик рівня NIVOCONT R фірми Nivelko, максимальний тиск – 25 бар (2.5 МПа), клас захисту IP67, живл. 24В, потуж. 2 Вт (рис. 5.7).



а)

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Модель	Стандартная	С удлиненной трубкой	С удлиненным кабелем
Глубина погружения	207 мм	0,3 ... 3 м	1 ... 20 м
Материал смачиваемых частей	1.4571		вибрирующая часть: 1.4571 трос: с ПВХ покрытием
Технологическое соединение	1 1/2" BSP; 1 1/2" NPT согласно коду заказа		
Выход	см. данные по выводу		
Диапазон температур	см. температурные характеристики		
Макс. давление	макс. 25 бар (2.5 МПа)		макс. 6 бар (0.6 МПа)
Макс. нагрузка	Сила: 500 Н Крутящий момент: 100 Нм	–	45 кН
Плотность среды*	мин. 0,05 кг/дм³ (макс. размер гранул: 10 мм)		
Инерционность (регулируемая)	≤ 2 сек или 5 сек ± 1,5 сек		
Электропитание	20...255 В ПерТ/ПостТ, Ек: 20...250 В пер.т., 20...50 В пост.т.		
Электропотребление	≤ 2,5 ВА / 2 Вт		
Материал корпуса	Металл: окрашенный алюминий Пластик: ПБТ-стекловолоконно (DuPont®)		
Электрическое соединение	2 пластиковые кабельные сальники M20x1,5 для кабеля Ø от 6 до 12 мм Для в/з моделей: 2 пластиковые кабельные сальники M20x1,5, II 2GD Ex e IIIEx ID для кабеля Ø от 10 до 15 мм 2 клеммные коробки для проводов с макс. сечением 1,5 мм²		
Электрозащита	Класс 1.		
Защита от пыли и влаги	IP67		
Сертификат для взрывозащищенных моделей**	ATEX II 2 D ID A20/A21 IP67 T (см. границы темп. диапазоны для взрывозащ. моделей)		
Вес	Металлический корпус: 1,88 кг Пластиковый корпус: 1,5 кг	1,88 кг + 1,4 кг/м 1,5 кг + 1,4 кг/м	1,88 кг + 0,6 кг/м 1,5 кг + 0,6 кг/м

* Зависит от внутреннего диаметра и размера гранул среды. ** Только с металлическим корпусом.

б)

Рис. 5.7 – Датчик рівня NIVOCONT R а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

Схема підключення датчику рівня показана на рис.5.8.



Рис. 5.8 – Схема підключення датчику рівня NIVOCONT R

Для контроля граничного тиску застосовано реле тиску типу RT фірми Danfoss, діапазон: 0-1 кПа, ступінь захисту IP 66 , зовнішній вигляд показано на рис. 5.9 , технічні характеристики на рис. 5.10.



Рис. 5.9 – Зовнішній вигляд реле тиску Danfoss

Наружная температура воздуха	От -50 до +70 °С	
Контактная система	Однополюсной перекидной контакт	
Допустимая электрическая нагрузка на контактную систему из AgCdO (сплав серебра)	Переменный ток	
	АС-1 омич. нагрузка	10А,400В ⁰
	АС-3 индукт. нагрузка	4А,400В
	АС-15 индукт. нагрузка	3А,400В ⁰
	Постоянный ток	
	DC – 13 нагрузка	12Вт,220В
Кабельные вводы	2 PG 13,5 для кабелей Ø 6 – 14 мм	
Класс защиты	IP 66 (для версий с ручным сбросом IP 54)	

Рис. 5.10 – Технічні характеристики реле тиску Danfoss

Схема підключення реле тиску Danfoss показана на рис. 5.11.

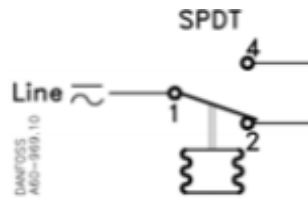


Рис. 5.11 – Схема підключення реле тиску типу RT фірми Danfoss

5.3 Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу

Для регулювання подачі пари до пропарювача використовується клапан Belimo H679N (рис. 5.12) у комплекті з електроприводом ВМ Belimo SV24A-TPC (рис. 5.14).

Залежно від підключення електроприводу клапан буде регулювати чи працювати на 2 положення (відкрити – закрити).



Рис. 5.12 – Зовнішній вигляд клапана Belimo H679N

Технические данные	
Диаметр	DN 80
Количество подключений	2-х ходовой
Номинальное давление	16 бар
Пропускная способность	90 м ³ /ч Kv5
Среда	пар, вода, этиленгликоль до 50%
Температура жидкости	-10... +150°C
Тип клапана	седельный
Тип присоединения	фланцевое

Рис. 5.13 – Технічні характеристики клапана Belimo H679N



Рис. 5.14 – Зовнішній вигляд електропривода BM Belimo SV24A-TPC

Технические характеристики

Напряжение питания	24 В ~, 50/60 Гц ; 24 В=
Диапазон напряжения питания	19,2...28,8 В~ / 21,6...28,8 В=
Расчетная мощность	3 ВА
Рабочий диапазон	0,5...10 В=
Сигнал обратной связи U	0,5...10 В= при макс 0,5 мА
Управляющий сигнал Y	0...10 В= (при вход. сопротивлении 100 кОм)
Электрическое подключение	Клеммная колодка (контакты 4 мм ²) и кабель: 1 м, 4 x 0,75 мм ²
Потребляемая мощность:	
- при движении	1,5 Вт
- при удержании	0,5 Вт
Функциональные данные	
Усилие	1000 Н

Рис. 5.15 – Технічні характеристики електропривода BM Belimo SV24A-TPC

Схема підключення електроприводу показана на рис. 5.16.



Рис. 5.17 – Схема підключення електропривода Belimo SV24A-TPC

Для прямого пуску електроприводів циклона-вивантажувача та машини для зволоження використані наступні пристрої: контактор «Schneider Electric» LC1K0901M7 (рис. 5.18) та автоматичний вимикач Schneider GV2ME143 (рис. 5.20). Для регулювання роботи електроприводу шлюзового затвору використано частотний перетворювач Elettronica Santerno Sinus K 4T, характеристики якого показано на (рис. 5.24), а схема підключення – на (рис. 5.25). Усі двигуни технологічного процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання мають напругу живлення 380В, 50 Гц та потужністю 3,5 кВт.



а)

Категорія застосування	AC-4
	AC-1
	AC-3
Список полюсів	3P
роль полюс contact composition	3 NO
номінальний робочий ток [Ie]	20 A 50 °C) на <= 440 V AC AC-1 для Ланцюг живлення
	9 A на <= 440 V AC AC-3 для Ланцюг живлення
	16 A 70 °C) на 690 V AC AC-1 для Ланцюг живлення
control circuit type	AC на 50/60 Гц
[Uc] control circuit voltage	220...230 V AC 50/60 Гц
мощність двигателя кВт	2,2 кВт на 220...230 V AC 50/60 Гц AC-3
	4 кВт на 380...415 V AC 50/60 Гц AC-3
	4 кВт на 440 V AC 50/60 Гц AC-3
	4 кВт на 480 V AC 50/60 Гц AC-3
	4 кВт на 500...600 V AC 50/60 Гц AC-3
	4 кВт на 660...690 V AC 50/60 Гц AC-3
	2,2 кВт на 400 V AC 50/60 Гц AC-4

б)

Рис. 5.18 – Контактор «Schneider Electric» LC1K0901M7: а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

Схема підключення контактора показана на рис. 5.19.

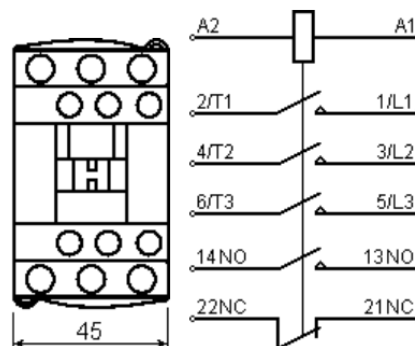


Рис. 5.20 – схема підключення контактора «Schneider Electric» LC1K0901M7



Опис полюсів	ЗР
Тип мережі	АС
Категорія використання	АС-3 в соответствии с IEC 60947-4-1 Категорія А в соответствии с IEC 60947-2
частота мережі	50/60 Гц в соответствии с IEC 60947-4-1
способ монтажа	35мм симетрична DIN-рейка clipped Panel screwed (with adaptor plate)
operating position	Любая позиция
мощность двигателя кВт	3 кВт на 400/415 V AC 50/60 Гц 4 кВт на 400/415 V AC 50/60 Гц 4 кВт на 500 V AC 50/60 Гц 5,5 кВт на 500 V AC 50/60 Гц
Здатність відключення	100 кА Icu на 230/240 V AC 50/60 Гц у відповідності до IEC 60947-2 100 кА Icu на 400/415 V AC 50/60 Гц у відповідності до IEC 60947-2 3 кА Icu на 690 V AC 50/60 Гц у відповідності до IEC 60947-2 10 кА Icu на 500 V AC 50/60 Гц у відповідності до IEC 60947-2

а)

б)

Рис. 5.20 – автоматичний вимикач Schneider GV2ME143: а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

Схема підключення автоматичного вимикача показана на рис. 5.21

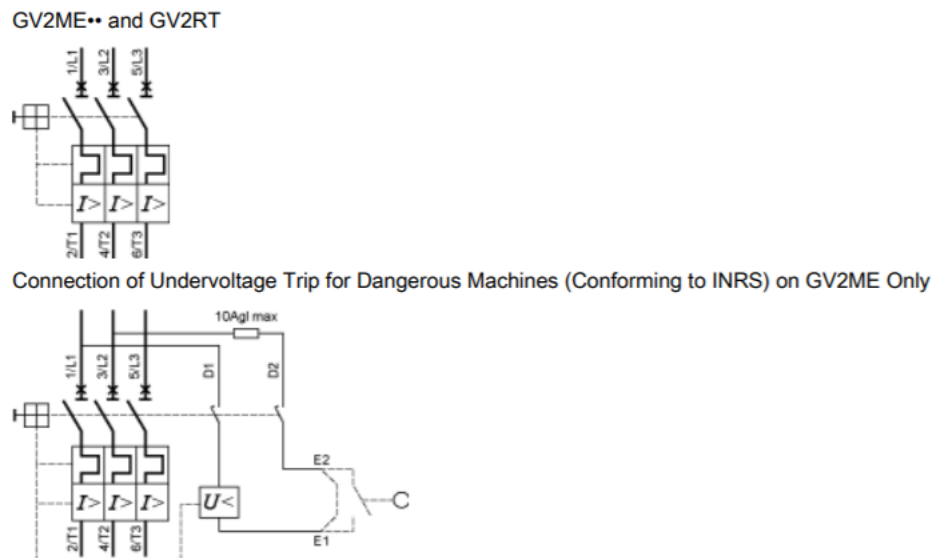


Рис. 5.21 – Схема підключення автоматичного вимикача Schneider GV2ME143



Частота мережі	0...400 Hz
МОНТАЖНА ОСНОВА	Plate, with specific accessories
	Рейка, with specific accessories
	Under contactor
tripping threshold	1,14 +/- 0,06 I _r в соответствии с IEC 60947-4-1
допоміжний контакт	1 NO + 1 NC
[I _{th}]условный тепловой поток воздуха	5 A для signalling circuit
permissible current	3 A на 120 V AC-15 для signalling circuit
	0,22 A на 125 V DC-13 для signalling circuit
номинальное напряжение [U ₀]	690 V AC 0...400 Hz для Ланцюг живлення в соответствии с IEC 60947-4-1
номинал защитного устройства	4 A gG для signalling circuit
	4 A BS для signalling circuit
[U _{imp}]номинальное импульсное выдерживаемое напряжение	6 кВ
phase failure sensitivity	Tripping current 130 % of I _r on two phase, the last one at 0
тип контролю	Червоий Кнопковий вимикач stop
	Блакитний Кнопковий вимикач reset

а) б)
 Рис. 5.22 – Реле перевантаження «Schneider Electric» LR3D146:
 а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

Схема підключення реле перевантаження показана на рис. 5.23

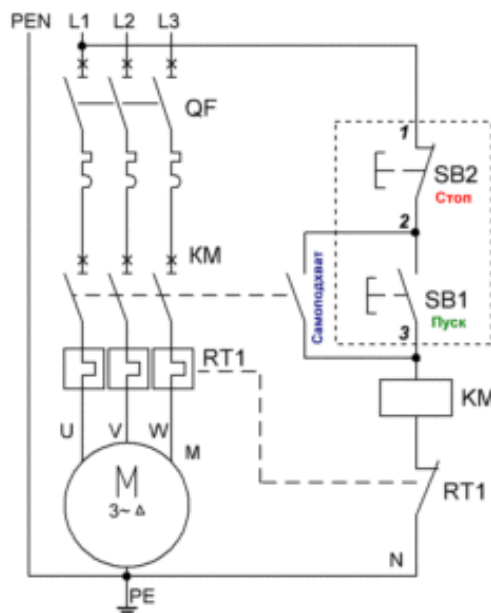


Рис. 5.23 – Схема підключення реле перевантаження Schneider LR3D146

УПРАВЛЕНИЕ	Метод управления	IPD – UFT – Векторное управление полем (ВЭМ с векторной модуляцией и формированием кривых V/f); VTC – Векторное управление моментом (Прямое векторное бездатчиковое управление моментом)
	Разрешение задания частоты/скорости	Дискретное задание: 0,1Гц (по IPD); 1 об/мин (по VTC) Аналоговое задание: 10 бит; разрешение: 0,01%, от максимальной выходной частоты / скорости
	Точность поддержания скорости	Регулирует система: 0,5% от номинальной скорости (2% для по IPD и UFT) Значител система (без датчика): $\pm 0,3\%$ от максимальной скорости
	Перегрузочная способность	До 2-кратного номинального тока в течение 120 с.
РАБОТА	Пусковой момент	до 200% Тном в течение 120 с и до 240% Тном при меньшей продолжительности
	Блокировка момента	Программируемый до 10 мин период времени
	Интерфейс команд	Кнопки управления, клавиатура или последовательная связь
	Аналоговые входы	4 аналоговых входа: 2 программируемых входа по напряжению, разрешение 10 бит 1 дополнительный вход по напряжению, разрешение 10 бит Аналоговые сигналы: 0-10 В, +/-10 В, 0 (4) -20 мА. Дискретные сигналы: от клавиатуры или через последовательный интерфейс
	Дискретные выходы	8 дискретных выходов IRL/IRP; 3 фиксированных (ENABLE, START, RESET) и 5 программируемых
	Предустановленные задания частоты / скорости	IPD: 15 программируемых заданий частоты +/-800Гц VTC: 7 программируемых заданий скорости +/-4000 об/мин UFT: 4 программируемых наборов скоростей (об/мин)
	Темпы разгона / торможения	4 + 4 темпа разгона/торможения, от 0 до 650 с; возможность установки пользовательских характеристик
	Выходные ступи	3 программируемых дискретных выходов с возможностью установки задержки включения / выключения 2 релевых выходов с переключающей группой контактов ~250В, #30В, 3А 1 выход с открытым коллектором, IRL/IRP #5mA, 80Vmax
	Источники питания	#24В +/-2%, 1000mA
	Питание потенциометров	+10В +/-2%, 10mA
ЗАЩИТА	Аналоговые выходы	2 программируемых аналоговых выхода, #0-10В и 0-4/20mA, разрешение 8 бит
	Сигналы тревоги	Тепловая защита преобразователя, тепловая защита двигателя, неисправность питания, переперегревание, пониженное напряжение, перегрузка по току при постоянной скорости или неисправности заземления, перегрузка по току при разгоне, перегрузка по току при замедлении, перегрузка по току при определении скорости (только по IPD), внешний сигнал тревоги на дискретном выходе, неисправность последовательной связи, ошибка памяти EEPROM, неисправность цепи управления, неисправность зарядной цепи динистора перегрузка преобразователя, обрыв кабеля двигателя, ошибка шифрового датчика (только по VTC), превышения допустимой скорости (только по VTC)
СИГНАЛЫ, ДОСТУПНЫЕ ПО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СВЯЗИ	Информационные сообщения	INVERTER OK (преобразователь исправен), INVERTER ALARM (ошибка тревоги), разгон + остановка скорости + замедление, ограничение тока двигателя, POWER DOWN (отключение питания), SPEED SEARCHING (определение скорости, только по IPD), торможение постоянным током, самонастройка (только по VTC)
	Рабочие параметры	Задание частоты/момента/скорости, выходная частота, скорость двигателя, требуемый момент, генерируемый момент, ток двигателя, напряжение двигателя, напряжение цепи постоянного тока, потребляемая двигателем мощность, состояние дискретных выходов, список сигналов тревоги (последние 5 сигналов), время работы, значение сигнала на аналоговый вход, задание ПИД-регулятора, значение сигнала обратной связи, значение ошибки ПИД-регулятора, выход ПИД-регулятора, значение обратной связи, умноженное на программируемый коэффициент, (значение скорости рабочего органа, скорость рабочего органа, время разгона рабочего органа, расстояние, пройденное рабочим органом в процессе разгона, время замедления рабочего органа, расстояние, пройденное рабочим органом в процессе замедления) (N). N) Только для ПО UFT
	Последовательная связь	Стандартная связь через интерфейс RS485 в сети до 247 узлов
	Шина Field bus	Устройство связи: опциональный конвертер MODBUS/field bus (Profibus DP; Can Bus; Device Net; Ethernet и т.д.). Каждое устройство может контролировать до 4 преобразователей.
БЕЗОПАСНОСТЬ	EN 61800-5-1, EN 60178, EN 62004-1, IEC 299/109/1P	

Рис. 5.24 – Характеристики частотного перетворювача Elettronica Santerno Sinus K 4T

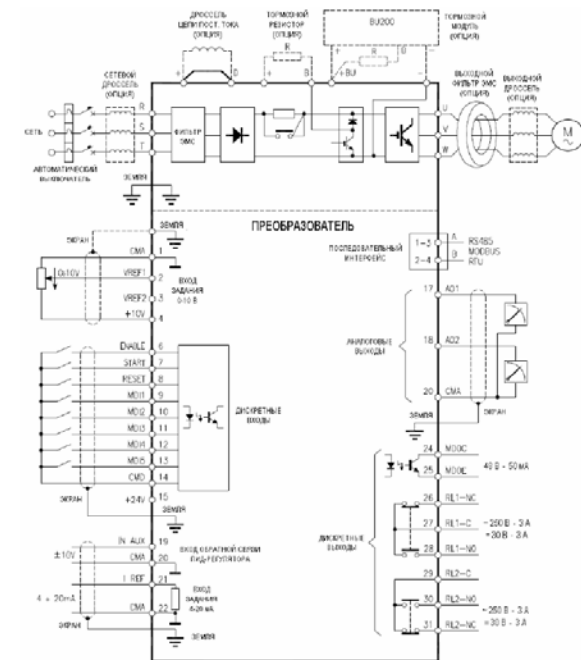


Рис. 5.25 – Схема підключення частотного перетворювача Elettronica Santerno Sinus K 4T

Для подачі зерна до пропарювача використовуються поворотні міжфланцеві засувки фірми SIMO з електроприводом Belimo SV24A-TPC (Рис. 5.26-5.28).



Материал корпуса:	Серый чугун
Материал диска:	Ковкий чугун
Материал шпинделя:	Нержавеющая сталь
Соединение с трубопроводом:	межфланцевое
Номинальный диаметр:	DN50
Максимальное рабочее давление:	Макс. до 16 бар
Диапазон температур:	от -25 0С до 130 0С
Прокладка:	EPDM
Электропитание:	24 В, 220 В
Применяется для :	Отопления, водоснабжения

а) б)
Рис. 5.26 – Поворотна міжфланцева засувка фірми SIMO з електроприводом Belimo SV24A-TPC:
а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики



Технические характеристики

Напряжение питания	24 В -, 50/60 Гц ; 24 В=
Диапазон напряжения питания	19,2...28,8 В- / 21,6...28,8 В=
Расчетная мощность	3 ВА
Рабочий диапазон	0,5...10 В=
Сигнал обратной связи U	0,5...10 В= при макс 0,5 мА
Управляющий сигнал Y	0...10 В= (при вход. сопротивлении 100 кОм)
Электрическое подключение	Клеммная колодка (контакты 4 мм ²) и кабель: 1 м , 4 x 0,75 мм ²
Потребляемая мощность:	
- при движении	1,5 Вт
- при удержании	0,5 Вт
Функциональные данные	
Усилие	1000 Н

а) б)

Рис. 5.27. – электропривод ВМ BelimoSV24A-TPC(15с): а) зовнішній вигляд;
б) технічні характеристики

Схема підключення електроприводу показана на рис.5.28



Рисунок 5.28 Схема підключення Електроприводу Belimo SV24A-TPC(15c)

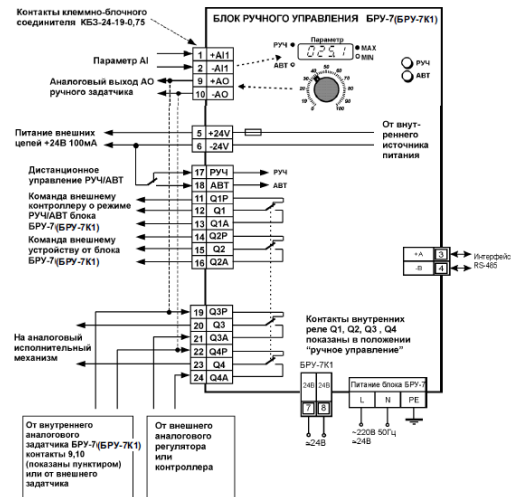
Місцеве керування виконавчими механізмами здійснює блок ручного керування БРУ-7 (рис. 5.29).

Він призначений для використання в системах промислової автоматизації виробничих процесів в якості:

- Блоку ручного задатчика аналогового сигналу;
- Блоку ручного управління аналоговим виконавчим механізмом (ІМ).

Технічні характеристики:

- Вхідний аналоговий сигнал: 0-5мА ($R_{вх} = 400 \text{ Ом}$), 0 (4) -20 мА ($R_{вх} = 100 \text{ Ом}$), 0-10В ($R_{вх} = 25\text{кОм}$);
- Вихідний аналоговий сигнал: 0-5 мА ($R_{н} < 2\text{кОм}$), 0 (4) -20 мА ($R_{н2} \text{ кОм}$);
- Максимальна похибка установки сигналу завдання: по цифровому індикатору $\pm 0,1\%$ (вихід задатчика підключений та вхід індикатора) по лімбу потенціометра $\pm 2,0\%$;
- Температура навколишнього середовища: від -40°C до $+70^\circ \text{C}$;
- Напруга живлення БРУ-7: $\sim 220 (+22, -33) \text{ В}$, $(50 \pm 1) \text{ Гц}$ змінного струму або $24 (\pm 4) \text{ В}$ постійного струму;
- Напруга живлення БРУ-7К1: $24 (\pm 4) \text{ В}$ постійного струму;
- Споживана потужність: не більше 7 Вт ($\sim 220\text{В}$) - для БРУ-7;
- Струм споживання: не більше 150 мА - для БРУ-7К1.



а)

б)

Рис. 5.29 – Блок ручного управління БРУ-7: а) зовнішній вигляд; б) схема підключення

5.4 Висновки за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання. Класи точності, ступінь захисту та ступінь вибухозахисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу.

РОЗДІЛ 6
 РОЗРОБКА КОНТРОЛЕРНО-КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ,
 ПРОГРАМУВАННЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЛОГІЧНОГО
 КЕРУВАННЯ САУ

6.1. Аналіз вхідних і вихідних сигналів і вибір топології побудови системи

Виконав аналіз технологічної схеми та функцій які повинна реалізовувати система керування складемо таблицю (табл. 6.1) зі списком параметрів які повинні вводитись і виводитись з контролера.

Таблиця № 6.1. Список параметрів які вводяться і виводяться із контролера

№ пп	Назва параметра	Умовне позначення	Вид сигнал у А/D	Тип сигнал у I/O	Діапазон сигналу на вході/виході контролера	Позначення на схемі
1	Тиск пари в апараті	P_a	A	I	(0-20 мА)	AI1
2	Витрати пропареного зерна	F_z	A	I	(0-20 мА)	AI2
3	Положення РО 1	GE1	A	I	(0-20 мА)	AI3
4	Положення РО 2	GE2	A	I	(0-20 мА)	AI4
5	Керуюча дія ступінь відкриття клапана пари	U_1	A	O	(0-20 мА)	AO1
6	Керуюча дія швидкість обертання шлюзового клапана	U_2	A	O	(0-20 мА)	AO2
7	Сигнал датчика контролю рівня крупи	L_k	D	I	24 V DC	DI1
8	Сигнал датчика контролю тиску в апараті	P_v_s	D	I	24 V DC	DI2
9	Сигнал датчика контролю тиску пари в паропроводі	P_g_s	D	I	24 V DC	DI3
10	Сигнал управління двигуном M2	M2_c	D	O	«відкритий колектор»	DO1

11	Сигнал с дод. контакта пускача двигуна M2	M2_KM	D	I	24 V DC	DI4
12	Сигнал управління двигуном M1	M4_c	D	O	«відкритий колектор»	DO2
13	Сигнал с дод. контакта пускача двигуна M1	M4_KM	D	I	«сухий контакт»	DI5
14	Сигнал управління клапаном групи K1	K1_c	D	O	«відкритий колектор»	DO3
15	Сигнал датчика контролю закриття клапана K1	K1_FB	D	I	«сухий контакт»	DI6
16	Сигнал управління клапаном групи K2	K2_c	D	O	«відкритий колектор»	DO4
17	Сигнал датчика контролю закриття клапана K2	K2_FB	D	I	«сухий контакт»	DI7
18	Управління клапаном пари K3	K5_c	D	O	«відкритий колектор»	DO5
19	Сигнал датчика контролю закриття клапану K3	K5_FB	D	I	«сухий контакт»	DI8
20	Управління клапаном пари K4	K6_c	D	O	«відкритий колектор»	DO6
21	Сигнал управління звук. сигнал.	HA	D	O	«відкритий колектор»	DO7
22	Сигнал кнопки авт. пуску	SB_pusk	D	I	«сухий контакт»	DI9
23	Сигнал кнопки авт. зупинки	SB_stop	D	I	«сухий контакт»	DI10

Кількість каналів вводу\виводу:

AI – 4 , AO – 2, DI – 10, DO - 7

6.2. Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.

Технічну структуру системи управління розробимо на базі розподіленої системи WAGO I/O.

Для реалізації алгоритмів управління в модулях УСО контролера повинні бути передбачені 5- аналогових входів, 2-аналогових виходи, 10- дискретних входів і 8-дискретних виходів.

Виходячи із сформованої таблиці 6.1, для реалізації алгоритмів управління скористаємося контролером WAGO 750-881 з модулями ПЗО: AI WAGO 750-453, AO WAGO 750-555, DI WAGO 750-430, DO WAGO 750-530.

Центральний процесор WAGO 750-881 характеризується наступними показниками: 32-бітний мікропроцесор, програмна сумісність з WAGO-I/O-PRO V2.3 (based on CODESYS V2.3), годинник реального часу, вбудований носій інформації об'ємом 512 Мбайт, інтегрований Web-інтерфейс.

Загальний вид контролера та схема його підключення наведені на рис.6.1.

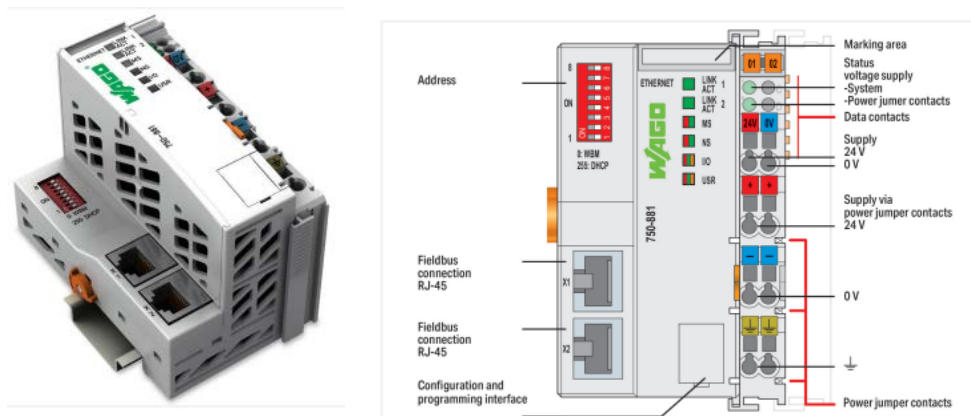


Рис. 6.1 – Контролер WAGO 750-881 – зовнішній вигляд.

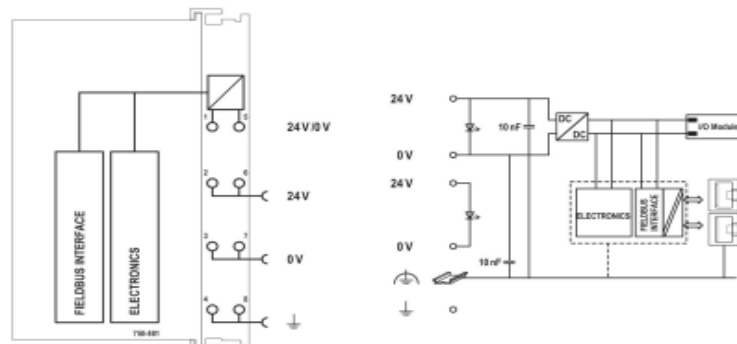


Рис.6.2 – Схема підключення контролера WAGO 750-881.

Для введення аналогових сигналів у контролер будемо використовувати 4-канальний модуль аналогового введення WAGO 750-453 (рис. 6.3).

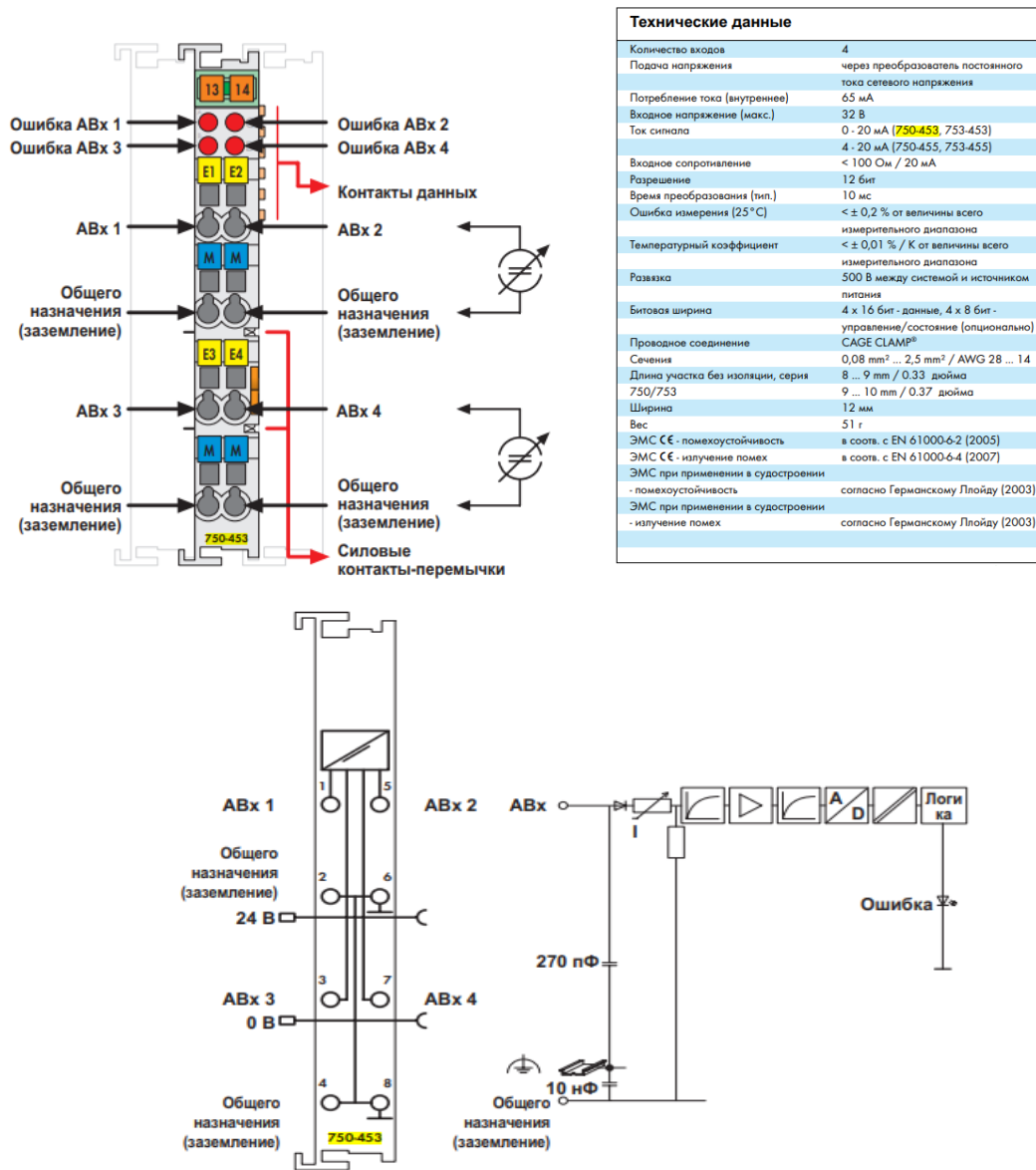


Рис. 6.3 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-453, його характеристики та схема підключення.

Для виведення аналогових сигналів з контролера (формування аналогових керуючих дій) будемо використовувати 4-канальний модуль аналогового виводу WAGO 750-555 (рис. 6.4).

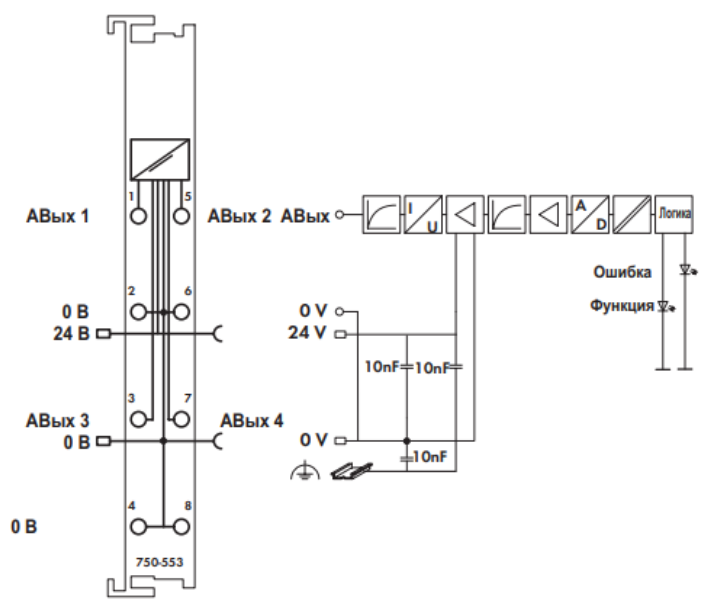
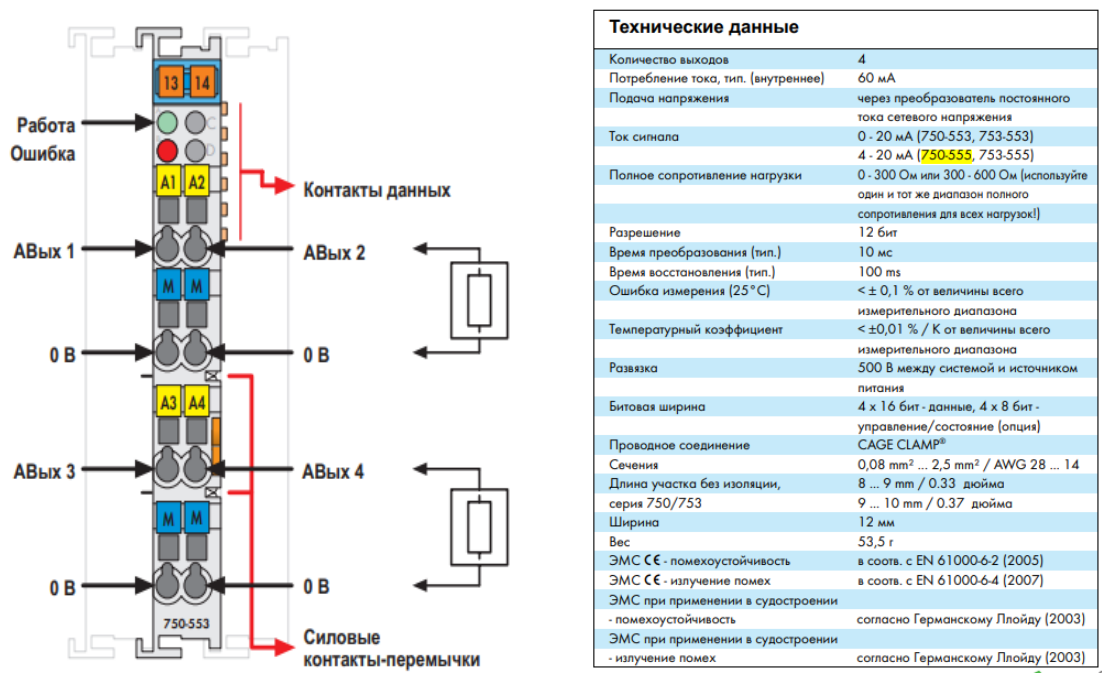


Рис. 6.4 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-555, його характеристики та схема підключення.

Для вводу дискретних сигналів до контролеру будемо використовувати 8-канальний модуль дискретного вводу WAGO 750-430 (рис. 6.5).

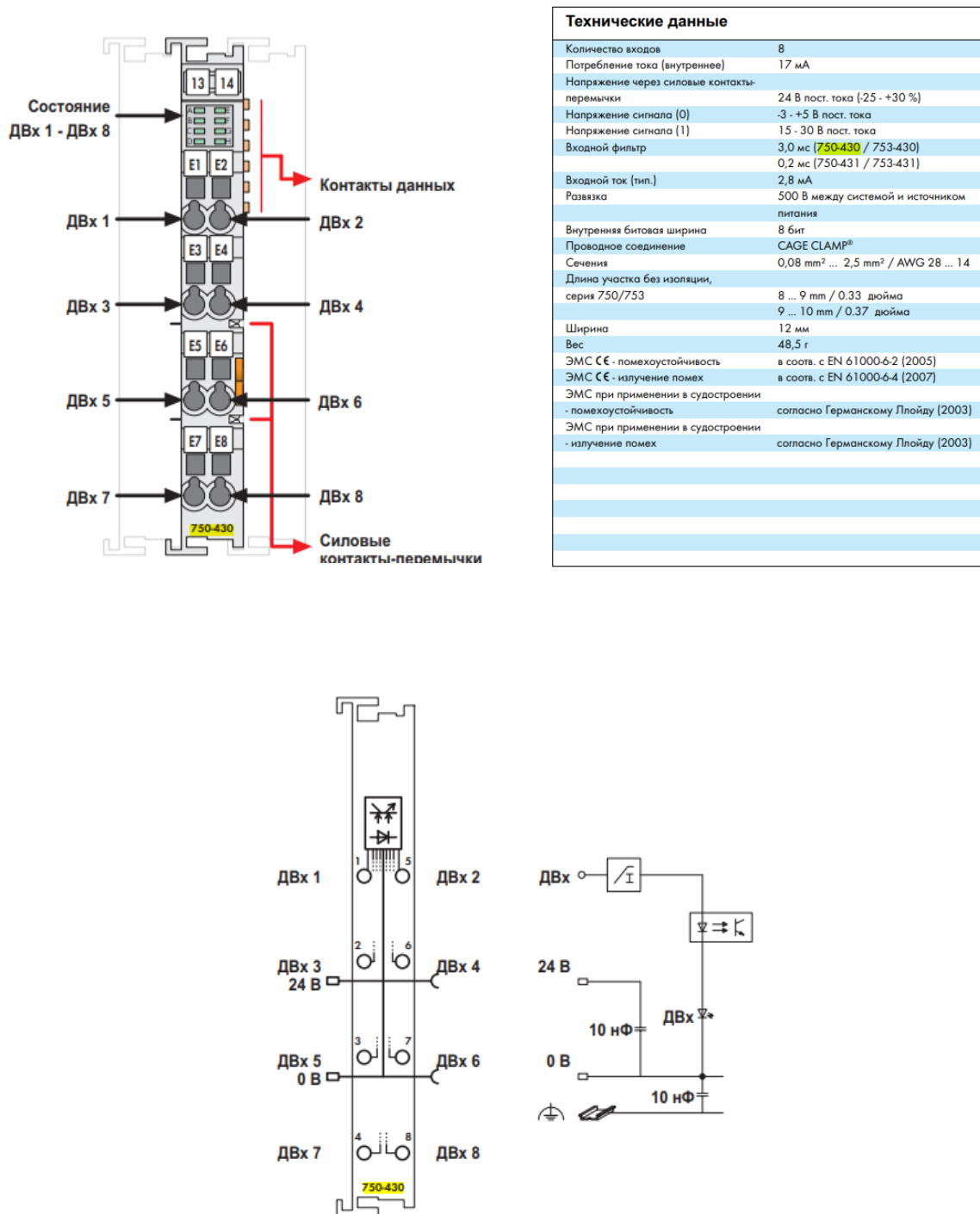


Рис. 6.5 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-430, його характеристики та схема підключення.

Для виводу дискретних сигналів до контролеру будемо використовувати 8-канальний модуль дискретного виводу WAGO 750-530 (рис. 6.6).

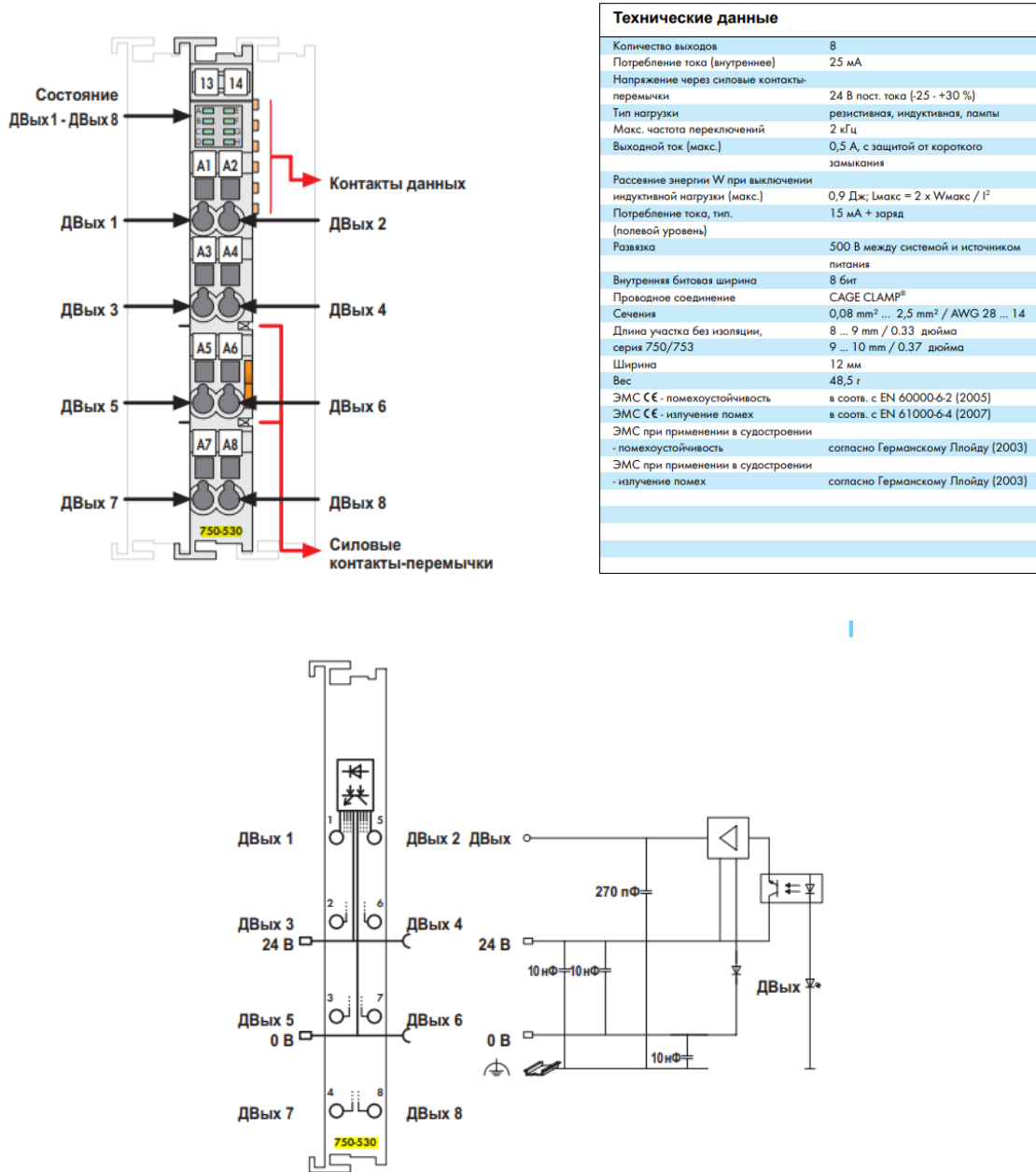


Рис. 6.6 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-430, його характеристики та схема підключення.

Додатково нам знадобляться модуль живлення 24В постійного струму WAGO 750-601 а також кінцевий модуль шини 750-600.

Зв'язок контролера з комп'ютером здійснюється за допомогою інтерфейсу Ethernet.

Враховуючи обраний контролер, модулі ПЗО до нього, та список змінних, які необхідно вводити та виводити з контролера схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування прийме наступний вигляд. (рис. 6.7).

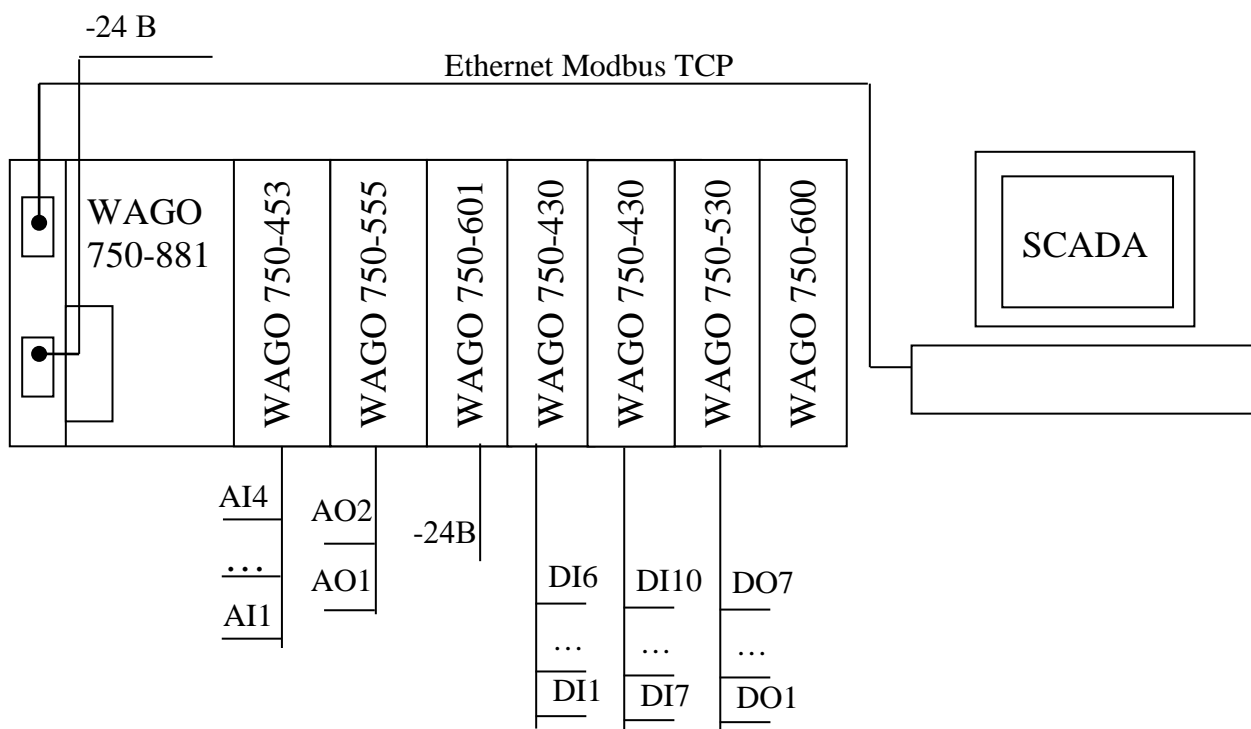


Рис. 6.7 – Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи управління процесом гідротермічної обробки крупи.

6.3 Програмне конфігурування контролера та розробка програмного забезпечення системи керування в середовищі CoDeSys.

Першим етапом проведено програмне конфігурування контролера та його модулів ПЗО у середовищі CoDeSys. На рис. 6.8 – 6.10 розкрита процедура конфігурування CPU контролера та його модулів ПЗО.

Завершив конфігурацію переходимо до програмної реалізації алгоритмів керування.

6.4. Програмна реалізація алгоритмів регулювання та їх тестування на моделі ОК.

Модель САР розраховується у програмному модулі POU_100ms, який обчислюється кожену 0.1 секунди. Час обчислення задається при конфігуруванні контролера у розділі «Конфігурація задач» (рис.6.11).

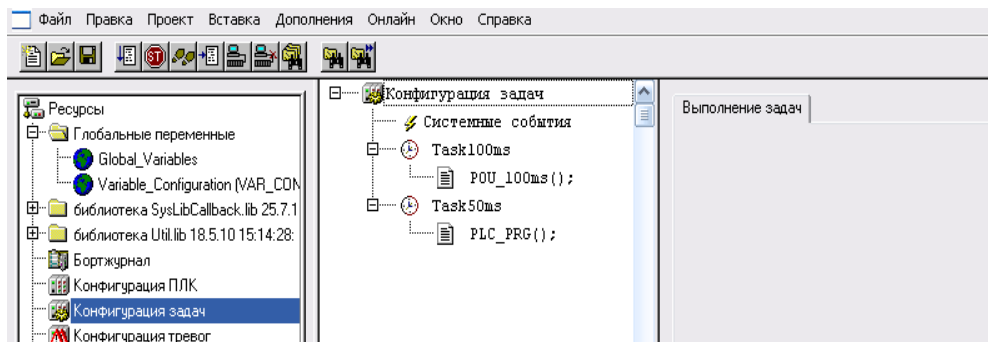


Рис. 6.11– Загальний вигляд вікна проекту при конфігуруванні задач.

На рис. 6.12, 6.13 представлені фрагменти програм, які реалізують модель об'єкта керування та алгоритми регулювання.

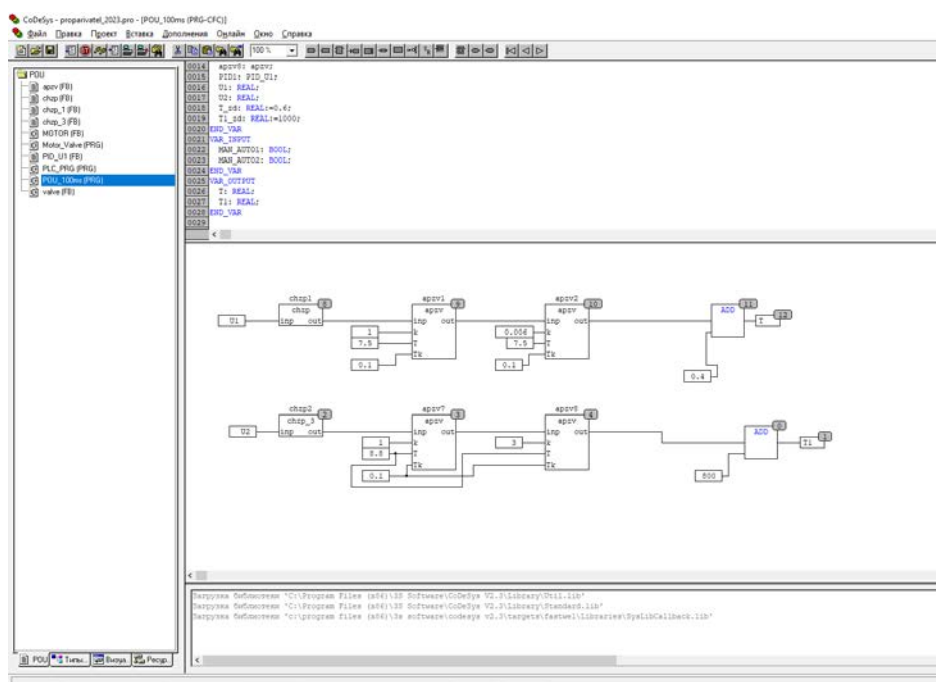


Рис. 6.12 – Фрагмент програми, яка реалізує модель об'єкта керування.

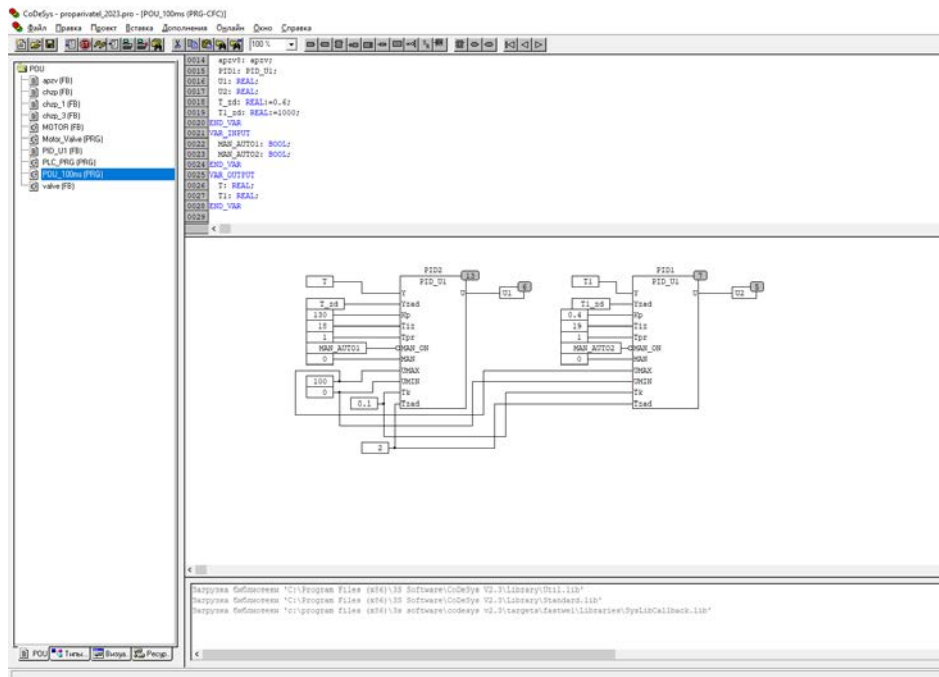


Рис. 6.13 – Фрагмент програми, яка реалізує алгоритми регулювання.

Для реалізації моделі об'єкта керування використовувались спеціально розроблені функціональні блоки динамічних ланок: ланки запізнення та статичної аперіодичної інерційної ланки першого порядку. На рис. 6.14 та 6.15 представлені фрагменти програм реалізації цих ланок мовою ST.

```

0001 FUNCTION_BLOCK apzv
0002 VAR_INPUT
0003   inp: REAL; (* *)
0004   k: REAL;
0005   T: REAL;
0006   Tk: REAL;
0007 END_VAR
0008 VAR_OUTPUT
0009   out: REAL;
0010 END_VAR
0011 VAR
0012   END_VAR
0013
0001 out := (Tk*k*inp + T*out)/(T + Tk);
0002

```

Рис. 6.14 – Фрагмент програми, яка реалізує статичну аперіодичну інерційну ланку першого порядку.

```

0001 FUNCTION_BLOCK chzp
0002 VAR_INPUT
0003   inp: REAL;
0004 END_VAR
0005 VAR_OUTPUT
0006   out: REAL;
0007 END_VAR
0008 VAR
0009   data: ARRAY[1..29] OF REAL := 29(0);
0010   i: INT:=1;
0011 END_VAR
0012
0001 out:=data[i];
0002 data[i]:=inp;
0003 i:=i+1;
0004 IF i > 29 THEN
0005   i:=1;
0006 END_IF;
0007

```

Рис. 6.15 – Фрагмент програми, яка реалізує ланку запізнення.

Для реалізації алгоритмів регулювання використовувались спеціально розроблений функціональний блок ПІД – регулятору з інерційним задатчиком та переключенням режиму РУЧ/АВТ. Цей блок розроблений мовою ST . На рис. 6.16 представлена внутрішня структура регулятора.

```

0001 FUNCTION_BLOCK PID_U1
0002 VAR_INPUT
0003   Y: REAL; (*регулируемая переменная*)
0004   Zyadd: REAL; (*заданное значение*)
0005   Kp: REAL; (*коэфф. передачи*)
0006   Tiz: REAL; (*время изотропа*)
0007   Tr: REAL; (*время предварения*)
0008   MAN_ON: BOOL; (*ручной режим Вкл.\Выкл.*)
0009   MAN: REAL; (*Управл. возд. в ручном режиме*)
0010   UMAX: REAL; (*максимал. знач. управл. возд.*)
0011   UMIN: REAL; (*минимал. знач. управл. возд.*)
0012   Tk: REAL; (*шаг квантования*)
0013   Tzad: REAL;
0014 END_VAR
0015 VAR_OUTPUT
0016   U: REAL; (*управляющее воздействие*)
0017 END_VAR
0018 VAR
0019   Ui: REAL;
0020   Zyadd: REAL;
0021   Up_1: REAL;
0022   Ud: REAL;
0023   DY: REAL;
0024   Up: REAL;
0025 END_VAR

```

```

- [PID_U1 (FB-ST)]
авить Дополнения Онлайн Окно Справка
FUNCTION_BLOCK PID_U1
VAR_INPUT
(*Ручной режим управления*)
IF MAN_ON = TRUE THEN
U:=-MAN;
Ui:= U;
Zyadd:= Y;
Ud:=0;
Up_1:=0;
ELSE
(**ПИД- алгоритм управления **)
(*Расчет инерционного задатчика*)
Zyadd:= (Tk*Zyadd + Tzad*Zyadd)/(Tk+Tzad);
(*Расчет ошибки регулирования*)
DY:= Zyadd - Y;
(*Расчет П-составляющей*)
Up:=- Kp*DY;
(*Расчет И-составляющей*)
Ui:= (Tk/Tiz)*Up + Ui;
(*Реализация ограничения И-составляющей*)
IF Ui > UMAX THEN
Ui:= UMAX;
ELSIF Ui < UMIN THEN
Ui:= UMIN;
END_IF;
(*Расчет Д-составляющей*)
Ud:= (Tr*(Up-Up_1)+0.2*Tr*Ud)/(Tk+0.2*Tr);
Up_1:=Up; (*Переопределение промежуточной переменной для расчета Д-сост.*)
(** Расчет управляющего воздействия **)
U:= Up + Ui + Ud;
END_IF;
(*Реализация ограничения управляющего воздействия*)
IF U > UMAX THEN
U:= UMAX;
ELSIF U < UMIN THEN
U:= UMIN;
END_IF;

```

Рис. 6.16 – Код програми ПІД - регулятора.

На рис. 6.17 наведені перехідні характеристики що отримані при тестуванні програм ПІД – регулювання на моделі об’єкту керування.

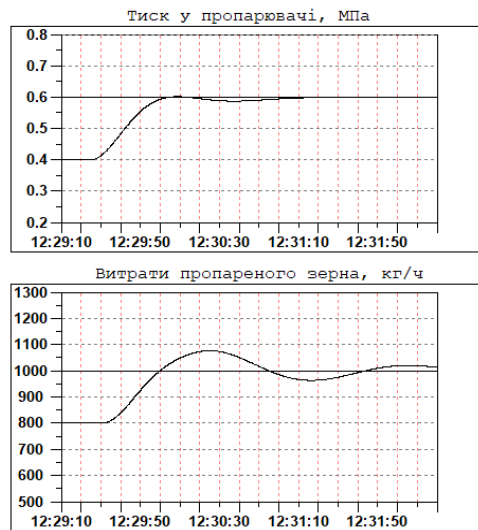


Рис. 6.17 – Перехідні характеристики, отримані при тестуванні і відлагодженні алгоритмів регулювання на моделі ОК.

6.5. Програмна реалізація алгоритмів логічного керування

Програмна реалізація алгоритмів логічного керування виконана в програмному модулі PLC_PRG який обчислюється з кроком 0.05с. Фрагмент програми що реалізує алгоритми автоматичного пуску та зупинки наведено на рис. 6.18 та 6.19.

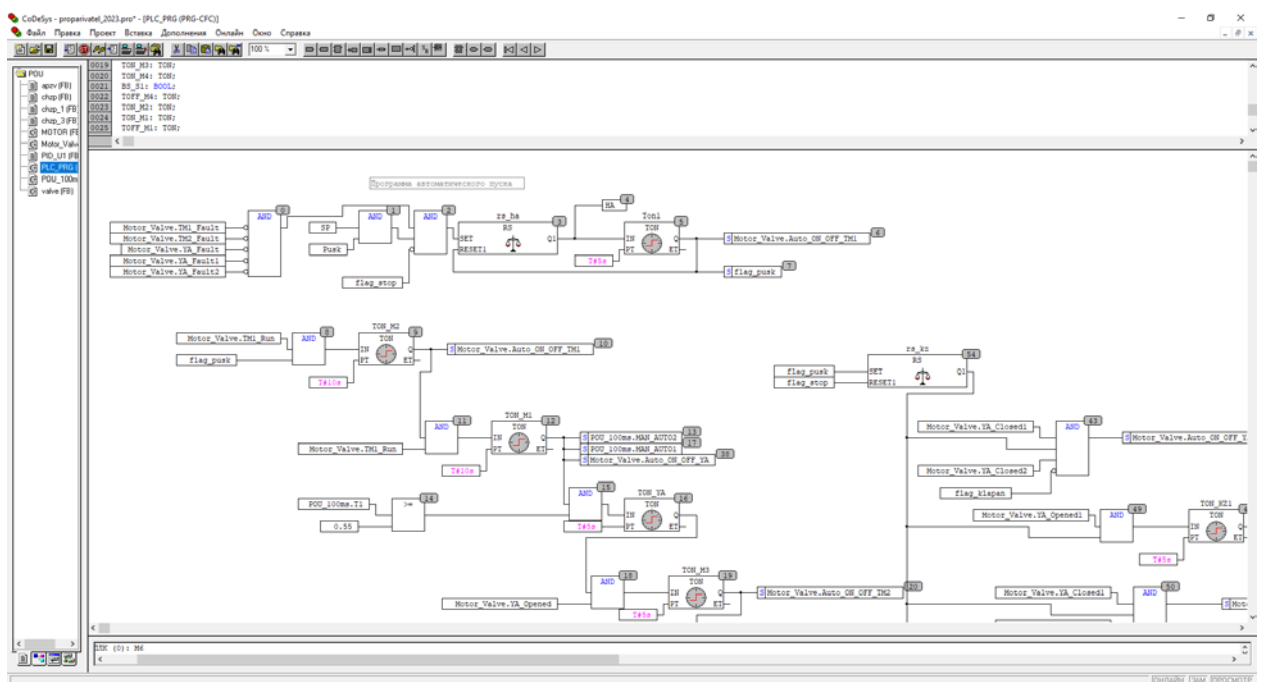


Рис. 6.18 – Фрагмент програми що реалізує алгоритми автоматичного пуску.

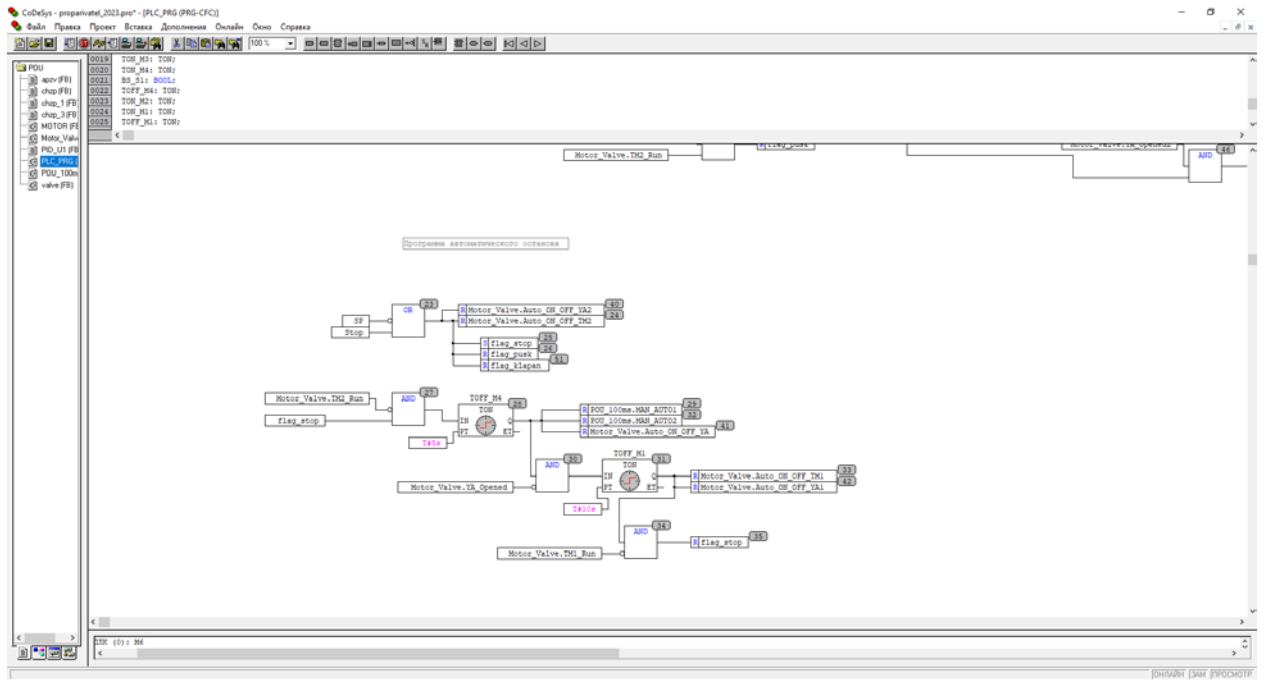


Рис. 6.19 – Фрагмент програми що реалізує алгоритми автоматичної зупинки.

Програма логічного керування формує сигнали для підпрограм керування двигунами, клапанами та контурами регулювання. Розрахунок підпрограм керування двигунами та клапанами виконується у програмному модулі `Motor_Valve`. (рис. 6.20)

Рис. 6.20 – Фрагмент програми `PLC_PRG` з викликом модуля `Motor_Valve`.

Рис.6.22 – Загальний вигляд блоку керування двигуном та список змінних підпрограми що його реалізує.

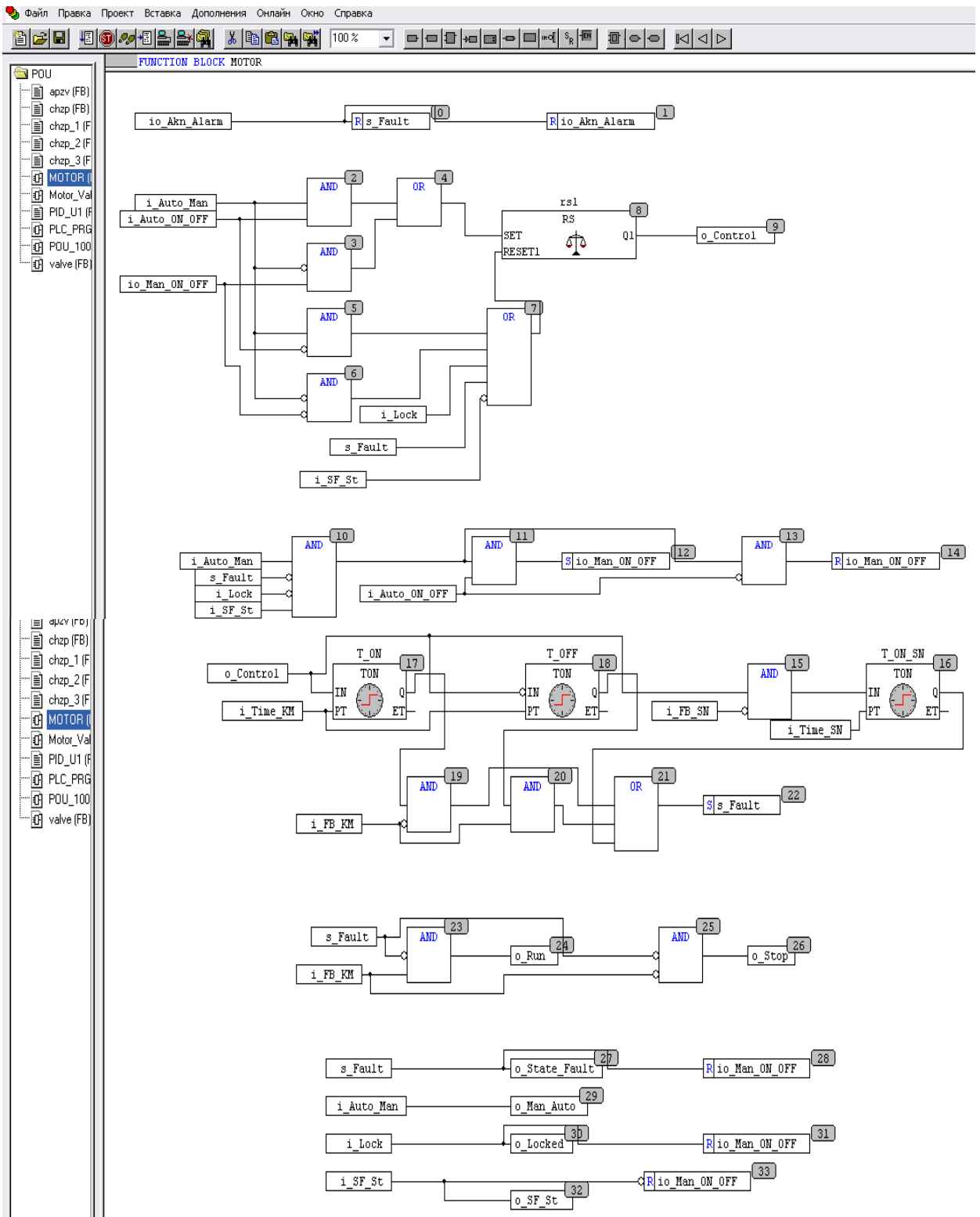


Рис. 6.23 – Фрагмент підпрограми що реалізує блоку керування двигуном (кінець).

Результати тестування програми при виконанні алгоритмів пуску та зупинки підтвердили правильність реалізації. Фрагмент програми та графічний інтерфейс при тестуванні алгоритму пуску наведено на рис. 6.24 та 6.25.

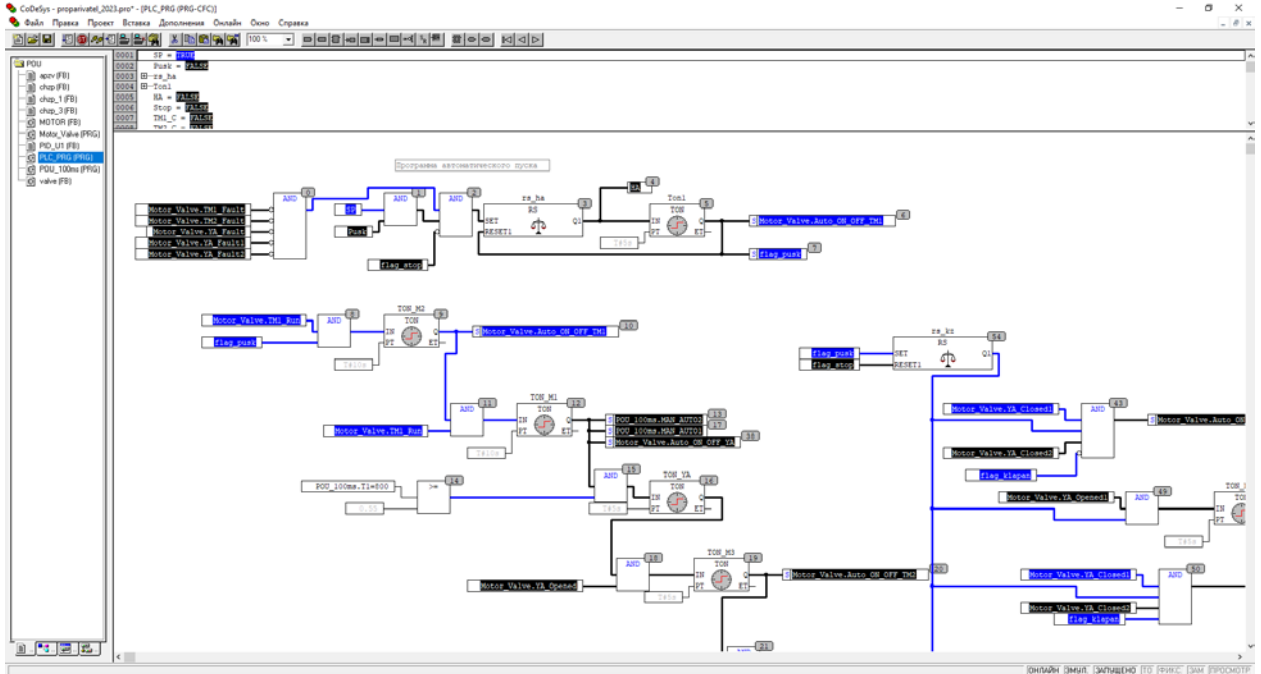


Рис. 6.24 – Фрагмент програми (в режимі тестування) що реалізує алгоритм пуску.

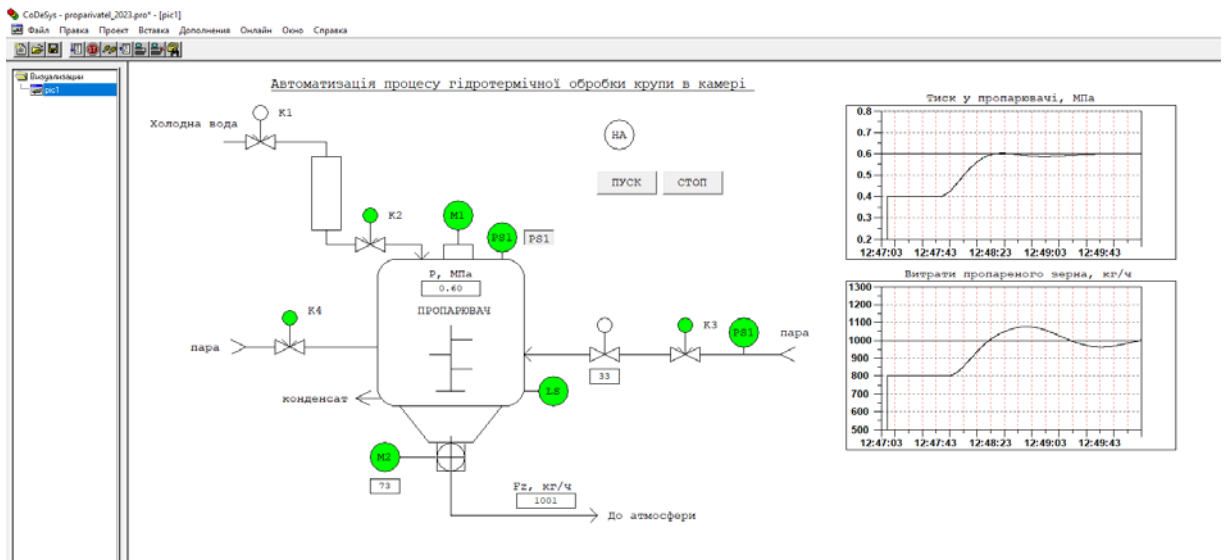


Рис. 6.25 – Фрагмент графічного інтерфейсу оператора.

Результати тестування програми у режимі емуляції контролеру, що реалізує управління пуском та останом процесу гідротермічної обробки крупи підтверджують коректність реалізації програми моделі САР та програми логічного керування.

6.6. Розробка підсистеми взаємодії автоматизованого робочого місця та мережі контролерів за допомогою OPC-сервера.

Взаємодія автоматизованого робочого місця (АРМ) та мережі контролерів з допомогою OPC - сервер розглянемо на прикладі реалізації зв'язку засобами пакету CoDeSys 2.3, в якому розробляється ПО контролера. Як приклад розглянемо реалізацію зв'язку тільки для контурів регулювання. В наявності контролера WAGO 750-881 не має, тому для тестування в якості цільової платформи оберемо 3S CoDeSys SP PLCWinNT V 2.4. та відзначимо необхідність завантаження символного файлу (рис. 6.26).

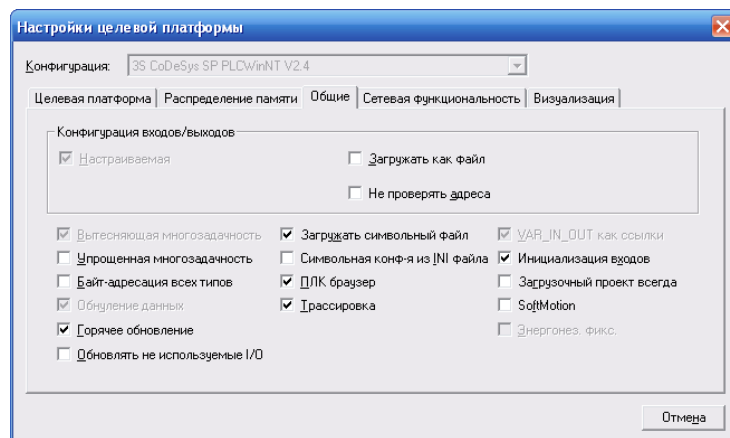


Рис. 6.26 – Загальний вигляд вікна вибору цільової платформи.

Проводимо конфігурацію OPC – серверу у пакеті CoDeSys 2.3, для обміну даними зі SCADAсистемою. Для цього вказуємо які змінні потрібно включити в мережевий обмін даними (рис. 6.27) та налаштовуємо параметри мережевого зв'язку (рис. 6.28). В мережевий обмін включаємо регульовані змінні та їхні задані значення.

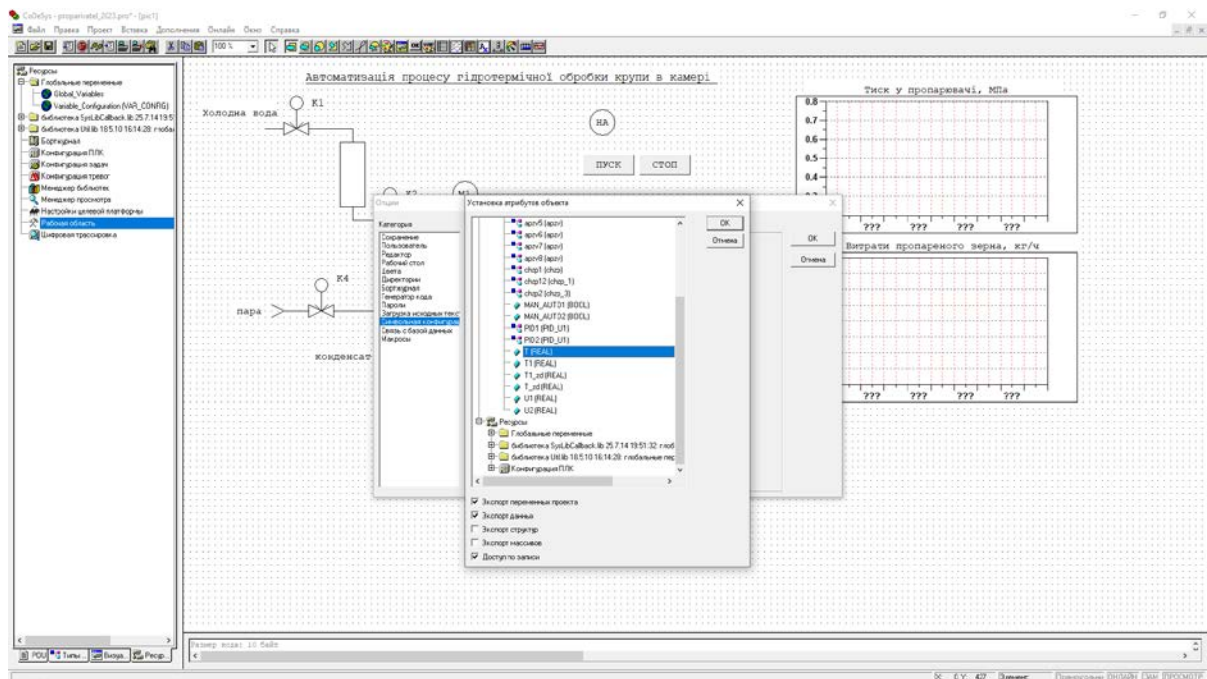


Рис. 6.27 – Фрагмент налаштування символічного файлу для обміну даними з використанням OPC - сервера.

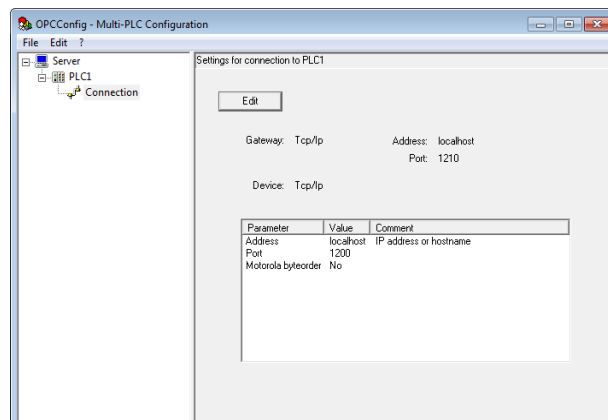


Рис. 6.28 – Вікно налаштування параметрів мережевого зв'язку для OPC - сервера.

Після конфігурації вибрані змінні будуть доступні OPC - клієнтам. Зокрема SCADA-системам.

У середовищі SCADA-системи WinCCFlexible реалізуємо вікно трендів для відображення зміни поточних та заданих значень регульованих змінних. Проводимо підключення до OPC сервера CoDeSys 2.3 в середовищі WinCCFlexible та формування нових тегів.

На рис. 6.29 та 6.30 представлені вікна налаштування мережевого підключення до OPC сервера CoDeSys та створення тегів пов'язаних з OPC сервером в SCADA системі WinCCFlexible.

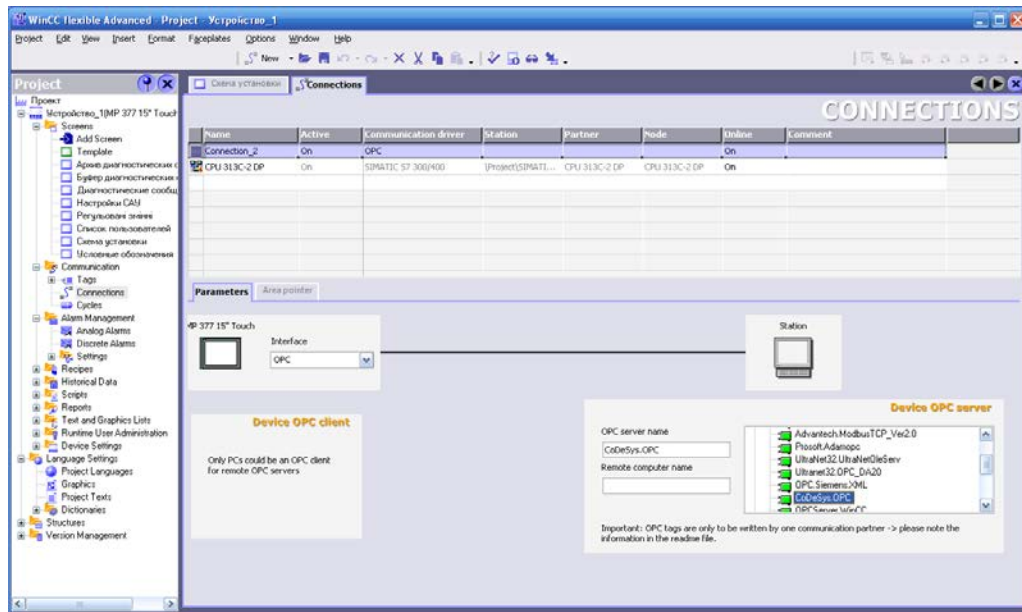


Рис. 6.29 – Вікно створення мережевого підключення до OPC сервера CoDeSys в SCADA системі WinCCFlexible.

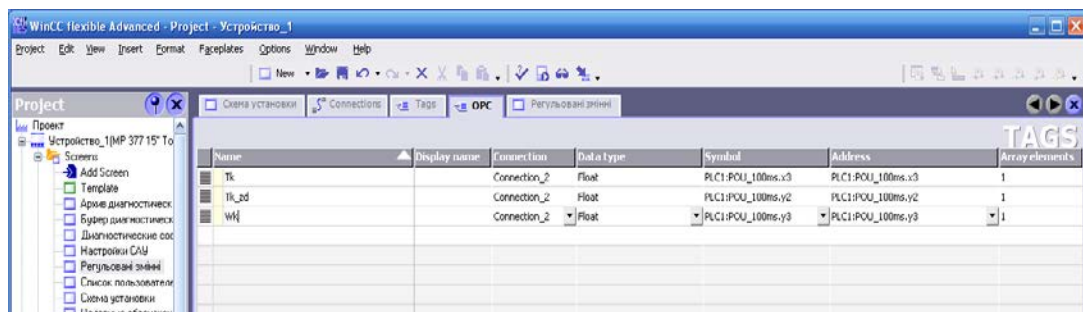


Рис. 6.30 – Вікно створення тегів пов'язаних з OPC сервером CoDeSys в SCADA системі WinCCFlexible.

Результати тестування мережевого обміну даними між SCADA системою WinCCFlexible і програмою контролера створеної в пакеті CoDeSys з допомогою OPC сервера CoDeSys підтвердили обмін даними.

6.7. Висновки за розділом

В даному розділі була розроблена технічна структура мікропроцесорного ядра системи керування процесом гідротермічної обробки крупи, здійснений вибір промислового контролера та його блоків вводу/виводу, в середовищі CoDeSys розроблені програми, які реалізують алгоритми логічного керування та регулювання, проведена їх перевірка, яка засвідчила роботоспроможність програм та їх відповідність алгоритмам керування.

РОЗДІЛ 7. РОЗРОБКА SCADA ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБО- ЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГА І НАЛАДЧИКА САК

7.1. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога.

Робоче місце оператора-технолога процесу гідротермічної обробки крупи повинно передбачати наявність набору функцій, які максимально охоплюють і забезпечують виконання його професійних обов'язків. З урахуванням цього АРМ оператора-технолога має передбачати можливість виконання оператором наступних функцій:

1. Контролювати значення технологічних параметрів процесу гідротермічної обробки крупи і задавати режими роботи обладнання.

2. Контролювати стан обладнання процесу гідротермічної обробки крупи (включено, вимкнений, знаходиться в аварії і т.д.) і значення експлуатаційних параметрів обладнання.

3. Керувати запуском і зупинкою обладнання в ручному та автоматичному режимах управління.

4. Керувати окремим обладнанням в ручному режимі.

5. Контролювати виникнення порушень в роботі обладнання і оперативно реагувати на них. Виходячи із викладеного раніше, в проекті, для реалізації АРМ оператора-технолога передбачені наступні екрани:

1) Мнемосхема ділянки. Основний екран із зображенням мнемосхеми процесу гідротермічної обробки крупи дозволяє контролювати хід процесу, керувати обладнанням, міняти режими роботи обладнання та контролювати виникнення порушень в роботі.

2) Графіки. Екран, призначений для відображення графіку зміни тиску у пропарювачі та витрат крупи.

3) Технічні повідомлення, Буфер повідомлень. Архів повідомлень. Екрани, призначені для відображення діагностичних повідомлень різних класів.

4) Умовні позначення. Екран допомоги для нових недосвідчених користувачів.

7.2. Розробка екранів АРМ оператора-технолога

7.2.1. Шаблон екранів.

Шаблон екранів створюється в окремому підрозділі графічного редактора екранів SCADA-системи WinCCFlexible. Графічні елементи розташовані у вікні шаблону (рис.7.1) будуть присутні на всіх екранах що входять в проєкт.

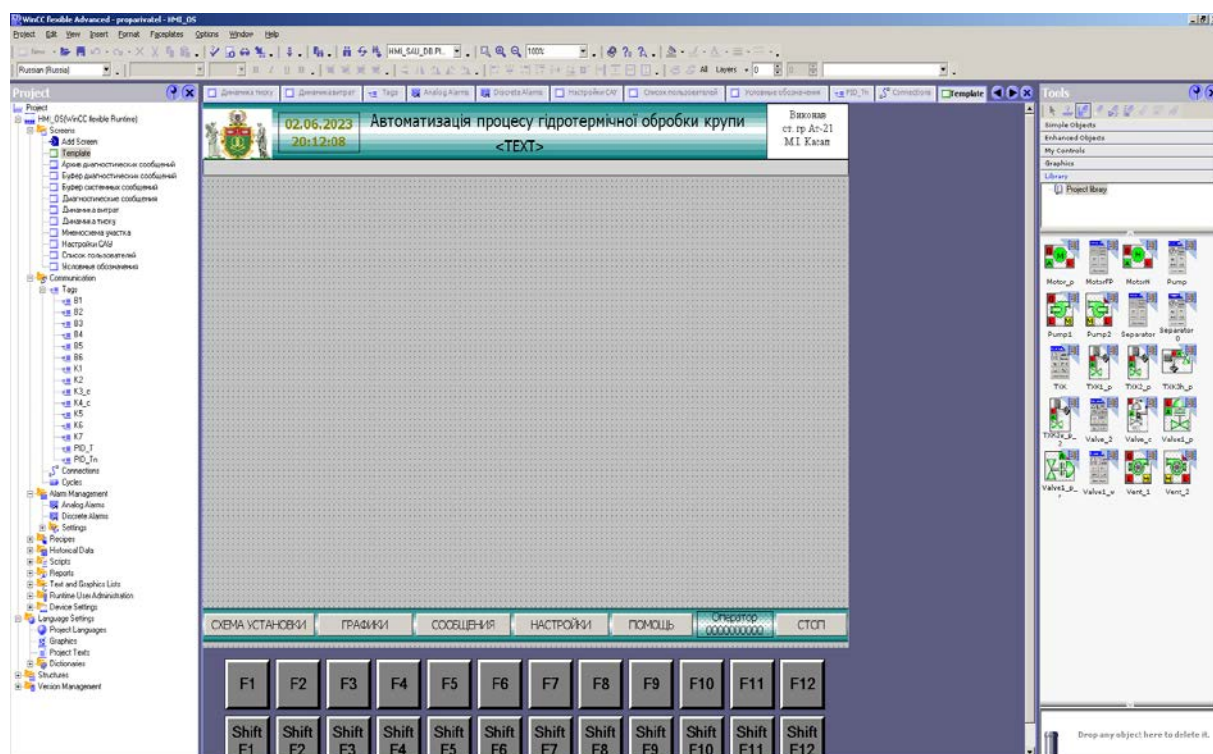


Рис.7.1 – Загальний вигляд шаблону вікон.

Шаблон екранів включає заголовок екрану і меню перемикання екранів АРМ. Заголовок екрану створений з використанням типових елементів графічного редактора системи WinCCflexible. Він включає логотипи академії та розробника проєкту, загальна назва технологічного процесу, елементи відображення поточної дати і часу, елемент відображення поточної активної помилки, а також текстове поле виведення назви поточного активного вікна. Висновок назви вікна здійснюється за допомогою виклику підпрограми (рис.7.2). Підпрограма викликається з системного події - «Change screen».

```

Sub DisplayCurrentScreenName( )
1  WARNING!
2  *****
3  This is a generated script.
4  Do not modify this script!
5  *****
6
7
8 Dim o
9 Set o = HmiRuntime.Screens("OverView").ScreenItems("TemplateTextFieldScreenName")
10 o.Text = HmiRuntime.BaseScreenName
11
12

```

Рис.7.2 – Вихідний код підпрограми відображення назви активного вікна.

Меню переключення екранів складається з набору кнопок, що дозволяють виконувати перемикання між різними графічними вікнами. Для перемикання вікон використовуються спеціальні системні функції (рис. 7.3).

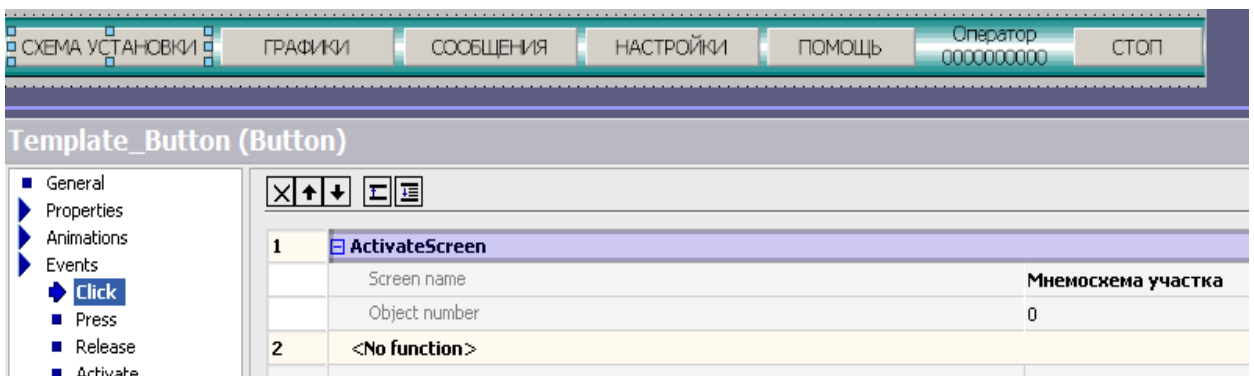


Рис.7.3 – Приклад використання системної функції «ActivateScreen» для перемикання екранів графічного інтерфейсу.

У заголовку екрану також відображається ім'я поточного активного користувача. Ім'я користувача виводиться у текстовому полі за допомогою функції «GetUserName», яка викликається системною подією «Change user» (рис.7.4). Кнопки «Вхід» та «Вихід» (розташовані на окремому екрані) дозволяють увійти в профіль користувача, або ж вийти з профілю. Реєстрація нових користувачів здійснюється при натисканні кнопки «Реєстрація».

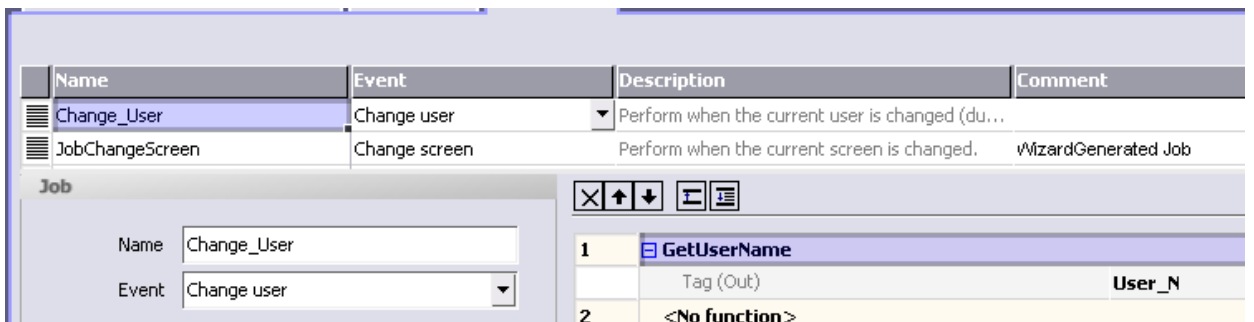


Рис. 7.4 – Вікно налаштування обробки системних подій в планувальнику завдань «Scheduler».

7.2.2. Мнемосхема ділянки.

Основне вікно «Мнемосхема ділянки» (рис. 7.5) містить схематичне зображення пропарювача з елементами відображення і управління. Зображення агрегатів пропарювача створено в графічному редактор SCADA - системи WinCCFlexible з використанням стандартних елементів графічної бібліотеки цього редактора. Встановлені на мнемосхемі графічні елементи відображення і управління дозволяють оператору контролювати стан обладнання і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням.

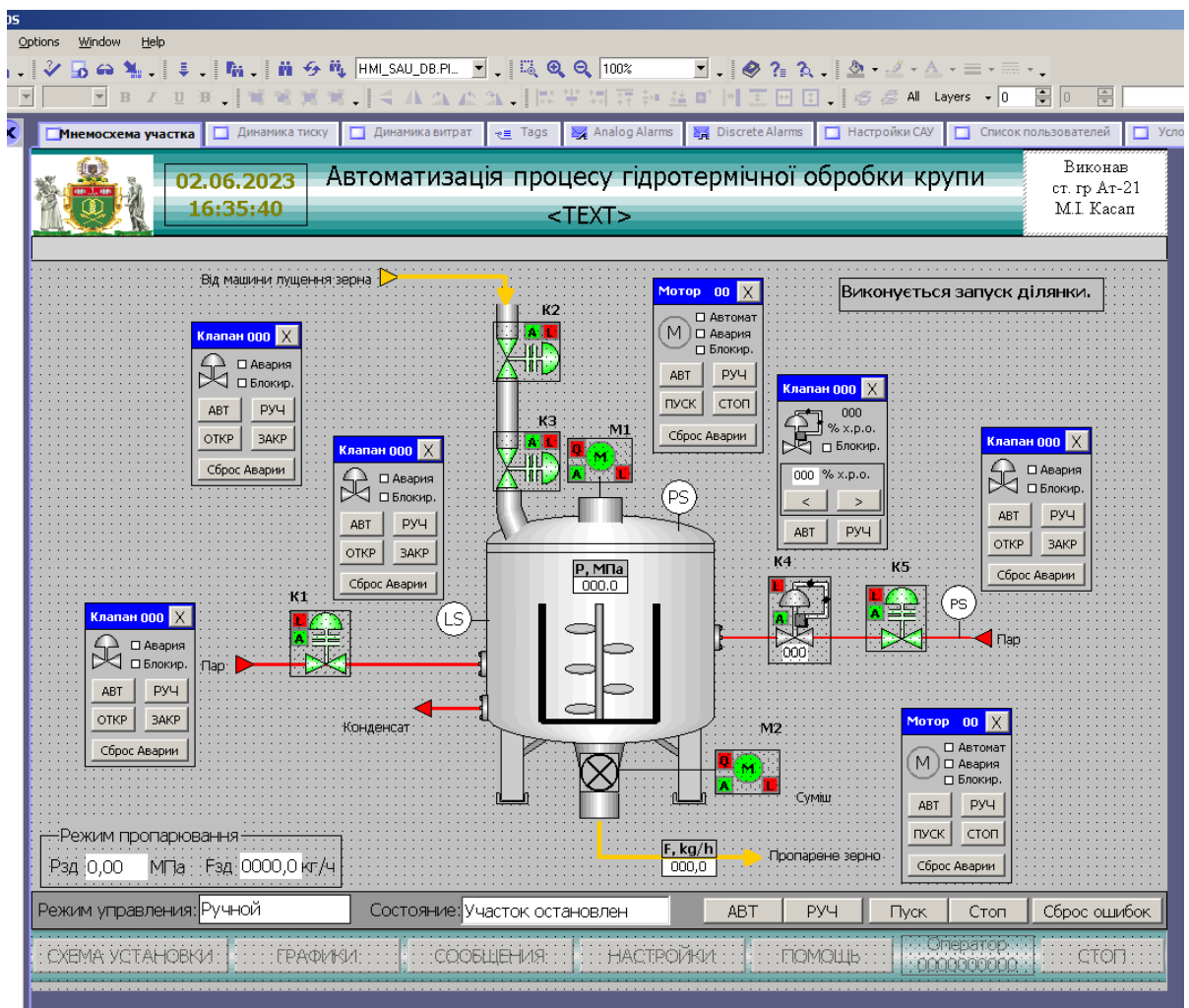


Рис. 7.5 – Загальний вигляд вікна «Мнемосхема ділянки».

Відображення поточних значень і введення заданих значень технологічних параметрів виконується з використанням елементів «IO Field», які пов'язують з відповідними тегамі. Відображення дискретних сигналів з датчиків виконується за допомогою елементів «Circle» за рахунок зміни їх кольору.

Також зміною кольору елементів мнемосхеми пропарювача або появою стрілок вказують напрямок потоку складових, холодної та теплої води, відображається включення двигунів і відкриття клапанів.

Контроль стану двигунів і клапанів реалізований з використанням спеціально розроблених в редакторі «Faceplate» екранних форм (рис. 7.6).

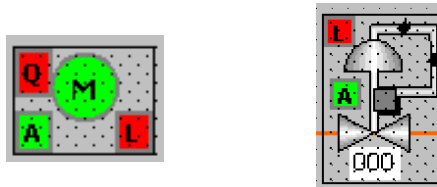


Рис. 7.6 – Екранні форми для контролю стану двигунів та виконавчих пристроїв.

Екранні форми підключаються до відповідних тегів у контролері і відображають стан і режим роботи обладнання.

Керувати двигунами і клапанами оператор може з використанням спеціальних екранних форм керування (рис. 7.7).

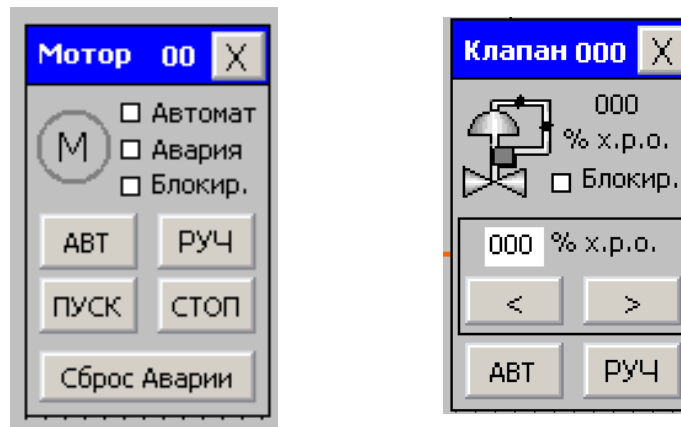


Рис. 7.7 – Екранні форми для керування двигунами і клапанами.

Екранні форми управління також прив'язуються до тегів контролера і дозволяють оператору міняти режим роботи (АВТ / РУЧ) клапана або двигуна, управляти їх станом, підтвердити помилки при їх виникненні. На рис. 7.8 представлений приклад прив'язки тегів до екранної форми управління двигу-

ном. Створені екранні форми згруповані в спеціальній бібліотеці і можуть використовуватися при створенні інших проектів.

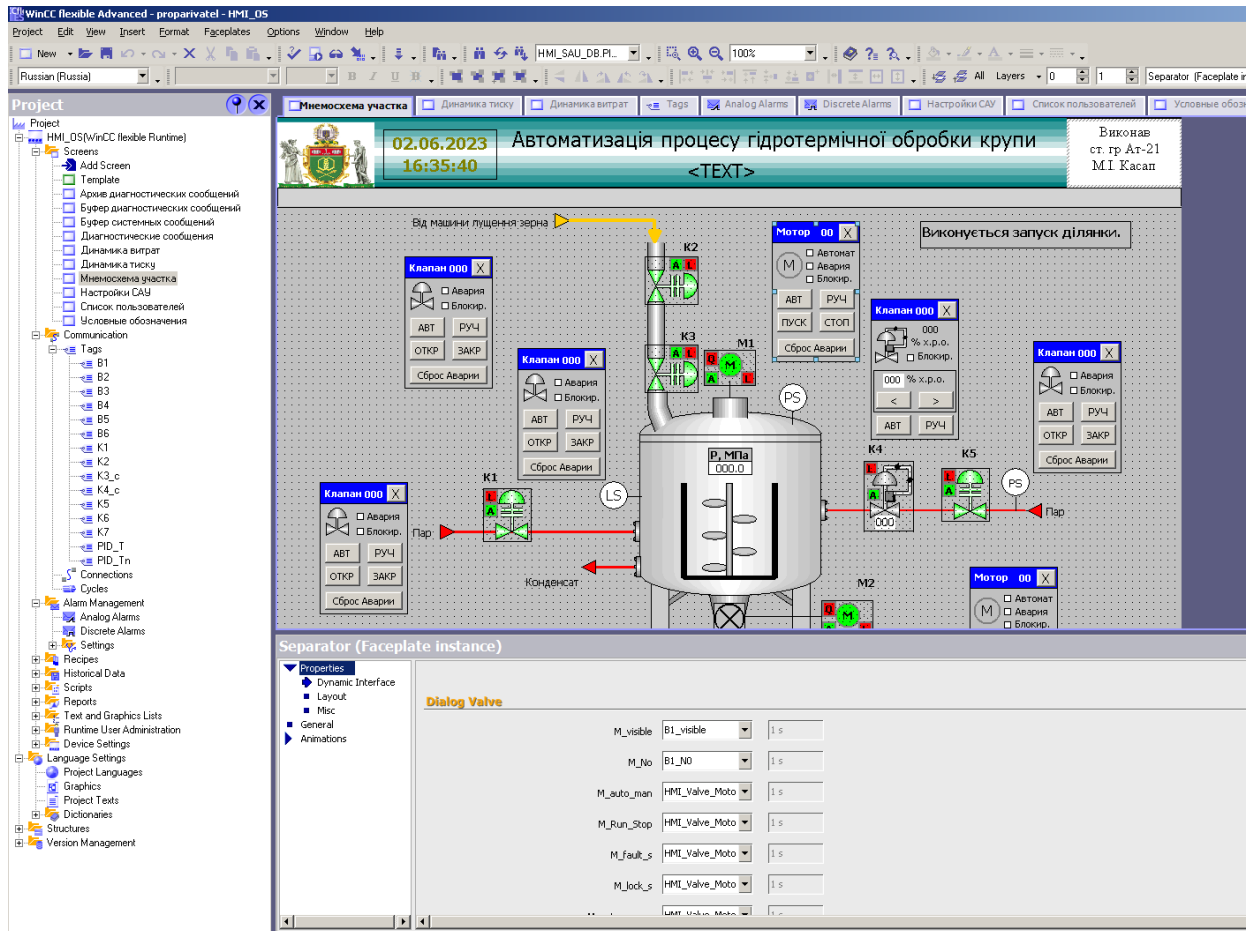


Рис. 7.8 – Фрагмент вікна прив'язки тегів до екранної форми управління двигуном.

На малюнку 7.9 представлений екран «Мнемосхема ділянки» при працюючому в автоматичному режимі, без порушень режиму роботи і справному обладнанні. А на малюнку 7.10 представлений цей же екран, але з відкритими екранними формами управління клапанами і двигунами. Екранні форми управління викликаються натисканням лівої кнопки миші на відповідній екранній формі контролю стану двигуна або клапана. Детальну інформацію про екранних формах контролю стану двигунів або клапанів з розшифровкою їх станів оператор може отримати в екранній формі «Допомога» (рис. 7.11).

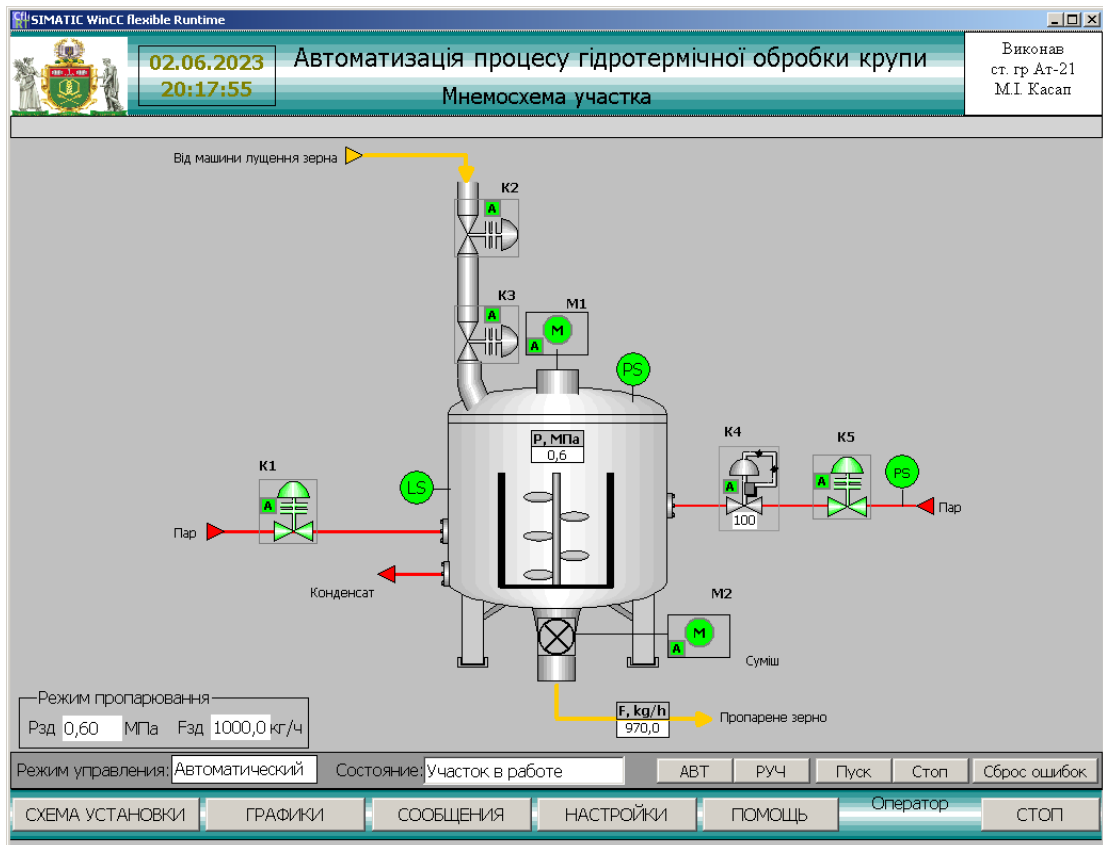


Рис. 7.9 – Загальний вигляд екрану «Мнемосхема ділянки» при нормальній роботі.

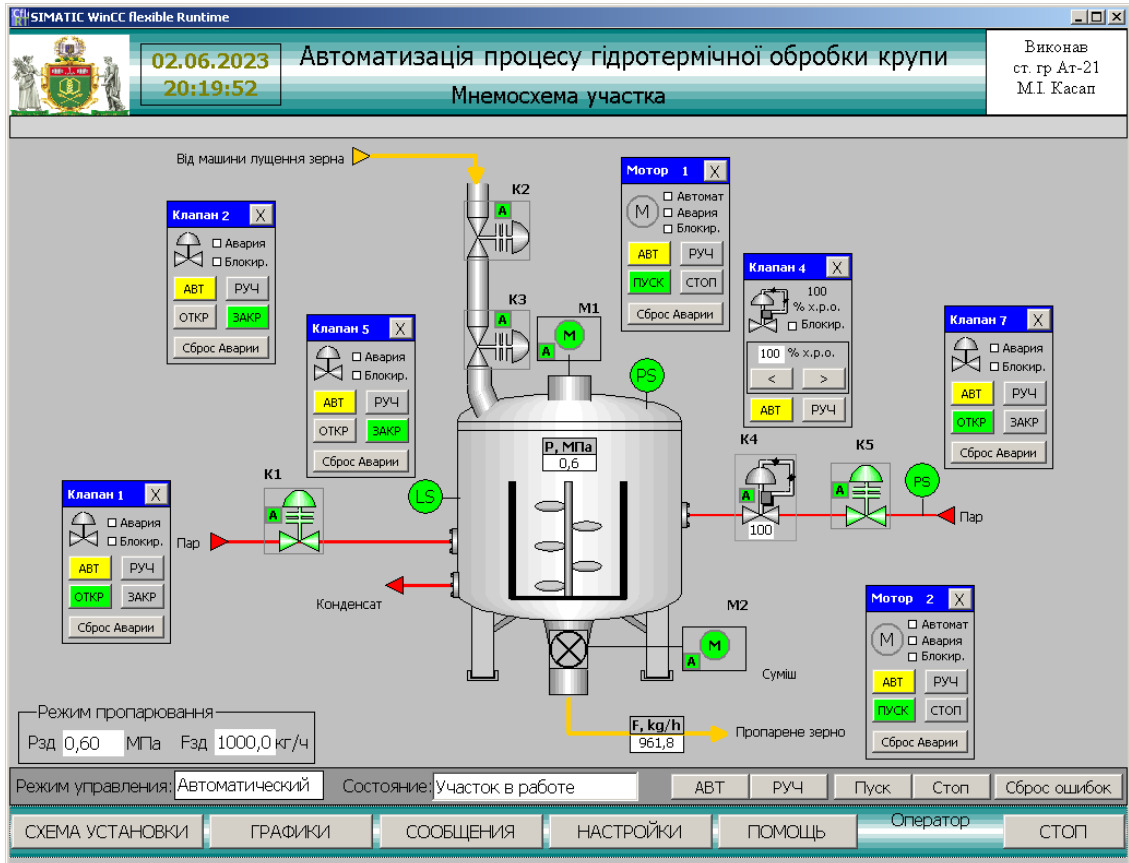


Рис. 7.10 – Загальний вигляд екрану «Мнемосхема ділянки» при відкритих екранних формах управління двигунами і клапанами.

7.2.3. Екран «Допомога».

Екран «Допомога» розроблений як вікно допомоги оператору. На цьому екрані розшифровані умовні позначення, кольору і літерні позначення, які використовуються в основному екрані «Мнемосхема ділянки».



Рис.7.11 – Загальний вигляд екрану «Допомога».

Вивчивши умовні позначення, оператор зможе однозначно інтерпретувати поточний стан двигуна або клапана за його екранній формі. Вивчення цього екрани особливо актуально для нових, тільки приступили до роботи, операторів.

7.2.4. Графіки зміни технологічних параметрів.

Для реєстрації змін основних технологічних параметрів в проекті передбачено вікна побудови графіків зміни тиску та витрат. Для побудови гра-

фіків використовується елемент «Trend View» із стандартної бібліотеки SCADA - системи WinCCFlexible. На малюнку 7.12 представлений вікно реєстрації тиску, а на малюнку 7.13 приклад налаштування елемента «Trend View» і його прив'язки до тегів контролера.

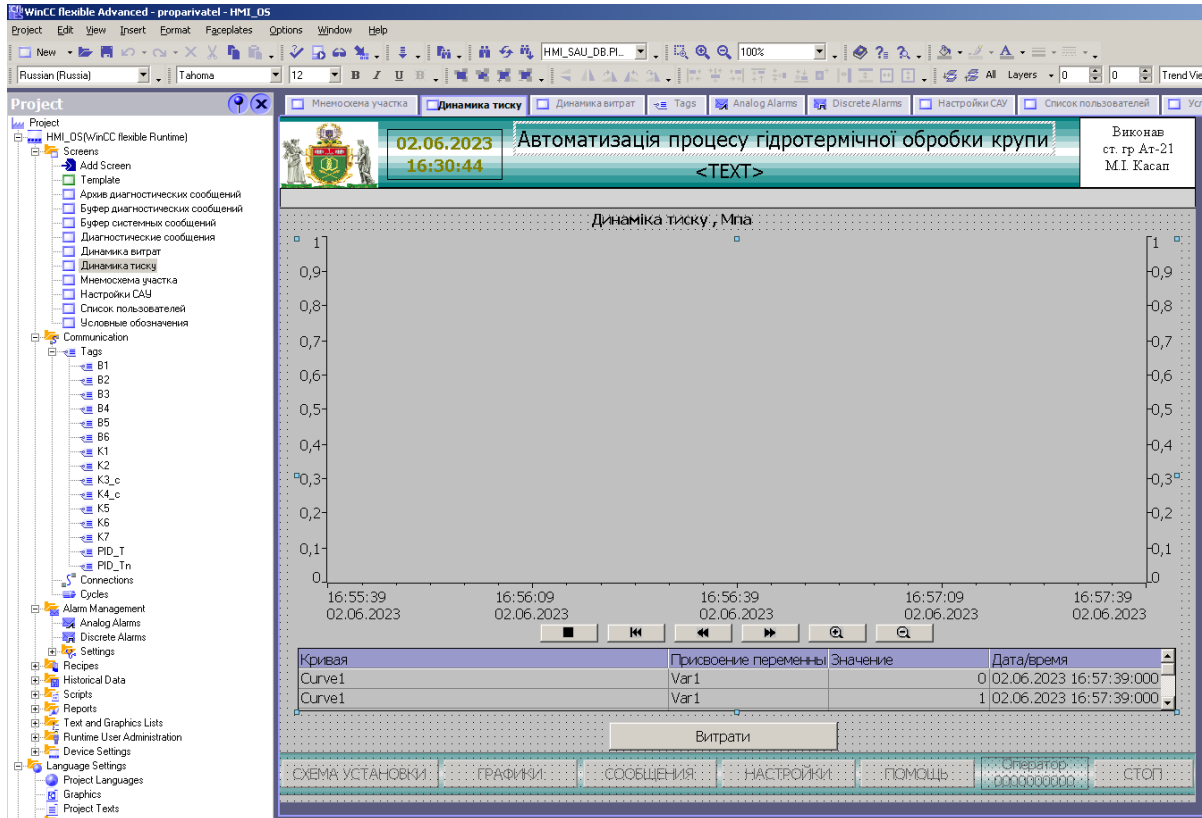


Рис.7.12 – Екран реєстрації температури.

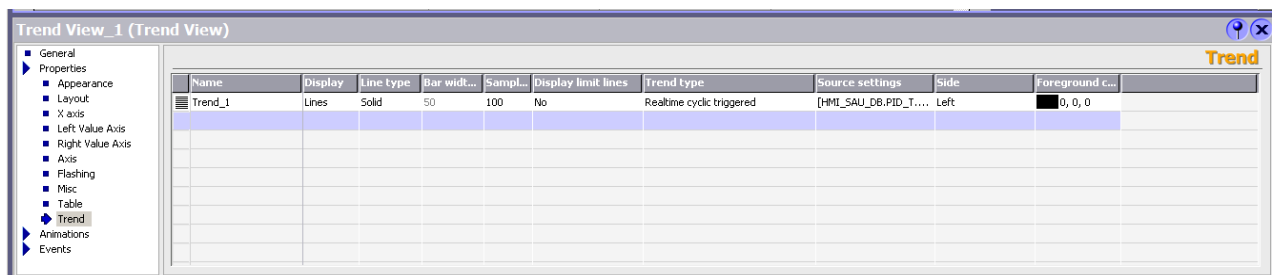


Рис.7.13 – Приклад налаштування елемента «Trend View».

На рис. 7.14 представлені графіки зміни тиску у пропарювачі та витрат крупи під час пуску пропарювача у роботу.

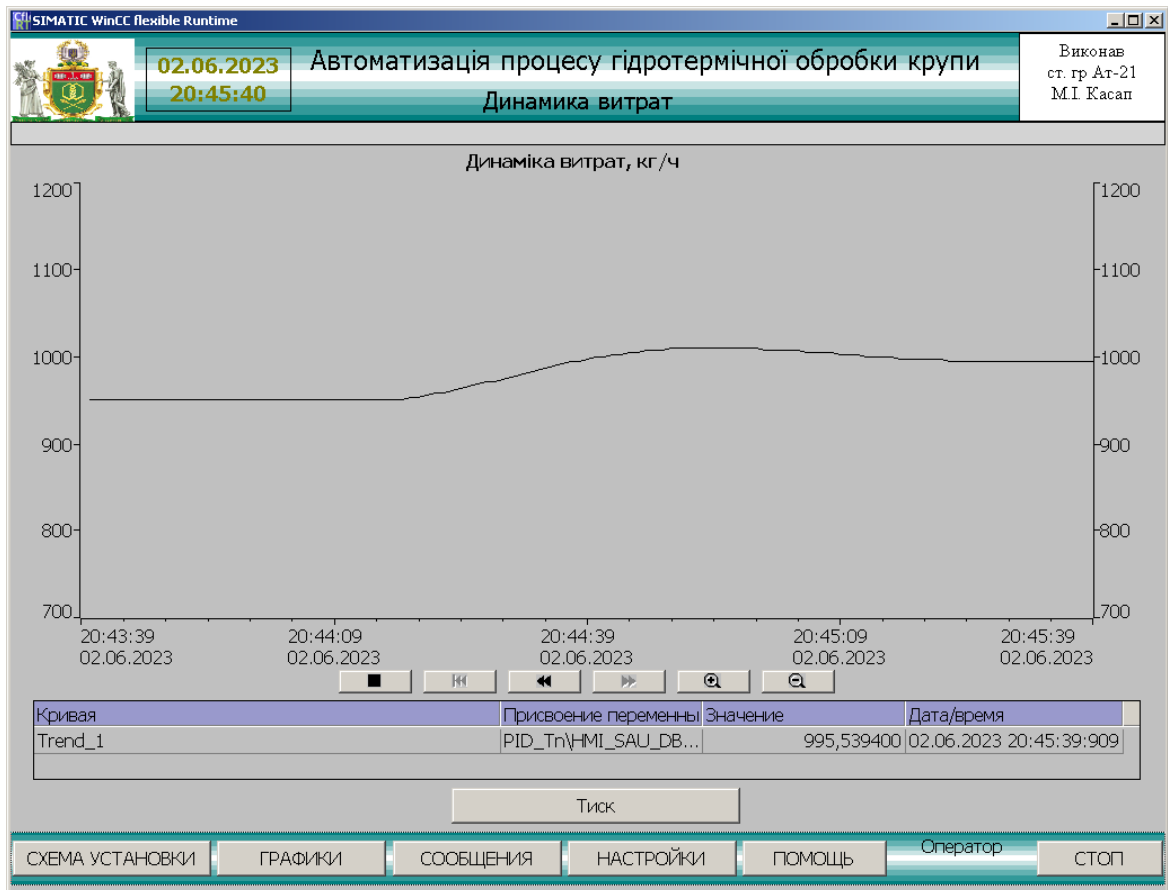
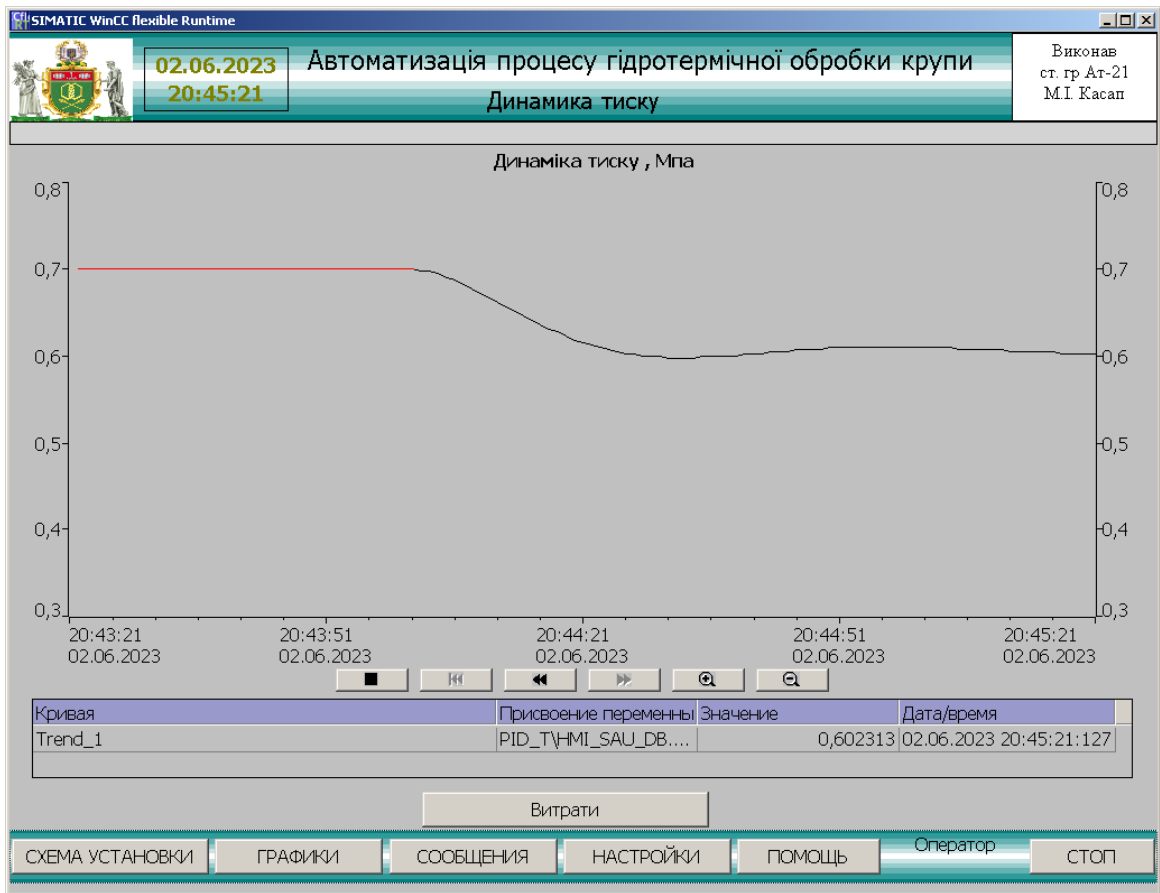


Рис. 7.14 – Графіки зміни тиску та витрат.

7.2.5. Діагностичні повідомлення.

Для інформування оператора про стан технологічного процесу і події виникають з обладнанням процесу нанесення оболонки в проекті створена система повідомлень з використанням відповідного редактора SCADA - системи WinCCFlexible. Система повідомлень включає повідомлення обумовлені користувачем і системні повідомлення. Повідомлення, обумовлені користувачем, розділені на дискретні і аналогові і належать класам «Warnings» (попередження) і «Errors» (помилки). Повідомлення класу «Errors» інформують про критичні або небезпечних робочих станах заносяться в архів. Фрагменти списків дискретних і аналогових повідомлень, класів повідомлень представлені на малюнках 7.15 - 7.17.

Text	Number	Class	Trigger Log	Trigger bit	Trigger address
Управление клапаном K1 заблокировано	1	Warnings	K1_alarm_state	14	DB 1 DBX 60.6
Ошибка клапана K1	2	Errors	K1_alarm_state	15	DB 1 DBX 60.7
Клапан K1 закрыт	3	Warnings	K1_alarm_state	0	DB 1 DBX 61.0
Клапан K1 открыт	4	Warnings	K1_alarm_state	1	DB 1 DBX 61.1
Ошибка двигателя M1	5	Errors	B1_alarm_state	15	DB 1 DBX 6.7
Управление двигателем M1 заблокировано	6	Warnings	B1_alarm_state	14	DB 1 DBX 6.6
Двигатель M1 выключен	7	Warnings	B1_alarm_state	0	DB 1 DBX 1.0
Двигатель M1 включен	8	Warnings	B1_alarm_state	1	DB 1 DBX 1.1
Ошибка двигателя M2	9	Errors	B2_alarm_state	15	DB 1 DBX 10.7
Управление двигателем M2 заблокировано	10	Warnings	B2_alarm_state	14	DB 1 DBX 10.6
Двигатель M2 выключен	11	Warnings	B2_alarm_state	0	DB 1 DBX 11.0
Двигатель M2 включен	12	Warnings	B2_alarm_state	1	DB 1 DBX 11.1
Ошибка клапана K5	13	Errors	Z1_alarm_state	15	DB 1 DBX 72.7
Управление клапаном K5 заблокировано	14	Warnings	Z1_alarm_state	14	DB 1 DBX 72.6
Клапан K5 закрыт	15	Warnings	Z1_alarm_state	0	DB 1 DBX 73.0
Клапан K5 открыт	16	Warnings	Z1_alarm_state	1	DB 1 DBX 73.1
Управление клапаном K2 заблокировано	49	Warnings	K2_alarm_state	14	DB 1 DBX 66.6
Ошибка клапана K2	50	Errors	K2_alarm_state	15	DB 1 DBX 66.7
Клапан K2 закрыт	51	Warnings	K2_alarm_state	0	DB 1 DBX 67.0
Клапан K2 открыт	52	Warnings	K2_alarm_state	1	DB 1 DBX 67.1

Рис.7.15 – Фрагмент вікна редактора дискретних повідомлень.

Text	Number	Class	Trigger Log	Limit	Trigger mode
Тиск у пропаровні вичке нижньої рези	8	Warnings	HMI_SAU_DB.PID_T.PV	0.5	On falling edge
Тиск у пропаровні вичке верхньої рези	7	Warnings	HMI_SAU_DB.PID_T.PV	0.7	On rising edge

Рис.7.16 – Фрагмент вікна редактора аналогових повідомлень.

Name	Display name	Acknowledgment	Log	E-mail address	C color	CD color	CA color	CDA color
Errors	!	On "activated"	Alarm_log_1		Red			
Diagnosis Events	57	Off	<No log>					
Warnings		Off	<No log>					
System	\$	Off	<No log>					

Рис. 7.17 – Загальний вигляд вікна класів повідомлень.

Відображення повідомлень на екрані виконується за допомогою елемента «Alarm View», який може бути налаштований на виведення поточних активних повідомлень, вмісту буфера повідомлень, вмісту архіву повідомлень. При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів. На малюнку 7.18 представлений приклад екрану з елементами «Alarm View» налаштованими на виведення поточних активних робочих повідомлень і повідомлень про несправності, а на малюнку 7.19 представлено вікно властивостей елемента «Alarm View» налаштованого на виведення поточних активних повідомлень про несправності, що відносяться до класу «Errors».

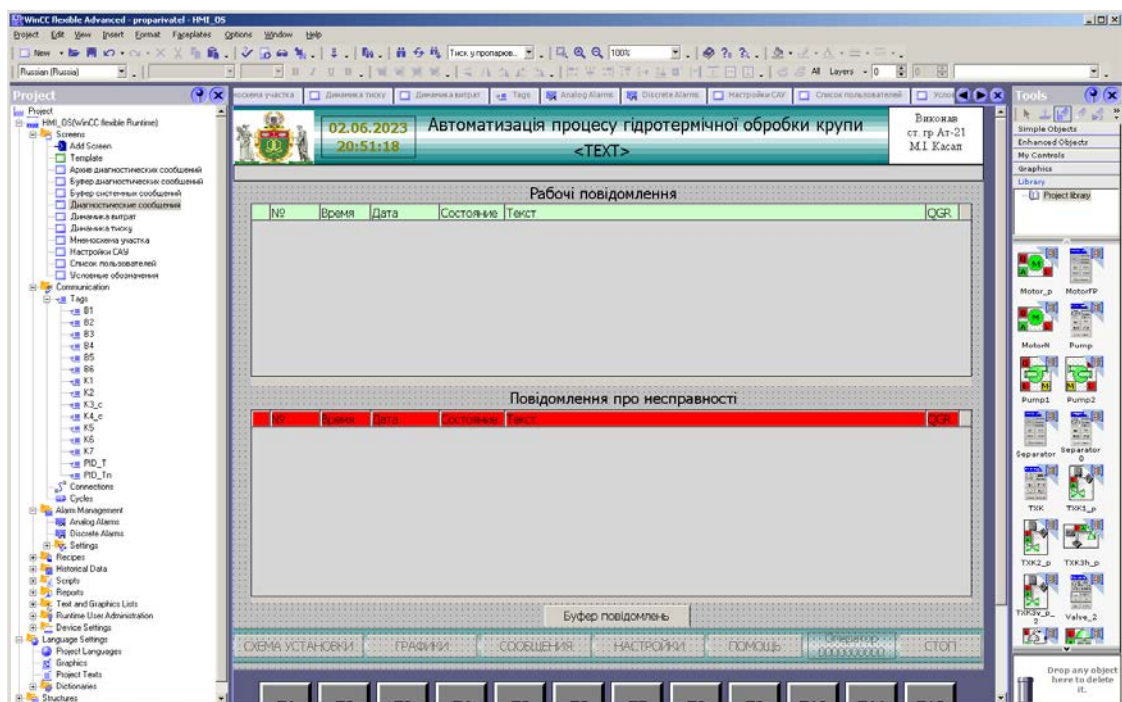


Рис.7.18 – Загальний вигляд екрану виведення поточних активних діагностичних повідомлень.

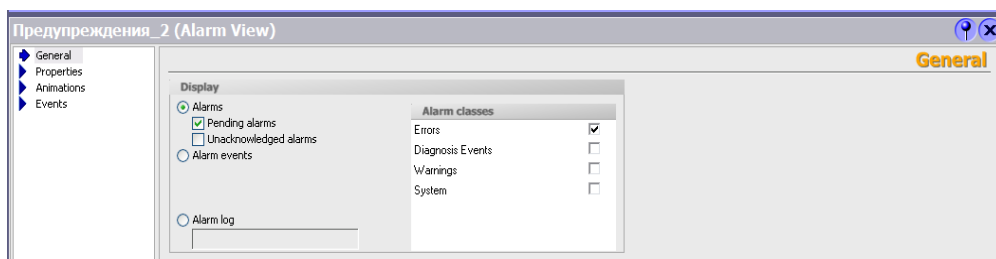


Рис. 7.19 – Загальний вигляд вікна налаштування властивостей елемента виведення повідомлень «Alarm View».

Приклади екранів, призначених для виведення буфера повідомлень і вмісту архіву повідомлень, представлені на малюнках 7.20, 7.21.

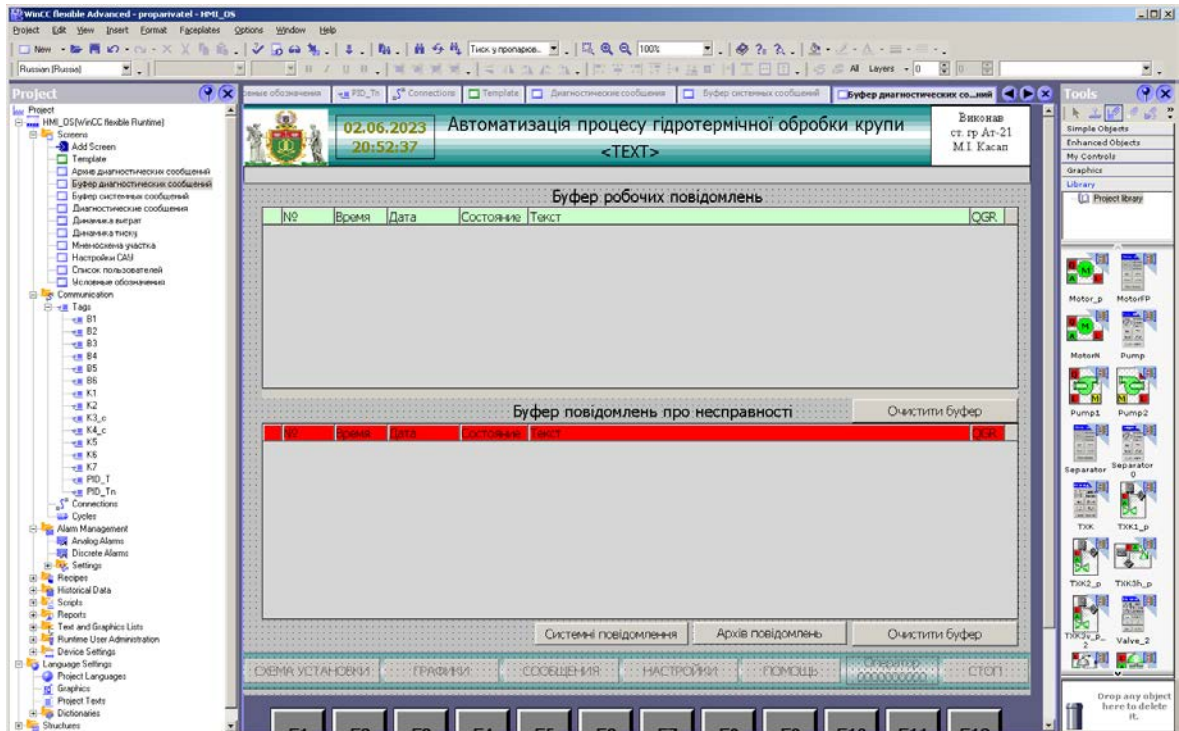


Рис. 7.20 – Загальний вигляд вікна відображення вмісту буфера діагностичних повідомлень.

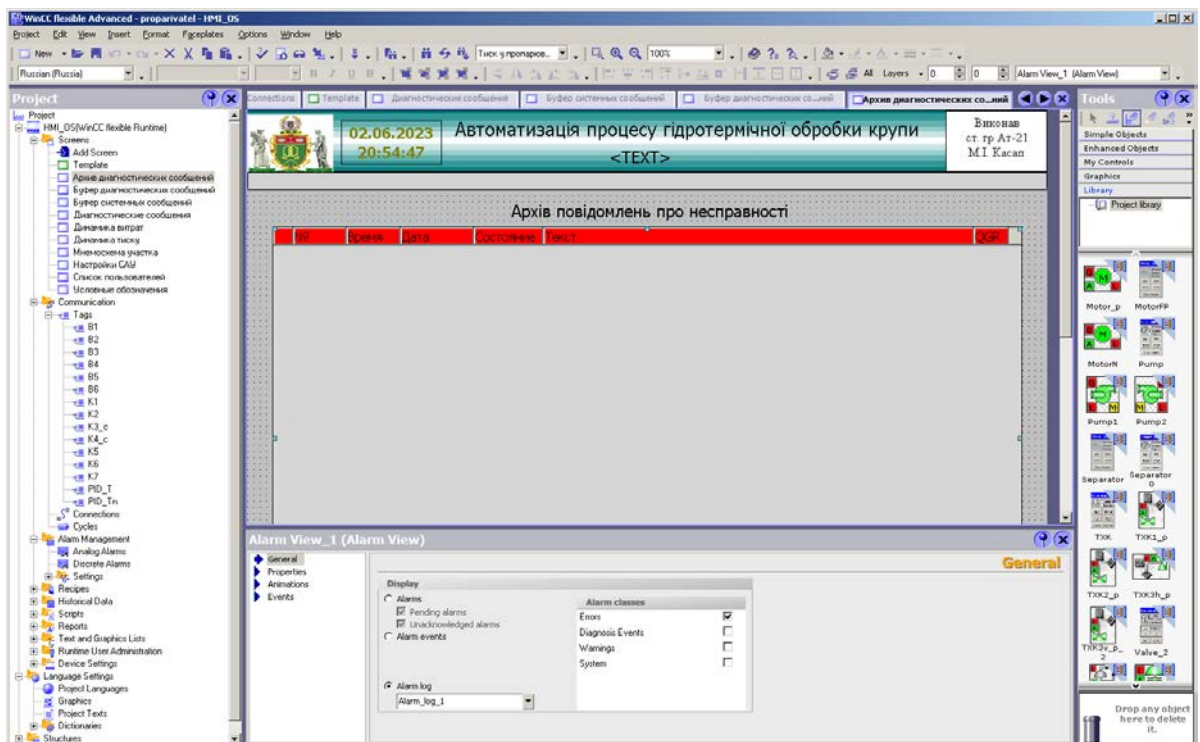


Рис.7.21 – Приклад налаштування елемента відображення вмісту архіву з повідомленнями про несправності.

На малюнках 7.22 - 7.24 представлені екрани, що демонструють роботу системи повідомлень для повідомлень, що визначаються користувачем.

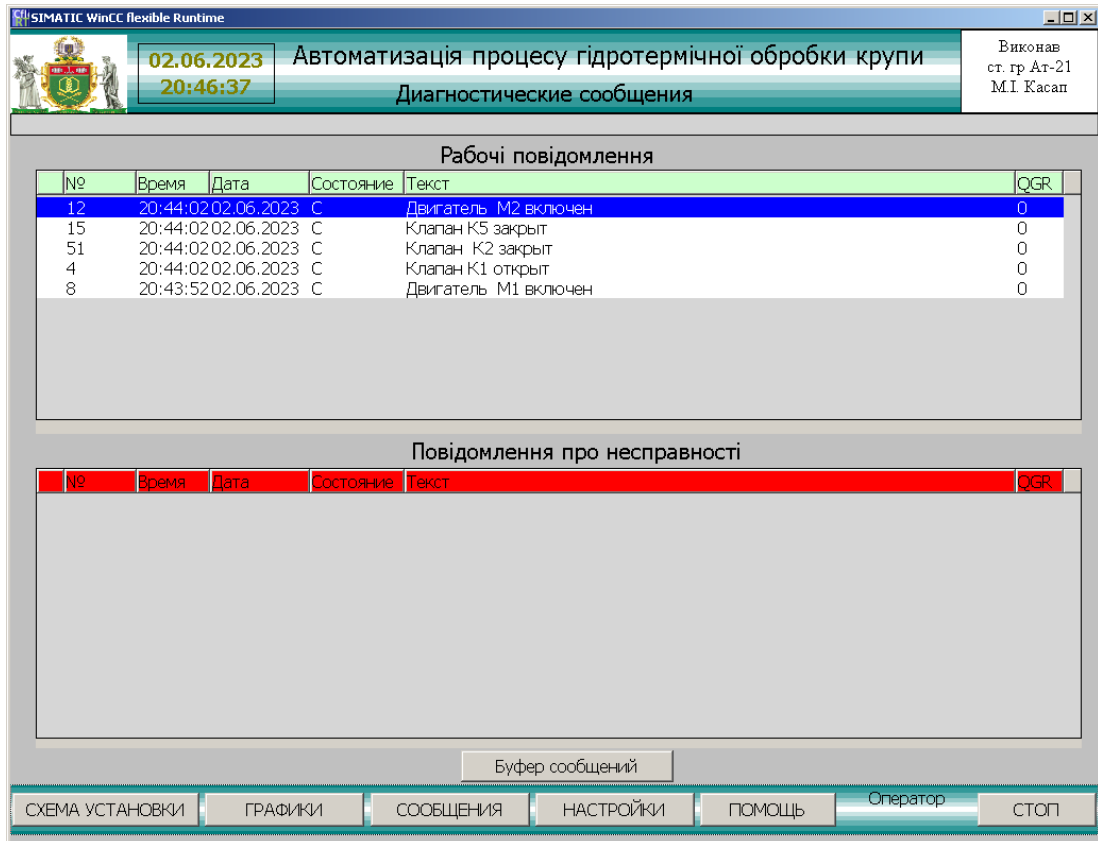


Рис.7.22 – Загальний вигляд екрану з поточними повідомленнями.

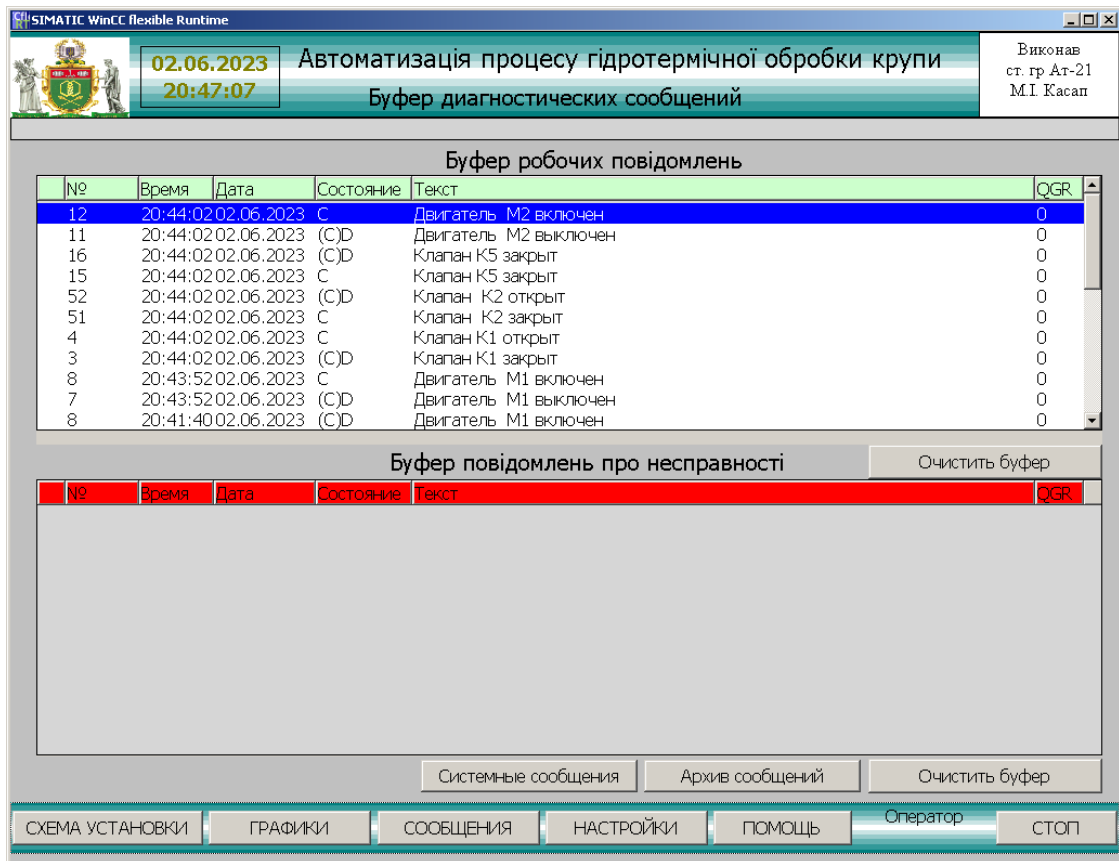


Рис.7.23 – Загальний вигляд екрану з відображенням буфера повідомлень.

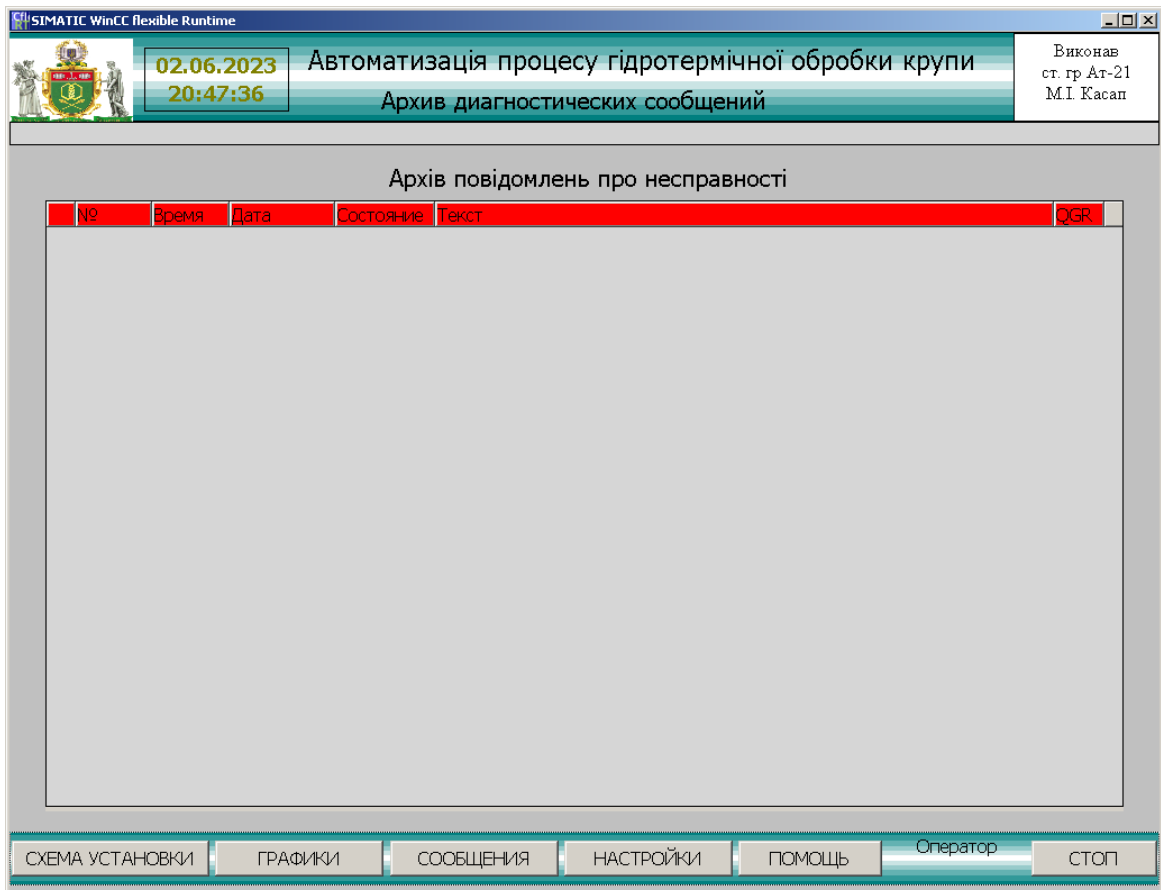


Рис.7.24 – Загальний вигляд екрану з відображенням архіву повідомлень про несправності.

7.3. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ наладчика САУ

Робоче місце наладчика системи автоматичного управління повинно передбачати наявність набору функцій, які максимально охоплюють і забезпечують можливість виконання його професійних обов'язків.

Виходячи з цього, екрани автоматизованого робочого місця наладчика повинні надавати можливість виконання наступних завдань:

1. Управляти контурами регулювання:

- Відображати поточні та задані значення регульованих перемінних;
- Відображати поточні значення керуючих впливів;
- Міняти значення настроювальних параметрів регуляторів;
- Міняти задані значення регульованих змінних;
- Перемикати режими роботи регуляторів АВТ / РУЧ і формувати управляючі дії в ручному режимі.

2. Задавати значення затримок часу для таймерів, що використовуються в алгоритмах пуску і зупину.

3. Задавати значення затримок часу для спрацьовування датчиків положення клапанів.

4. Задавати значення затримок часу для спрацьовування датчиків зворотного зв'язку стану двигунів.

5. Задавати граничні значення технологічних параметрів.

6. Виконувати адміністрування користувачів системи.

7. Виконувати аналіз системних повідомлень.

В зв'язку з цим в проекті, для реалізації АРМ наладчика передбачено слідуєчі екрани:

1. Налаштування САК.

2. Реєстрація.

Програмна реалізація цих екранів у SCADA - системі WinCCFlexible представлена в наступному розділі.

7.4. Розробка екранів АРМ наладчика САК.

7.4.1. Налаштування САК.

Для виконання завдань налаштування контурів регулювання, тайм аутів на спрацьовування датчиків положення, тимчасових затримок для алгоритмів керування пуском і зупинкою, граничних значень технологічних параметрів у проекті передбачений екрани зміни налаштувань САК (рис.7.25).

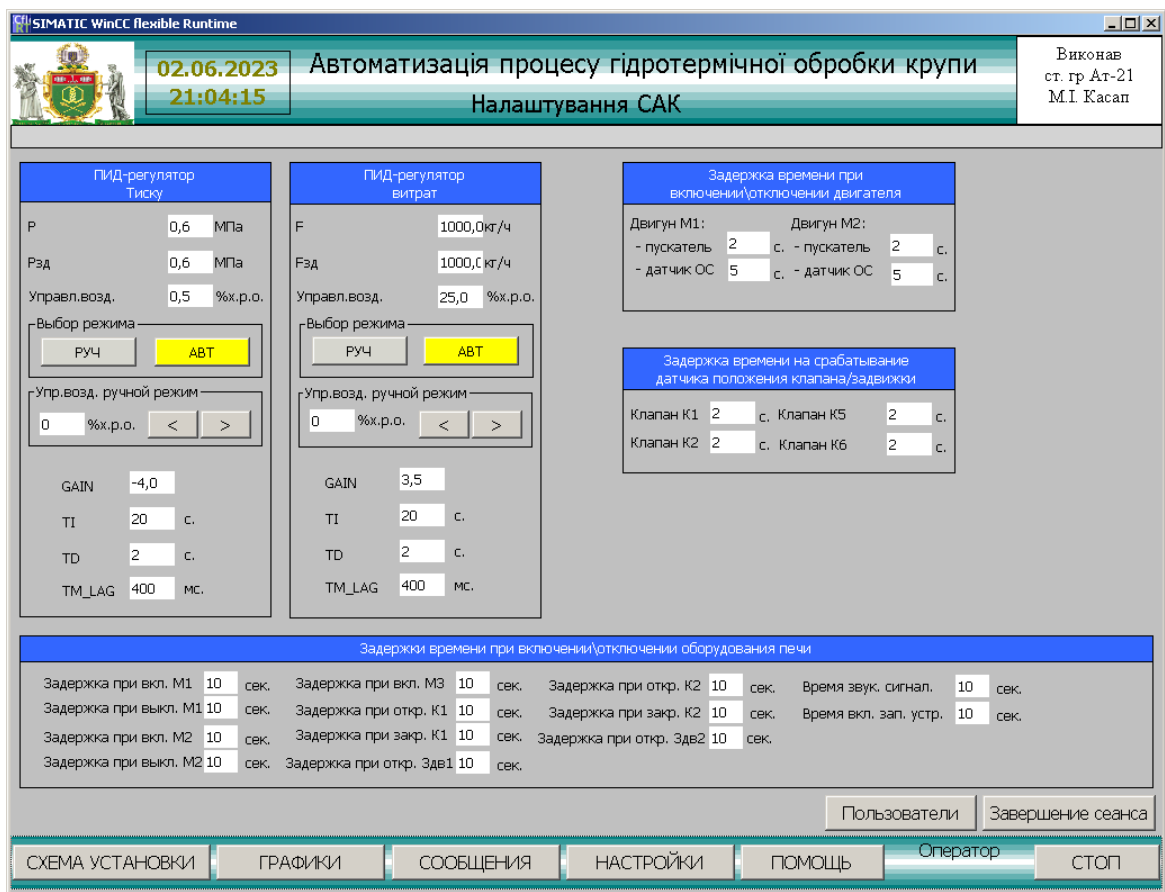


Рис.7.25 – Загальний вигляд екрану «Налаштування САК».

Екрани реалізовані з використанням елементів «IO Field», «Button», «Text Field» стандартної бібліотеки SCADA - системи WinCCFlexible. Всі кнопки і поля введення / виведення прив'язані безпосередньо до тегам в контролері і дозволяють змінювати їх значення.

7.4.2. Список користувачів.

Екран «Реєстрація» (рис. 7.26) надає настройщику можливість виконувати роботу зі списком користувачів. Змінювати імена, паролі, групи існуючих користувачів. Додавати і видаляти користувачів системи. Реалізовано екран на основі елемента «User View».

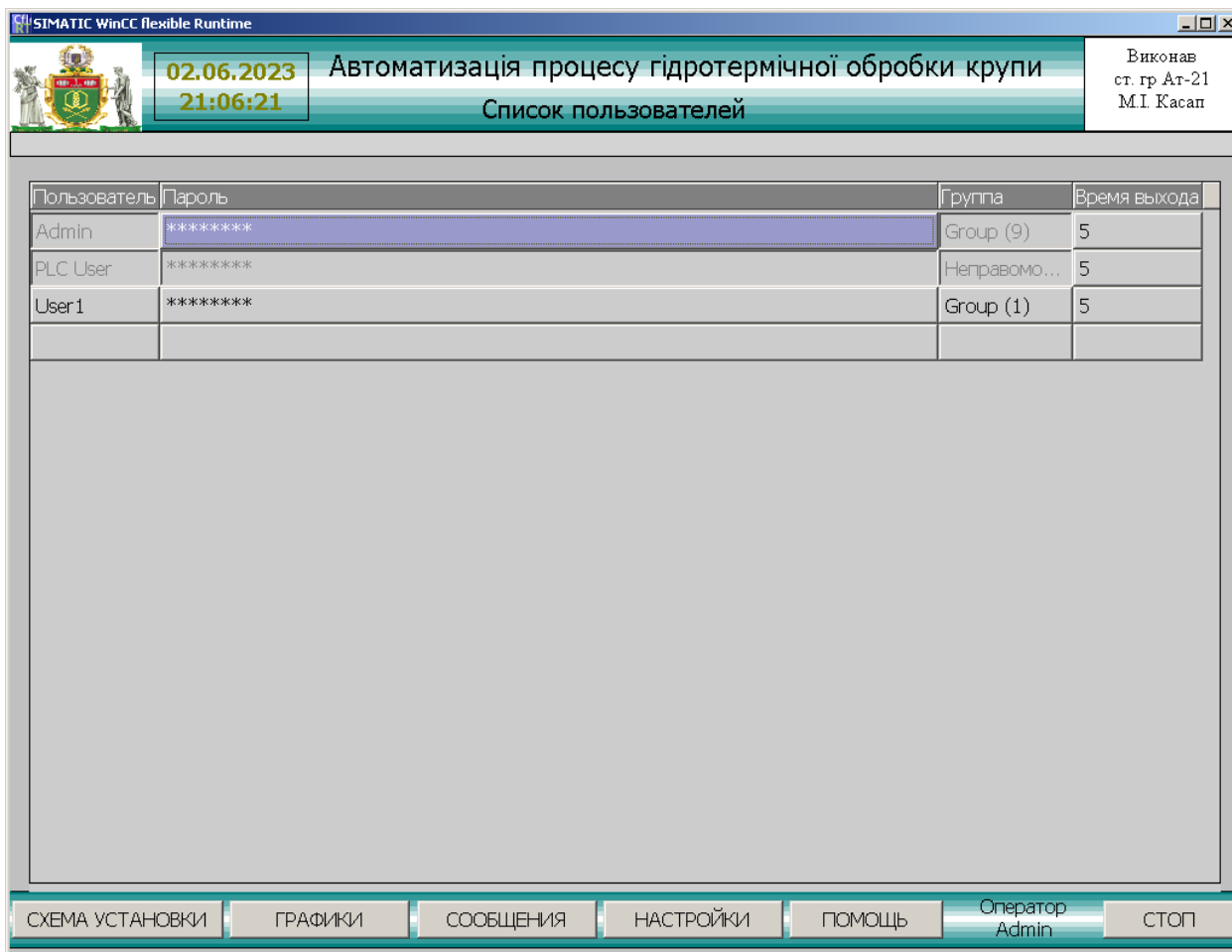


Рис. 7.26 – Загальний вигляд екрану «Реєстрація» з елементом «User View» при роботі програми.

7.5 Висновок за розділом

При виконанні розділу в середовищі SCADA - системи WinCCFlexible розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САК процесу гідротермічної обробки крупи. АРМ дозволяє контролювати хід технологічного процесу, задавати режими роботи, здійснювати перемикання режимів управління обладнанням (АВТ / РУЧ) і управляти в ручному режимі окремим обладнанням, проводити налаштування і налагодження САУ. Відображати динаміку зміни технологічних параметрів, вести журнали подій, проводити адміністрування користувачів програми.

РОЗДІЛ 8 РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САК, ВКЛЮЧАЮЧИ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ

8.1 Характеристики технологічного об'єкта керування та опис основних технічних рішень

Основною характеристикою процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання є тиск пари в апараті та витрати пропареного зерна. Підтримання тиску пари в апараті забезпечуються плавною подачею гріючої пари до пропарювача, а підтримання витрат пропареного зерна – вигрузкою зерна з пропарювача за допомогою шлюзового затвору. В таблиці 8.1 представлено перелік основних регламентованих змінних процесу.

Таблиця 8.1 – Перелік основних регламентованих змінних процесу
гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання

№	Найменування параметрів	Позначення	Од. вимірювання	Ном. значення параметру	Припустимі відхилення від номіналу		
					Тривалі ($t \rightarrow \infty$)	Короткочасні ($0 < t < \infty$)	
						Велич.	Велич.
1	Тиск пари в апараті	Рап	МПа	0,6	$\pm 0,05$	$\pm 0,2$	80
2	Витрати пропареного зерна	Гпз	кг/год	1000	± 50	± 100	60

За результатами вибору КТС й відповідно до складеної технічної структури розроблено фрагмент комплексу проектної документації на систему керування. Комплект включає наступні документи:

Графічні:

- 1 – схему автоматизації;
- 2 – принципову електричну схему контролю та керування;
- 3 – принципову електричну схему живлення;
- 4 – загальний вид щита оператора;

5 – монтажну схему щита оператора;

6 – схему зовнішніх проводок;

Текстові:

– попередній перелік обладнання до всіх графічних документів;

– пояснювальна записка до проекту.

Особливістю принципової електричної схеми контролю й керування, є те, що вона будується як сполучена схема контролю, керування, сигналізації й підключення вхідних і вихідних сигналів до контролера. Щит оператора встановлюється у спеціальному операторському пункті (ОП). На внутрішній площі щита оператора встановлюють електричні прилади, апаратуру, трансформатори, блоки живлення, а на фасадній панелі – прилади, що показують, кнопкові станції, ключі вибору режиму й задачники.

Контролер, що реалізує основні функції контролю та регулювання лінії WAGO 750-881, обраний з програмованих моделей, оснащений інтерфейсами Modbus TCP та Fieldbus.

Всі модулі вводу/виводу серії WAGO 750 монтуються, як окрема конструкція в щиті оператора. Вони використовуються для підтримки регламентних значень, передачу даних на робочу станцію на базі IBM PC сумісного комп'ютера, встановленого також в ОП. Контролери даної фірми серії WAGO 750 призначені для організації взаємодії між обчислювальною системою (ПК), що реалізують функції відображення та архівації інформації й датчиками безперервних і дискретних сигналів, а також для видачі керуючих сигналів на виконавчі механізми. CPU та модулі забезпечують виконання наступних основних функцій:

- прийом і дешифрацію команд по протоколам, Fieldbus та Modbus TCP;
- введення й нормалізацію аналогових сигналів вводу та виводу;
- опитування стану дискретних сигналів вводу та виводу;
- фільтрацію аналогових і дискретних вхідних сигналів.

Взаємодія контролера й комп'ютера (ПК) здійснюється за допомогою ethernet патч-корда за протоколом Modbus TCP.

Для керування установкою застосовується IBM PC сумісний комп'ютер на якому встановлена SCADA-система, що призначена для оперативного контролю, сигналізації, реєстрації параметрів. Також є можливість передачі даних на комп'ютери, що встановлені за межами ОП, за допомогою локальної мережі.

8.2 Розробка схеми автоматизації

Схема автоматизації технологічного процесу є основним документом, що визначає функціональну структуру, обсяг автоматизації й що роз'ясняє певні процеси, що протікають у функціональних ланцюгах. Вона складена відповідно до ДСТУ Б.А. 2.4-16:2008 (заміна ГОСТ 21.404 – 85) "Система проектної документації для будівництва. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах". Особливістю розробленої схеми є те, що всі функції системи розподілені між контролером та комп'ютером (ПК). Функції автоматичного регулювання й логіко-програмного керування, виконує комплект контролерів сумісно з ПК, розташований в операторському пункті. Всі використані датчики обрані з уніфікованим вихідним сигналом струмовим (4...20мА), вихідні аналогові сигнали також 4...20 мА. Розглянемо перелік контурів контролю й керування наведений на схемі автоматизації по позиційним номерам контурів:

- 1-2 – керування та контроль стану електроприводів М1-М2;
- 3 – контроль (адреса лінії зв'язку – 3), стабілізація (адреса лінії зв'язку – 4) тиску пари в апараті;
- 4 – контроль (адреса лінії зв'язку – 5), стабілізація (адреса лінії зв'язку – 6) витрат пропареного зерна;
- 5 – контроль (адреса лінії зв'язку – 7) граничного тиску пари;
- 6 – контроль (адреса лінії зв'язку – 8) верхнього рівня зерна у пропарювачі;

7 – контроль (адреса лінії зв'язку – 9) нижнього рівня зерна у пропарювачі;

8 – контроль (адреса лінії зв'язку – 10) положення засувки №1.

9 – контроль (адреса лінії зв'язку – 11) положення засувки №2.

10 – контроль (адреса лінії зв'язку – 12) подачі пари.

У контурі 11 реалізована функція передпускової сигналізації, а в контурі 12 функції автоматичного пуску та зупинки лінії. В контурі 13 – перетворення інтерфейсних зв'язків між ПК та ЧП.

У контурі керування приводами (1-2) встановлено для кожного ланцюга керування на щиті ключі вибору режиму керування (автомат – дистанція), кнопки "ПУСК", "СТОП", а також світлосигнальна арматура (світлодіод), що показує стан роботи двигуна; по місцю встановлений пристрій відключення двигуна (кнопка "СТОП").

У контурах (3-4) керування виконавчим механізмом аналогової дії на щиті встановлені багатофункціональний прилад типу БРУ-7 з КБЗ-24-19. На лицевій панелі корпусу БРУ-7 можна побачити та змінити задане значення параметру (0 – 100%), переключити режим керування контуру (ручне – автоматичне), побачити на цифровому індикаторі поточне значення регульованої змінної та сигналізацію її граничних відхилень.

Розглянемо дію контуру 3. Від датчика тиску (3а) сигнал струму (4-20мА) подається через БРУ-7 (3б) на вхід AI (WAGO 750-453) МПК. Вихідний сигнал (аналогове регулювання) АО (WAGO 750-555) з МПК подається на БРУ-7 (3б), звідки в автоматичному режимі роботи БРУ сигнал (аналоговий) подається на ВМ клапана (3в) подачі пари до системи.

В ручному (дистанційному) режимі сигнали на ВМ клапана (3в) подаються оператором за допомогою БРУ-7 (3б).

Аналогічним чином працює контур 4, за винятком того, що сигнал керування подається до ЧП електропривода шлюзового затвору.

На схемі показано контури (5,6,7) контролю верхнього та нижнього рівню зерна у пропарювачі та контролю наявності пари. Для цього використано відповідні реле (5а, 6а,7а), сигнал з яких подається на вхід DI (WAGO 750-430) МПК дискретних сигналів.

У додатку А наведено перелік приладів та засобів (табл. А), що використані в схемі автоматизації, а сама схема наведена там же (рис. А).

8.3 Розробка принципової електричної схеми

На принциповій електричній схемі (2 листи в додатку Б) показані елементи, які виконують строго певну функцію і які не можуть бути розділені на частини. Ця схема дає уявлення за допомогою графічних зображень і позначень про послідовність роботи електричних приладів й елементів для досягнення поставлених функціональних завдань. Схема складена відповідно до вимог Держстандартів (ДСТУ) :

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.701. ЕСКД. Схеми. Види й типи. Загальні вимоги до виконання

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.702. ЕСКД. Правила виконання електричних схем;

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.709. ЕСКД. Система маркування ланцюгів в електричних схемах.

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.710. ЕСКД. Позначення умовні, буквено-цифрові, які вжиті на електричних схемах.

Особливістю принципової електричної схеми контролю й керування, є те, що вона будується як сполучена схема контролю, керування, сигналізації й підключення вхідних і вихідних сигналів до контролера.

Надалі розглянемо принцип керування ЕД М1. Керування ЕД М1 здійснюється аналогічним чином. При необхідності пуску електродвигуна в дистанційному режимі при включеному 1QF, ключ 1SA переводять у положення 1, після чого натисканням кнопки «Пуск» (замикаючої) 1SB3 забезпечують подачу живильної напруги (220 В фаза – нейтральний провід) на

котушку контактора 1КМ, що замикає головні контакти 1КМ і двигун починає обертатися. Додатковий контакт 1КМ1 (замикаючий), який шунтує кнопку 1SB3, також замикається в момент подачі напруги на котушку, що забезпечує так назване «самопідхоплення» роботи електродвигуна і дозволяє операторові відпустити пускову кнопку, через 1-3 секунди після натискання. Факт роботи електродвигуна перевіряється при наявності світлової сигналізації по зміні світіння індикатора.

Подібне рішення, є захистом від провалля і повторної подачі напруги (захист від мінімальної напруги), тому що виключає можливість пуску електродвигуна, неконтрольованого оператором.

При необхідності зупинити електродвигун, натискають кнопку «Стоп» (що розмикає) 1SB2, розташовану на щиті оператора або аналогічну кнопку 1SB1, розташовану по місцю (поблизу електропривода). При знеструмленні контактора 1КМ, його головні контакти розмикаються, і двигун зупиняється.

При роботі в автоматичному режимі ключ вибору 1SA переводять у положення 3, при цьому при спрацьовуванні контакту 1К автоматичного пристрою (реле) котушка 1КМ магнітного пускача одержує живлення (220 В), у результаті чого спрацьовують головні контакти пускача і двигун починає обертатися. Зупинка двигуна відбувається при розмиканні контакту 1К, а також, при необхідності, оператор має можливість самостійно його зупинити використовуючи кнопки «Стоп», як описано вище.

Для полегшення читання таких схем на них приводять діаграму роботи ключа вибору режиму.

Для захисту від перевантаження електроприводів М1-М2 використовуються автоматичний вимикач QF, вбудовані системи захисту ЧП (для М2), теплове реле КК (для М1).

У контурах (3-4) керування виконавчим механізмом аналогової дії на щиті встановлено багатофункціональний прилад типу БРУ-7 з КБЗ-24-19. На лицевій панелі корпусу БРУ-7 можна побачити та змінити задане значення параметру

(0 – 100%), переключити режим керування контуру (ручне – автоматичне), побачити на цифровому індикаторі поточне значення регульованої змінної та сигналізацію її граничних відхилень.

Розглянемо дію контуру 3. Від датчика тиску 3а з уніфікованим перетворювачем сигнал струму (4-20мА) дріт 3-21 подається на БРУ-7 (3б) клемма 1, через який від кл.2 дротом 3-22 подається на вхід АІ кл. Е1 (WAGO 750-453) МПК. Вихідний сигнал (4-20мА) (регулювання) з МПК (WAGO 750-555) кл. А1 дріт 3-26 подається на БРУ-7 (5б) кл.21, звідки в автоматичному режимі БРУ сигнал з кл.20 подається дротом 3-25 на ВМ Velimo (3в) кл.3. Зворотній сигнал про ступень відкриття РО (DІ) подається з 3в кл.5 до МПК кл. 8 (WAGO 750-555) дротом 5-27 10.

В ручному (дистанційному) режимі сигнал завдання з БРУ-7 (3б) кл. 9 через його замкнені контакти 19 та 20 подається на ВМ Velimo (3в) кл.3.

Для перетворення струмового сигналу регулювання у сигнал напруги, що керує ВМ Velimo, використано високоточний опір 3R (500 Ом), який встановлюється безпосередньо на ВМ, таке рішення дозволяє зняти можливі похибки пов'язані із довжиною лінії.

Аналогічним чином працює контур 4, за винятком того, що в ролі ВМ виступає ЧП електродвигуна шлюзового затвору. Крім того, передбачено інтерфейсний зв'язок ЧП (4г) через перетворювач (13) з ПК.

Також на схемі ПЕС (л.2) показано контури 5,6 та 7, які забезпечує контроль граничного (верхнього та нижнього) рівня зерна та тиску пари завдяки використанню відповідних реле (5а, 6а,7а), сигнал з яких надходить до входу Е3, Е4 та Е5, дискретного модуля DІ (WAGO 750-430).

Ця схема виконана сумісно зі схемою світлової сигналізації стану ЕД М1-М2 на щиті оператора за допомогою світлодіодів 1VD-2VD. Струм в ланцюгах 1-402–2-402 обмежений опором 1R-2R.

Крім того, на схемі показана організація вихідних дискретних сигналів від дискретного модуля DО (WAGO 750-430), що забезпечує керування ЕД

M1-M2. За допомогою цього модуля реалізовані схеми керування у автоматичному режимі через проміжні реле (1К-2К).

Схема звукової передпускової сигналізації (дзвоник НА) включає ключ 11SA та проміжне реле 11К. Переводом в положення 1 ключа оператор подає звуковий сигнал у дистанційному режимі, в положенні 2 – виключає його, а в положенні 3 ключа підключення включає автоматичний режим, котрий реалізовано за допомогою реле 11К.

За допомогою кнопок 12SB1, 12SB2, підключених дротами 12-1, 12-2 до клем E1 та E2 дискретного модуля DI (WAGO 750-430), ініціюється дія алгоритмів автоматичного пуску та зупинки системи.

Живлення усіх датчиків і щитових приладів здійснюється від джерел показаних на схемі електроживлення.

Усі клеми «←» 24В на джерелах живлення, модулях МПК та приладах об'єднані (дрот 902).

У додатку Б наведено перелік приладів (табл. Б), що використані в принциповій електричній схемі, а самі схеми наведені там же (рис. Б1, рис. Б2).

8.4 Розробка принципових електричних схем живлення

Схема електрична принципова живлення розробляється з урахуванням необхідності безперебійного живлення найбільш відповідальних споживачів системи автоматизації електроенергією, зокрема контролера МПК й ПК. Крім того, для живлення ПК, МПК, через джерело безперебійного живлення, доцільно виконати індивідуальну лінію заземлення. Це є вкрай важливим і відповідальним, тому що від цього буде залежати надійна робота програмного забезпечення системи контролю й керування, що реалізована на них. На схемі представлено електроживлення приладів, перетворювачів, ПК і контролера. Уведення живлення здійснюється від розподільного пункту живлення (існуючого силового щита). У системі зроблений вузол для зручності та

безпеки виконання ремонтних робіт (розетки з живленням 36 В) та освітлення, які живляться напругою до головного автоматичного вимикача SF1. У щиті передбачена установка вхідного автомата SF1, лампи освітлювальної EL та розетки для електроінструмента (36В). В ланцюгах лампи, трансформатору TV1 (220/36В) установлені вимикачі SA1, SA2 запобіжники з плавкими вставками FU1, FU2, FU4.

Живлення контролера WAGO 750-881 здійснюється за допомогою блока живлення «ОВЕН»(220/24В) від джерела безперебійного живлення G2 (UPS). Живлення датчиків та ВМ, розташованих за місцем, здійснюється від блока живлення G1 («ОВЕН»), який живиться від джерела безперебійного живлення G2 (UPS). Живлення щитового приладу типу БРУ-7 здійснюється напругою 220 В від джерела безперебійного живлення G2 (UPS). Лінія живлення останнього захищена вимикачем SA3 та запобіжником з плавкою вставкою FU3.

Для запобігання з'єднання лінії індивідуального заземлення із заземленням корпусів електрообладнання необхідно забезпечити ізолювання корпусу джерела живлення G1 та G2.

Живлення комплекту ПК здійснюється напругою 220 В від UPS. Всі ланцюги живлення (220В) приладів захищені автоматичними вимикачами, установленими в щиті оператора SF2-SF4, а ланцюги живлення (24В) приладів вимикачами SA4, SA5 та запобіжниками з плавкими вставками FU6, FU7, FU8, крім того, використаний запобіжниками з плавкою вставкою FU5 для захисту G1 та позащитових приладів.

У схемі передбачений принцип маркування проводів (за рекомендаціями "ВНДПКІ" "Харчопромавтоматика"), що передбачає: дроти зі змінною напругою 220В, 36В маркірувати номерами 8XX, а дроти з постійною напругою 24В маркірувати номерами 9XX.

У додатку В наведено перелік приладів (табл. В), що використані в принциповій електричній схемі живлення, а сама схема наведена там же (рис. В).

8.5 Розробка документації щита оператора

Загальний вид щита контролю та керування наведено в додатку Г (2 листи). Для реалізації функцій дистанційного контролю та керування був обраний щит Schneider S3D 600x600x400мм, IP66. На фасадній панелі щита керування встановлені апаратура контролю, сигналізації, органи керування. Принцип сигналізації ("темна схема"), закладений у розробленому щиті, полягає в тому, що при штатному режимі світлосигнальна арматура не горить, а у випадку позаштатних режимів (зупинка двигунів) горить сигнальна арматура з червоним світлофільтром.

Панель щита покрита плівкою (технологія "оракал"), з написами, виконаними методом комп'ютерної поліграфії.

На панелі вирізані отвори для встановлення відповідних приладів. Позначення приладів (тумблерів, кнопок, світлосигнальних елементів, перемикачів) погоджено зі специфікаціями для схеми автоматизації, ПЕС та схеми електроживлення.

Кожний тип апаратури пронумерований для складання переліку складових частин, який наведений у додатку. Написи у рамках щита наведені на листі.

Креслення виконані відповідно до вимог ЕСКД із зазначенням розмірів згідно до правил зображення. Перший лист креслення, виконаний у масштабі 1:4, відображає вид на фасадну площину щита оператора. Другий лист креслення, виконаний у масштабі 1:5, відображає вид на внутрішні площини щита: передню, ліву, праву та задню стінку. Креслення супроводжені примітками для виконання виробу.

Контролер WAGO 750-881 встановлений на монтажній панелі (задня стінка).

Варіант із розташуванням приладів на бокових стінках щита реалізований тому, що щит встановлений в операторському пункті, де

здійснюється кондиціонування або вентиляція, а, відповідно, відсутні вимоги до герметизації щита.

Монтажна схема щита оператора наведена у додатку Г (2 листи), виконана адресним методом. Схема монтажна безмасштабна. На першому листі схеми відображені внутрішні з'єднання приладів, що розташовані на лівій, задній та правій боковій стінці. На другому листі схеми відображені внутрішні з'єднання приладів, що розташовані на фасадній панелі. Контролер (МПК) розміщений на задній стінці (на монтажній панелі) всередині щита. Його монтажна схема виконана сумісно зі схемою щита. Також для навчальних цілей схема підключення зовнішніх проводок також виконано сумісно із монтажною схемою щита.

Таке рішення дозволяє сумісно зі схемою зовнішніх проводок наглядніше показати організацію апаратних зв'язків між датчиками, ВМ, магнітними пускачами двигунів, ПК і щитом оператора.

Нумерація кабелів визначається схемою зовнішніх проводок і переноситься у дану схему.

У додатку Г наведено перелік складових частин для щита оператора (табл. Г), а самі схеми наведені там же (рис. Г1, рис. Г2, рис. Г3, рис. Г4).

Перелік складових частин для щита оператора, наведений у додатку Г, включає монтажні матеріали.

8.6 Розробка схеми зовнішніх проводок

Схему виконано згідно до державних стандартів та рекомендацій керівних матеріалів, і наведена у додатку Д.

На схемі представлена прокладка кабелів від датчиків, ВМ, магнітних пускачів двигунів, також ланцюгів живлення до щита оператора й прокладка кабелів від щита оператора до комплекту ПК, який розташований в операторському пункті. Кабелі промаркіровані порядковими номерами (1, 2, 3, ...).

Прокладку вимірювальних ланцюгів 4..20 мА від датчиків і ланцюгів сигналізації 24В здійснюють кабелем контрольним мідним КВВГ перетином 1,0 та 1,5 мм², а також проводом з'єднувальним ПВСн перетином 1 мм². Ланцюги живлення двигунів (380/220В) та кабель живлення щита оператора прокладаються кабелем контрольним мідним негорючим КВВГнг перетином 2,5 мм². Такий перетин дозволяє передавати струм до 21А, що є достатнім для потужності двигуна. На схемі відображені з'єднання пристроїв у операторському пункті (ОП), а також показана лінія індивідуального заземлення. Для захисту кабелів при прокладці їх через перекриття й на висоті до 2,5 метрів застосовується металорукав МР-20. Монтаж приладів і засобів автоматизації, прокладку проводів до них здійснюють із дотриманням вимог монтажно-експлуатаційних інструкцій заводів-виготовлювачів, будівельних норм і правил.

У додатку Д наведено перелік монтажних матеріалів і виробів (табл. Д), що використані в схемі зовнішніх проводок, а сама схема наведена там же (рис. Д).

8.7 Охорона праці

Так як розробляється установка, мета якої забезпечити процес зволоження зерна, то можна ідентифікувати потенційно небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що можуть виникнути при експлуатації цієї системи. Наведемо їх гранично-допустимі концентрації з посиланням на нормативні акти, в яких вони встановлені, та зазначимо наслідки від їх впливу. Зведемо дані у таблицю 8.2.

Таблиця 8.2 – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
1.	Підвищена або знижена температура повітря робочої зони	21-24 °С	Стан втоми, перегрів або переохолодження організму
2.	Підвищена або знижена рухливість повітря	0,2-0,4 м/с	Простудні захворювання, перегрів організму
3.	Підвищена або знижена вологість повітря	65-75%	Ревматичні, алергічні, захворювання
4.	Недостатня освітленість робочої зони	КПО -1,2%,Е – 200 лк.	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
5.	Підвищений рівень шуму на робочому місці	80 дБА	Захворювання органів слуху
6.	Підвищений рівень вібрації на робочому місці	0,028 м/с x 10 ⁻² /75дБ (загальна вібрація); 2 м/с x 10 ⁻² /112 дБ (локальна вібрація)	Захворювання нервової системи
7.	Статичні перевантаження	-	Стан втоми
8.	Прямий і відбитий відблиск монітора	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
9.	Знижена контрастність	-	Стан втоми, перенапруження зорових аналізаторів
10.	Підвищений рівень електромагніт-ного випромінювання	10 Вт/м ²	Біохімічні зміни в організмі

Таблиця 8.2 (продовження) – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
11.	Підвищений рівень іонізації повітря	n+: 1500-3000 одиниць/ см ³ ; n-: 3000-5000 одиниць/ см ³	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання
12.	Канцерогенні, токсичні, мутагенні речовини (озон, оксид азоту, оксид вуглецю, толуол, ксилол, бензол, ізооктан тощо.)	Озон - 0,1 мг/м ³ ; оксид азоту – 5 мг/м ³ ; бензол – 15/5 мг/м ³ ; ксилол – 50 мг/м ³ ; толуол – 50 мг/м ³ ; оксид вуглецю – 20 мг/м ³ .	Біохімічні зміни в організмі
13.	Мікроорганізми	-	Захворювання верхніх дихальних шляхів, алергічні захворювання
14.	Локальні перенавантаження м'язів кистей рук	-	Тунельний синдром
15.	Монотонність праці	-	Стан втоми, головний біль

Визначимо категорії приміщень. Об'єкт автоматизації представляє машину для зволоження та адміністративну будівлю, в якій вона розташована. Автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора розташовано у окремому.

Будівля, де розташовується АРМ оператора, з пожежовибухонебезпеки відноситься до приміщень категорії В. За класом пожежі вона відноситься до А та Е. З безпеки ураження електричним струмом вона відноситься до категорії приміщень без підвищеної небезпеки.

АРМ оператора передбачає роботу з комп'ютерною станцією за допомогою якої, оператора спостерігає за роботою установки, також, має

можливість керувати установкою в ручному режимі. Всі прилади установки, мають свої умовні позначення та мають можливість змінювати колір, при зміні стану приладів. При появі аварії чи блокуванні в установці, інженер має можливість побачити місце в якому з'явилася аварія, та усунути помилку.

Так як автоматизоване робоче місце розташоване у приміщенні, забезпечується відповідність усіх елементів робочого місця:

- площа на одне робоче місце становить, 10,0 м², а об'єм - 25,0 м³;

норма: площа – 6,0 м², об'єм - 20,0 м³.

- інженер сидить за стандартним столом на м'якому кріслі;

- ЖК монітор відображає всю необхідну інформацію;

- трудові операції виконуються виключно на робочому місці;

- на робочому місці добре освітлення, вікно знаходиться з правого боку, на столі знаходиться світильник.

Визначимо категорію робіт за ступенем важкості. Оператор АРМ виконує роботу в положенні сидячі, що пов'язане з постійним спостереженням (таблиця 8.3).

Таблиця 8.3 – Виробниче приміщення, період року, категорія роботи, що виконується, температура, відносна вологість, швидкість руху повітря

№ п.п	Найменування виробничого приміщення	Період року	Категорія роботи, що виконується	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
1	Операторський пункт	Теплий	Легка 1а	23-25	40-60	0,1
2	Операторський пункт	Холодний	Легка 1а	23-25	40-60	0,1

Зорову роботу, яку на АРМ виконує оператор , відповідає наступним розрядам: Б-2 (робота з дисплеєм), А-2 (робота з документами). Забезпечення

нормованих значень КПО та освітлення на АРМ оператор досягається за рахунок:

- бокового одностороннього розташування вікон;
- фарбування стелі та стін приміщення у світлі кольори;
- планове очищення скла віконних проїомів;
- застосування систем комбінованого освітлення.

Характеристика та нормовані показники виробничого освітлення наведені у таблиці 8.4.

Таблиця 8.4 – Характеристика та нормовані показники виробничого освітлення

№	Виробниче приміщення	Вид освітлення	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд та підрозряд зорової роботи	КПО, %	Освітленість, лк
1	Операторський пункт	Бічне, одностороннє	0,30-0,5	Б-2	1	400

На кожному технологічному об'єкті для забезпечення нормальної експлуатації засобів автоматизації повинні бути затверджені робочі експлуатаційні інструкції та виконавчі схеми електричних і трубних з'єднань апаратури. Перелік інструкцій і схем затверджується головним інженером підприємства.

Пуск і експлуатація технологічного та енергетичного обладнання з несправними та відключеними КВПіА, системою технологічної захистів і пристроями необхідними для експлуатації обладнання в режимі ручного керування, забороняються. У процесі пуску і зупинки устаткування в режимі ручного керування необхідно стежити за проходженням відповідних операцій за показаннями контрольно-вимірювальних приладів. При порушенні встановленої послідовності, тривалості операцій і відхиленні параметрів від

заданих слід негайно зупинити обладнання і повернути його в початковий стан.

Реле й засоби захисту, пристрої технологічної автоматики, а також прилади, за якими ведеться контроль за роботою обладнання повинні бути опломбовані. При необхідності проведення будь-яких робіт на панелях, в щитах і ланцюгах захисту і електроавтоматики умови ввімкненого основного обладнання слід вжити заходів обережності проти помилкових дій в результаті помилок персоналу. Виконання цих робіт без виконавчих схем (по пам'яті), а також без заданих обсягів і послідовностей операцій забороняється. Після проведення робіт у вторинних ланцюгах слід перевірити справність цих ланцюгів і правильність їх приєднання шляхом випробування пристрою (схеми) в дії безпосередньо або побічно.

Безпека обслуговуючого персоналу і сторонніх осіб повинна забезпечуватися шляхом застосування належної ізоляції, дотримання відповідних відстаней до струмоведучих частин або шляхом їх закриття, огороження застосування блокування апаратів, заземлення або занулення корпусів електроустаткування і елементів електроустановок, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції.

Монтажні ремонтні роботи в електричних мережах і пристроях або поблизу них, також роботи по приєднанню і від'єднанню проводів повинні проводитися тільки при знятій напрузі.

Засоби автоматизації з джерелами електроенергії, які знаходяться під напругою або на які в будь-який момент може бути подана напруга, вважаються чинними електроустановками і на них поширюються правила по техніки безпеки. Слюсарно-монтажний інструмент з ізолюючими рукоятками, викрутки, кліщі, плоскогубці та ін. Широко застосовуються при роботах без зняття напруги в електроустановках напругою $\sim 220\text{В}$ / $\sim 380\text{В}$. В якості додаткових засобів захисту застосовуються діелектричні рукавички, діелектричні калоші і діелектричні килими.

Забороняється проводити на ходу, без зупинки машин і механізмів, чищення і змащення рухомих частин, ремонт і заміну окремих деталей.

Всі датчики повинні бути справними, мати чітке клеймо із зазначенням дати перевірки та опломбованими. Забороняється проведення ремонтних робіт на апаратах і комунікаціях, які знаходяться під тиском, на робочому і холостому ходу, наповнених робочими газами, парою, рідинами і т.д.

Перед ремонтом обладнання, механізмів, зчеплених з електродвигунами, обов'язково повинна бути розроблена електрична схема і вивішений попереджувальний плакат «Не включати, працюють люди!».

Перед ремонтом необхідно переконатися в наявності заглушок на вході і виході газу або рідини з обладнання і комунікацій. Заглушки встановлюють з хвостиками, щоб їх можна було бачити. Запобіжники в пристроях автоматики необхідно знімати тільки при відключеному напрузі. Кожен робітник повинен пам'ятати, що електричний струм небезпечний для життя: сила струму 0,1А - смертельна для людини.

Захисного заземлення підлягають металеві неструмоведучих частини електрообладнання, які внаслідок несправності можуть виявитися під напругою і до яких можливий дотик людей. При цьому в приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних, а також в зовнішніх пристроях заземлення обов'язково при номінальній напрузі вище 36 В змінного струму і 110 В постійного струму. При напрузі 500 В і вище змінного і постійного струму заземлення обов'язково в усіх випадках, а у вибухонебезпечних приміщеннях захисне заземлення здійснюється при будь-яких напругах змінного і постійного струму.

Відповідно до типових правил пожежної безпеки організація пожежної безпеки покладається на керівників об'єктів, які зобов'язані:

- організувати на підвідомчих об'єктах вивчення і виконання типових правил усіма працівниками підприємства;
- організувати проведення протипожежного інструктажу і заняття з пожежно-технічного мінімуму;

- встановити у всіх приміщеннях підприємства строгий протипожежний режим і контролювати його дотримання;

- періодично перевіряти стан пожежної безпеки об'єкта, наявність і справність технічних засобів боротьби з пожежею.

Пожежну безпеку окремих підрозділів підприємства (цехів, лабораторій, майстерень, складів і т.п.) забезпечують їх безпосередні керівники, які зобов'язані:

- забезпечити дотримання на підпорядкованих їм ділянках встановленого протипожежного режиму;

- стежити за справністю виробничого обладнання та негайно вживати заходів до усунення несправностей, що призводять до пожежі;

- стежити за тим, щоб після закінчення роботи прибиралися спаленні відходи, відключалися електроприймачі;

- забезпечити постійну готовність до дії засобів пожежогасіння, зв'язку та сигналізації.

Усі робітники і службовці промислових підприємств проходять спеціальну протипожежну підготовку, яка складається з протипожежного інструктажу (первинного і повторного) і занять з пожежно-технічного мінімуму, що проводяться за спеціальною програмою.

Для кожного цеху, майстерні та інших об'єктів повинні бути розроблені протипожежні інструкції, погоджені з пожежною охороною підприємства або з місцевими органами державної пожежної охорони. У цих інструкціях визначаються місця і порядок утримання засобів пожежогасіння, пожежної сигналізації і зв'язку; обов'язки працівників при виникненні пожежі, правила виклику пожежної команди, зупинки і відключення устаткування.

У приміщеннях і на території підприємства, як правило, куріння дозволяється тільки в спеціально відведених для цього місцях. Забороняється застосування відкритого вогню (паяльні лампи, факели та ін.) для обігрівання трубопроводів із замерзшими або застиглими рідинами. Забороняється

захаращувати підходи до технологічного устаткування, засобів зв'язку і пожежогасіння, а також проходи і виходи з приміщення.

На кожному об'єкті повинні бути схеми пожежного водопроводу із зазначенням місць встановлення пожежних кранів і гідрантів, місця їх установки повинні бути позначені спеціальними значками і написами «ПК» і «ПГ».

На підприємствах встановлюється електрична пожежна сигналізація, яка служить для швидкого сповіщення служби пожежної охорони про яка виникла пожежі в будь-якому приміщенні або спорудженні підприємства. Особливо небезпечні виробництва мають бути оснащені засобами автоматичного пожежогасіння: пінного, водяного, порошкового.

8.8 Висновки за розділом

В ході виконання розділу було розроблено варіант фрагменту комплекту технічної документації САК на базі контролера фірми WAGO 750-881. Розроблений фрагмент комплекту включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування процесу зволоження зерна. В результаті виконання отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням МПК, ПК та сучасних пристроїв автоматизації.

Також в рамках цього розділу роботи опрацьовано основні питання, пов'язані з охороною праці при експлуатації системи автоматичного керування.

**РОЗДІЛ 9 ПОПЕРЕДНЄ ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ
ДОЦІЛЬНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ РОБОТИ**

9.1 Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання

1. Підрахуємо оптову вартість вибраних нами засобів автоматизації, на основі цін заявлених виробником, на момент розрахування.

Таблиця 9.1 – Таблиця вартості засобів автоматизації

Засоби автоматизації				
Назва	Тип, марка	Кількість	Ціна без ПДВ, грн	
			За одиницю, грн	Сума, грн
Датчик тиску	Danfoss MBS 3200	1	8 250	8 250
Система виміру витрат	MFI3000	1	57 455	57 455
Реле тиску	RT Danfoss	1	3 250	3 250
Датчик рівня	NIVOCONT R	2	32 120	64 240
Засувка	SIMO	2	3 600	7 200
Двоходовий клапан	Belimo H679N	1	23 669	23 669
Електропривід до ВМ	Belimo SVC24A-SZ-TPC (35c)	3	14 000	42 000
Блок ручного керування	БРУ-7	2	3 920	7 840
Контролер програмований WAGO	WAGO 750-881	1	15 396	15 396
Модуль аналогового вводу	WAGO 750-453	1	7 526	7 526

Таблиця 9.1 (продовження) – Таблиця вартості засобів автоматизації

Засоби автоматизації				
Назва	Тип, марка	Кількість	Ціна без ПДВ, грн	
			За одиницю, грн	Сума, грн
Модуль аналогового виводу	WAGO 750-555	1	7 145	7 145
Модуль дискретного вводу	WAGO 750-430	1	7 540	7 540
Модуль дискретного вводу	WAGO 750-530	1	6 850	6 850
Контактор	Schneider LC1K0901M7	2	415	830
Автоматичний вимикач	Schneider GV2ME143	2	1 192	2 384
Кнопка, червоний штовхач	Schneider XB7NA42	2	75	150
Кнопка, зелений штовхач	Schneider XB7NA31	2	75	150
Джерело безперебійного живлення	Luxeon UPS-1000LE	1	4 400	4 400
Перемикач на 3 положення	Schneider XB7ND33	6	115	690
Світлосигнальна арматура	Schneider XB7EV04BP	2	67	134
Сирена	Schneider XVS10BMW	1	3 000	3 000
Реле проміжне	Weidmuller PS 35836971	6	232	1 392
Щит	Schneider NSYS3D6640P	1	4 150	4 150

Таблиця 9.1 (закінчення) – Таблиця вартості засобів автоматизації

Засоби автоматизації				
Назва	Тип, марка	Кількість	Ціна без ПДВ, грн	
			За одиницю, грн	Сума, грн
Патрон карболітовий Е27 настінний косий	ФПП-03	1	16	16
Трансформатор на DIN-рейку	ЕІ-19293	1	400	400
Вимикач кнопковий на DIN-рейку	SVN413 Hager	5	288	1 440
Розетка на DIN-рейку	Hager SN016	2	160	320
Розетка	Legrand Quteo 2К+3	2	96	192
Автоматичний вимикач	Schneider іС60N	4	140	560
Запобіжник	Запобіжник з плавкою вставкою, ВП	8	5	40
Клемна колодка	Клемна колодка на 50 клем, conta-connect SRK 2,5/2А	2	345	690
Блок живлення	«ОВЕН» БП60Б-Д4-24	1	1 200	1 200
Персональний комп'ютер	Dell 9020-4507	1	36 00	36 000
Вартість:				316 498

Таблиця 9.2 – Таблиця вартості монтажних матеріалів та кабельної продукції

Кабельна продукція			
Тип кабелю	Довжина, м	Ціна без ПДВ, грн	
		Ціна 1м, грн	Сума, грн
Кабель КВВГнг5х2,5	70	55,2	3 864
Кабель КВВГнг4х2,5	20	48,4	968
Кабель КВВГ5х1,5	50	36,2	2 420
Кабель КВВГ4х1	130	28,5	3 750
Дрот з'єднувальний ПВСн2*1+1*1	42	13,2	554
Дрот з'єднувальний ПВСн2*1	85	10,8	918
Дрот монтажний ПВ3*0,5	80	7,9	632
Труба МР20х2,5	430	80,6	34 658
Короб монтажний 30 мм, пластик	9	15,8	142,2
DIN-рейка 35мм	3	60	180
Вартість:			48 086

Вартість всього технічного рішення (C_{OPT}):

$$C_{OPT} = 316\,498 + 48\,086 = 364\,584 \text{ грн.}$$

2. Визначаємо первинні капітальні інвестиції ($C_{ПЕР}$), необхідні для впровадження засобів автоматизації за формулою:

$$C_{ПЕР} = [(C_{ПР} + C_{ПР} \cdot C_M + C_{ПР} \cdot C_T / 100 + C_{ПР} \cdot C_{ТР} / 100) + (C_{ПР} + C_{ПР} \cdot C_T / 100 + C_{ПР} \cdot C_{ТР} / 100) \cdot C_{ЗС} / 100]$$

де: $C_{ПР}$ – продажна вартість засобів автоматизації, яка визначається за формулою:

$$C_{ПР} = C_{OPT} + C_{OPT} \cdot \text{ПДВ} = C_{OPT} (1 + \text{ПДВ}) = C_{OPT} (1 + 0,2) = C_{OPT} 1,2.$$

де: C_{OPT} – оптова ціна засобів автоматизації;

ПДВ – податок на додану вартість (20%).

$$C_{ПР} = 364\,584 \cdot (1 + 0,2) = 364\,584 \cdot 1,2 = 437\,500,8 \text{ грн.}$$

C_M – коефіцієнт відрахування на монтажні роботи ($C_M = 0,1$);

C_T – коефіцієнт відрахування на тару і упаковку ($C_T = 0,25\%$);

$C_{ТР}$ – коефіцієнт відрахування на транспортні витрати ($C_{ТР} = 5\%$);

$C_{ЗС}$ – коефіцієнт відрахування на заготовчо-складські витрати ($C_{ЗС} = 1,2\%$).

Сумарні капітальні інвестиції, які підприємство повинне буде вкласти для впровадження засобів автоматизації, дорівнює сумі витрат на придбання, монтаж і налагодження засобів автоматизації. Знайдемо суму первинних інвестицій для альтернативних варіантів реалізації системи регулювання:

$$I_{\text{ПЕР}} = 437\,500,8 \cdot [(1+0,1+0,0025+0,05) + (1+0,0025+0,05) \cdot 0,012] = 437\,500,8 \cdot 1,165 = 509\,688,4 \text{ грн.}$$

9.2 Річна економія за рахунок модернізації системи автоматизації гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання

Технічні характеристики процесу гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання до модернізації зведено в таблицю 9.3, а після модернізації – в таблицю 9.4.

Таблиця 9.3 – Технічні характеристики системи автоматизації гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання до модернізації

Параметри	Позначення	Значення	Одиниця Виміру
Питомі витрати пари при роботі пропарювача	$H_{Bп}$	2,1	Гкал/т
Вартість пари за 1 Гкал	$Ц_{п}$	1521	грн
Річний обсяг виробництва	OB_p	4 250	тонна
Брак продукції (повторне пропарювання зерна)	$K_{Бp1}$	15	%

Таблиця 9.4 – Технічні характеристики системи автоматизації гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання після модернізації

Параметри	Позначення	Значення	Одиниця Виміру
Питомі витрати пари при роботі пропарювача	НВ _п	2,1	Гкал/т
Вартість пари за 1 Гкал	Ц _п	1521	грн
Річний обсяг виробництва	ОВ _р	4 250	тонна
Брак продукції (повторне пропарювання зерна)	К _{Бр2}	<8	%

1. Визначимо зменшення браку продукції після модернізації системи автоматизації за рік роботи пропарювача ($\Delta\text{Бр}$), за формулою:

$$\Delta\text{Бр} = \text{ОВ}_р \cdot (\text{К}_{\text{Бр}2} - \text{К}_{\text{Бр}1})$$

де: $\text{ОВ}_р$ – річний обсяг виробництва;

$\text{К}_{\text{Бр}1}$ – брак продукції (повторне пропарювання зерна) до модернізації;

$\text{К}_{\text{Бр}2}$ – брак продукції (повторне пропарювання зерна) після модернізації.

$$\Delta\text{Бр} = 4250 \cdot (0,08 - 0,15) = -297,6 \text{ т.}$$

2. Визначимо зменшення витрат на пар після модернізації системи автоматизації за рік ($\Delta\text{З}_в$), за формулою:

$$\Delta\text{З}_в = \Delta\text{Бр} \cdot \text{НВ}_п \cdot \text{Ц}_п$$

де: $\Delta\text{Бр}$ – зменшення браку продукції;

$\text{НВ}_п$ – норма витрати пари;

$\text{Ц}_п$ – вартість пари.

$$\Delta\text{З}_в = -297,6 \cdot 2,1 \cdot 1521 = -950\,691 \text{ грн.}$$

9.3 Приріст чистого прибутку та чистого грошового потоку за рік після модернізації системи гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання

1. Встановимо зміну амортизаційних відрахувань (ΔZ_A):

$$\Delta Z_A = IC_{\text{ПЕР}} \cdot N_A$$

де: $IC_{\text{ПЕР}}$ – первинні капітальні інвестиції;

N_A – норматив амортизаційних відрахувань.

Засоби автоматизації відносяться до 4 групи основних фондів підприємства, для яких норматив амортизаційних обчислень дорівнює 15% в квартал, та річний норматив дорівнює 50%.

$$\Delta Z_A = 509\,688,4 \cdot 0,5 = 254\,844,2 \text{ грн.}$$

2. Визначимо зміну повної собівартості за рахунок модернізації системи автоматизації ($\Delta C_{\text{П}}$):

$$\Delta C_{\text{П}} = \Delta Z_A + \Delta Z_{\text{П}}$$

де: ΔZ_A – зміна амортизаційних відрахувань;

$\Delta Z_{\text{П}}$ – зменшення витрат на пар після модернізації системи автоматизації за рік;

$$\Delta C_{\text{П}} = 254\,844,2 + (-950\,691) = -695\,847 \text{ грн.}$$

3. Визначимо приріст прибутку ($\Delta \Pi$):

$$\Delta \Pi = -\Delta C_{\text{П}}$$

де: $\Delta C_{\text{П}}$ – зміна повної собівартості продукції.

$$\Delta \Pi = -(-695\,847) = 695\,847 \text{ грн.}$$

4. Встановимо приріст чистого прибутку ($\Delta \text{ЧП}$):

$$\Delta \text{ЧП} = (\Delta \Pi - \Delta Z_A) \cdot (1 - N_{\text{П}})$$

де: $\Delta \Pi$ – приріст прибутку;

ΔZ_A – зміна амортизаційних відрахувань;

$N_{\text{П}}$ – податок на прибуток (18%).

$$\Delta \text{ЧП} = (695\,847 - 254\,844,2) \cdot (1 - 0,18) = 441\,003 \cdot 0,82 = 361\,622,4 \text{ грн.}$$

5. Розрахуємо чистий грошовий потік за формулою (ЧГП):

$$\text{ЧГП} = \Delta\text{ЧП} + \Delta\text{З}_A$$

де: $\Delta\text{ЧП}$ – приріст чистого прибутку;

$\Delta\text{З}_A$ – зміна амортизаційних відрахувань.

$$\text{ЧГП} = 361\,622,4 + 254\,844,2 = 616\,466 \text{ грн.}$$

9.4 Висновки за розділом

Виходячи з вищезазначених розрахунків, проект є інвестиційно привабливим, адже приріст чистого прибутку та чистий грошовий потік більше нуля та дорівнюють, відповідно, 361 622,4 грн. та 616 466 грн.

ВИСНОВКИ

Технологічний процес обробки крупи в камері пропарювання є одним з ключових процесів підприємства. Підвищення ефективності саме цього процесу здатне дати суттєвий економічний ефект. Тому саме цей процес було обрано в якості об'єкту для модернізації системи керування.

При впровадженні модернізованої системи керування для процесу обробки крупи в камері пропарювання на базі мікропроцесорної техніки, яка буде ефективно контролювати і керувати процесом, потрібно домогтися зниження енерговитрат. Для цього слід було покращити якість регулювання температури води на подачі, удосконалити існуючі алгоритми логічного керування, модернізувати існуючу елементно-технічну базу на більш нові засоби керування.

Було проведено ідентифікацію моделі процесу опалення будинку як об'єкту керування. Було проідентифіковано канали керування, в результаті чого було з'ясовано, що за каналом «u1-Рап» та «u2-Гпз» ОК має властивість самовирівнювання, тому що технологічний процес є тепловим.

При ідентифікації статичних властивостей ОК була визначена можливість лінеаризації статичної характеристики ОК, свідченням чого можна привести лінійність статичної характеристики на розглянутих ділянках.

При складанні структурних схем моделювання та їх реалізації були отримані результати, що мають достатню ступінь відповідності експериментальним даним, що свідчить про правильність проведення параметричної ідентифікації каналів ОК. Таким чином, результати досліджень можна вважати задовільними, а отримана модель була використана для синтезу та аналізу системи автоматичного регулювання тиску пари в апараті та витрат пропареного зерна в САР підвищеної динамічної точності.

Порівняння перехідних процесів з різними регуляторами показало, що САР з ПІ-регулятором не відповідає гранично припустимим вимогам, а САР з ПІД-регулятором цим умовам відповідає. САР з ПІД-регулятором є кращою за

усіма показниками. Тому ПІД-закон регулювання будемо використовувати і надалі.

У результаті синтезу САР підвищеної динамічної точності ми одержали систему, показники якості якої задовольняють гранично-припустимим значенням. Підвищення динамічної точності САР з ПІД-регулятором дало покращення показників якості. Система виявилась грубою, а значить – працездатною. Для технічної реалізації контуру регулювання тиску в апараті доцільно використовувати автономну САР.

Крім того, було розроблено алгоритми логічного керування пуском, нормальною та аварійною зупинкою ділянки обробки крупи в камері пропарювання. Розроблені алгоритми є доступними до реалізації на мікропроцесорних засобах автоматизації. Завдяки розробленим алгоритмам досягається висока якість керування процесом.

Був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом опалення будинку. Класи точності вимірювальних пристроїв та їх діапазони відповідають виробничим умовам, тобто оператор буде отримувати достовірну інформацію про протікання процесу. Всі пристрої мають ступінь захисту не нижче IP44 та відповідають потрібній ступені вибухозахищеного електрообладнання. Використання уніфікованих вхідних сигналів 4...20mA сприяє підвищенню якості керування.

Були вивчені основні характеристики контролерів фірми WAGO та принципи їх програмування. Отримано навички використання документації виробника, правильного вибору необхідних модулів контролерів і УЗО сімейства S7-300. Отримано практичний досвід програмного конфігурування контролерів сімейства WAGO в середовищі Codesys розробки програм логічного керування і регулювання для керування процесом обробки крупи в камері пропарювання.

В середовищі SCADA-системи WinCC Flexible розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САК. АРМ дозволяє контролювати хід технологічного процесу, задавати режими роботи, здійснювати

перемикання режимів керування обладнанням (АВТ/РУЧ) і керувати в ручному режимі окремим обладнанням, проводити настроювання і налагодження САК, відображати динаміку зміни технологічних параметрів, вести журнали подій, проводити адміністрування користувачів програми. Розглянуто приклад інтеграції з мережею контролерів WAGO.

Було розроблено комплект технічної документації САК на базі контролера фірми WAGO. Розроблений комплект включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування процесом обробки крупи в камері пропарювання. В результаті виконання отримані навички з розробки проектної документації на системи автоматизації з використанням МПК, ПК та сучасних пристроїв автоматизації. Також в рамках цього розділу роботи опрацьовано основні питання, пов'язані з охороною праці при експлуатації системи автоматичного керування.

Виходячи з розрахунків економічної доцільності реалізації проекту, проект є інвестиційно привабливим, адже приріст чистого прибутку та чистий грошовий потік більше нуля та дорівнюють, відповідно, 361 622,4 грн та 616 466грн.

1. Хобин В.А. – Конспект курса лекций по Идентификации и моделированию технологических объектов – Одесса 2016. – 78 с.
2. Конспект лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування» для студентів напряму підготовки 6.050202 денної та заочної форм навчання. Укл. В.А. Хобін. – Одеса: ОНАХТ, 2016. – Ч. 1. – 110 с.
3. Конспект лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування» для студентів напряму підготовки 6.050202 денної та заочної форм навчання. Авт. В.А. Хобін. – Одеса: ОНАХТ, 2016. – Ч. 2. – 72 с.
4. Методические указания к выполнению курсовой работы по курсу «Микропроцессорные и программные средства автоматизации» для бакалавров 6.050202 дневной и заочной формы обучения / Составители: В.М.Левинский, А.И.Павлов, М.Т.Степанов. – Одесса: ОНАПТ, 2011, – 13 с.
5. Каталог ІК РІ «Промышленная связь для систем автоматизации и приводов». – Siemens AG, 2005. – 666 с..
6. О.М. Пупена, І.В. Ельперін, Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник. – К. : Вид-во "Ліра-К", 2011. – 552 с.
7. Денисенко В.В. Комп'ютерне управління технологічним процесом , експериментом , обладнанням . - М .: Гаряча лінія - Телеком , 2009. - 608 с.
8. Загальногалузеві керівні методичні матеріали по створенню і застосуванню АСУТП у галузях промисловості (ОРММ-3). – Москва, 1986.
9. ДСТУ Б А.2.4-4-95. ДКУ Мбіа,1997 (ГОСТ 21.101-93, МНТКС). Основні вимоги до робочої документації.
10. ДСТУ Б А.2.4-3-95. ДКУ Мбіа,1997 (ГОСТ 21.408-93, МНТКС). Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.
11. ДСТУ Б А.2.4-10-95. ДКУ Мбіа,1996 (ГОСТ 21.110-93, МНТКС). Правила виконання специфікацій устаткування, виробів і матеріалів.

12. ДБН А.2.2-3-97. ДКУ Мбіа, 1997. Державні будівельні норми України. Проектування Склад. Порядок розробки, узгодження і твердження проектної документації для будівництва.

13. ДСТУ Б А.2.4-16:2008 Системи проектної документації для будівництва. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах.

14. Трегуб В.Г., Ладанюк А.П., Плужников Л.Я. Проектирование, монтаж и эксплуатация систем автоматизации пищевых производств. – М.: Агропомиздат, 1991. –352с.

15. Емельянов А.И., Капник О.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 400 с.

16. Ключев А. С. и др. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990, - 464 с.

17. Методичні зазначення до виконання курсового проекту з курсу „Проектування систем автоматизації” для студентів фаху 7.092501 денної та заочної форм навчання/Склали Скаковський Ю.М., Старичків В.І.– Одеса: ОНАХТ, 2003р. –35с.

18. Конспект лекцій з курсу “Основи проектування систем автоматизації” для бакалаврів 6.050202 всіх форм навчання/ Укладач Ю. М. Скаковський. – Одеса: ОНАХТ, 2010. – 82 с.

ДОДАТОК А Документація до схеми автоматизації

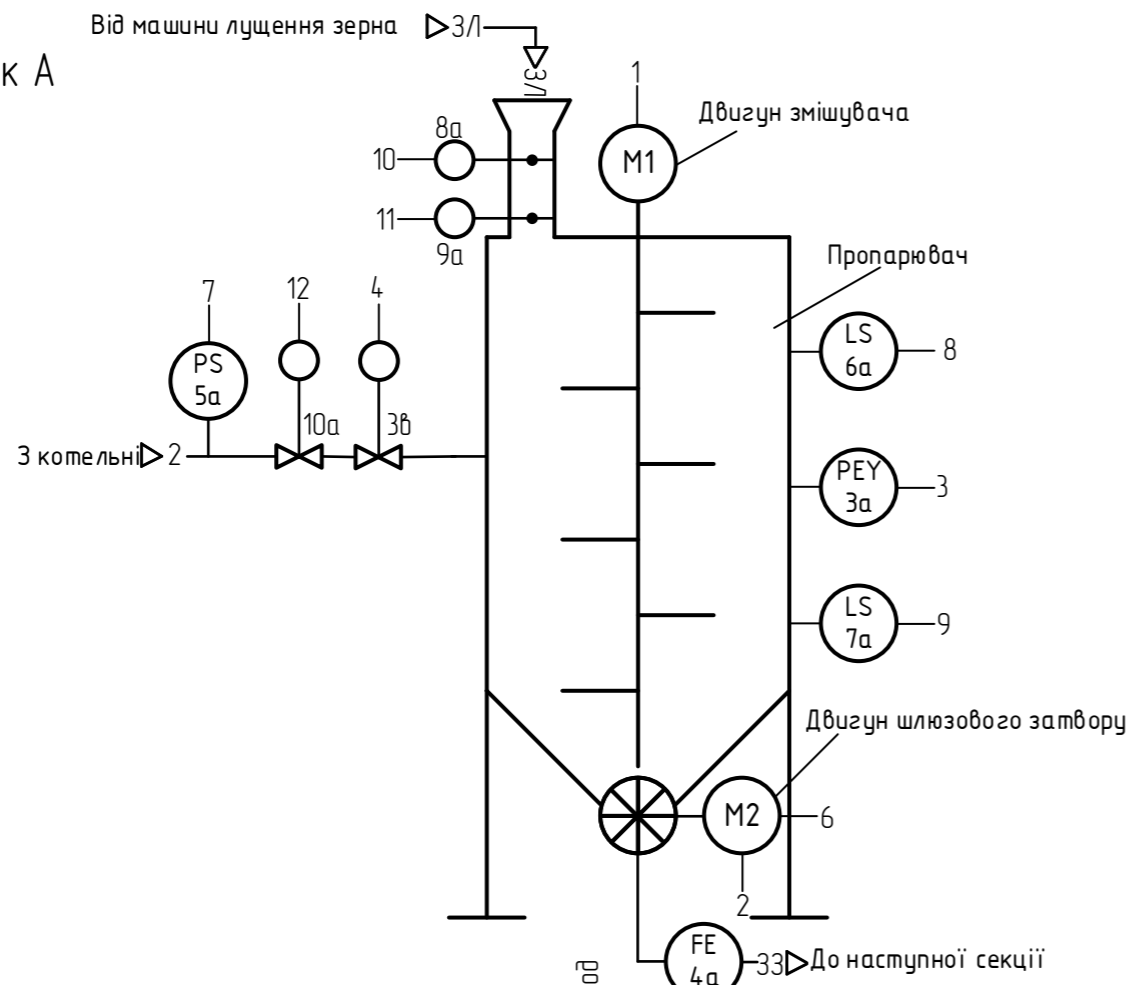
Таблиця А – Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації

Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>Прилади за місцем</u>		
3а	Перетворювач тиску Danfoss MBS 3200, вих. 4-20 мА. живл. 24В, потуж. 1,5Вт, ступінь захисту датчика IP65.	1	
4а 4б	Система виміру витрат MFI3000, вих. 4-20 мА. живл. 24В, потуж. 2 Вт, ступінь захисту датчика IP65, діапазон: 0-30 т/год, основна похибка 0,02%, вибухозахист Ex ta	1 1	
5а	Реле тиску типу RT фірми Danfoss, діапазон: 0-1 кПа, ступінь захисту IP 66	1	
6а,7а	Датчик рівня NIVOCONT R фірми Nivelko, максимальний тиск – 25 бар (2.5 МПа), клас захисту IP67, живл. 24В, потуж. 2 Вт	2	
8а,9а	Засувка з ВМ Belimo SVC24A-SZ-TPC (35с), вх. сигнал 0-10 В, жив. 24В, потуж. 10 Вт	2	
10а	Клапан Belimo H679N з ВМ Belimo SVC24A-SZ-TPC (35с), вх. сигнал 0-10 В, жив. 24В, потуж. 10 Вт	1	
3в	Клапан Belimo H679N з ВМ Belimo SVC24A-SZ-TPC (35с), вх. сигнал 0-10 В, жив. 24В, потуж. 10 Вт	1	
4г	Частотний перетворювач Elettronica Santerno Sinus K 4Т, вх. сигнал 4-20мА, потужність 4,5кВт	1	
	<u>Прилади на щиті управління</u>		
3б-4в	Блок ручного керування БРУ-7, жив. 220 В, 7Вт, вх. сигн. 4-20 мА, з КБЗ -24-19	2	
12	Модуль ADAM 4561 перетворювач інтерфейсів USB-RS485	1	
МПК	Контролер програмований WAGO 750-881	1	
	Модуль аналогового вводу WAGO 750-453	1	4AI
	Модуль аналогового виводу WAGO 750-555	1	4AO
	Модуль дискретного вводу WAGO 750-430	1	8DI
	Модуль дискретного виводу WAGO 750-530	1	8DO

Таблиця А (закінчення) – Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації

Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>Технічні засоби в операторському пункті</u>		
ПК	Персональний комп'ютер в комплекті Dell 9020-4507, з кабелем Ethernet 20м у комплекті	1	з каб. 20м

Додаток А



Позначення	Найменування
— 2 —	Гріюча пара
— 3/1 —	Зерно лущене
— 33 —	Зерно зволожено
SY 4b	Частотний перетворювач
MIA HS 3b	Прилад багатфункціональний, що показує, сигналізує, переключає та задає
UY 13	Перетворювач інтерфейсів

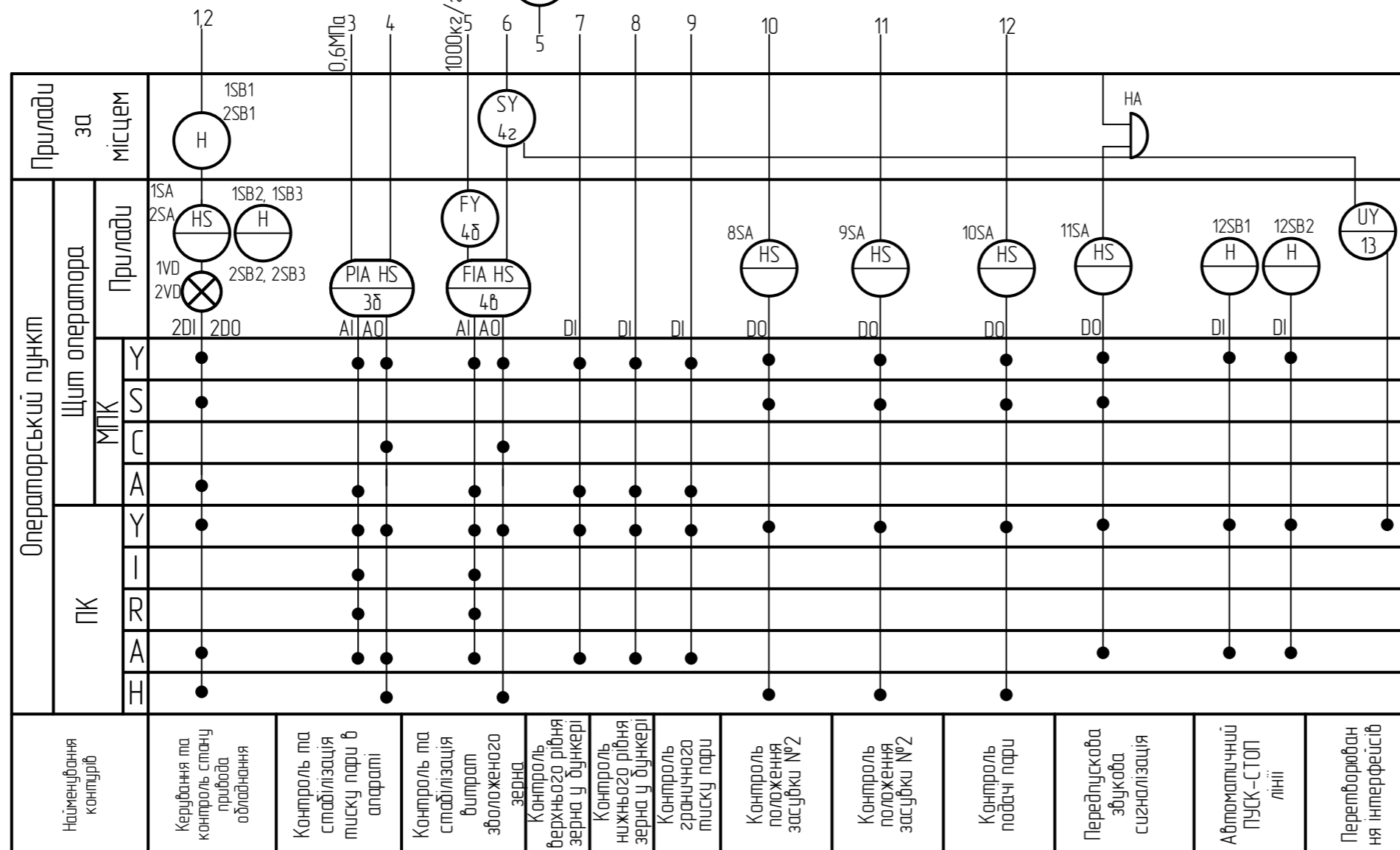


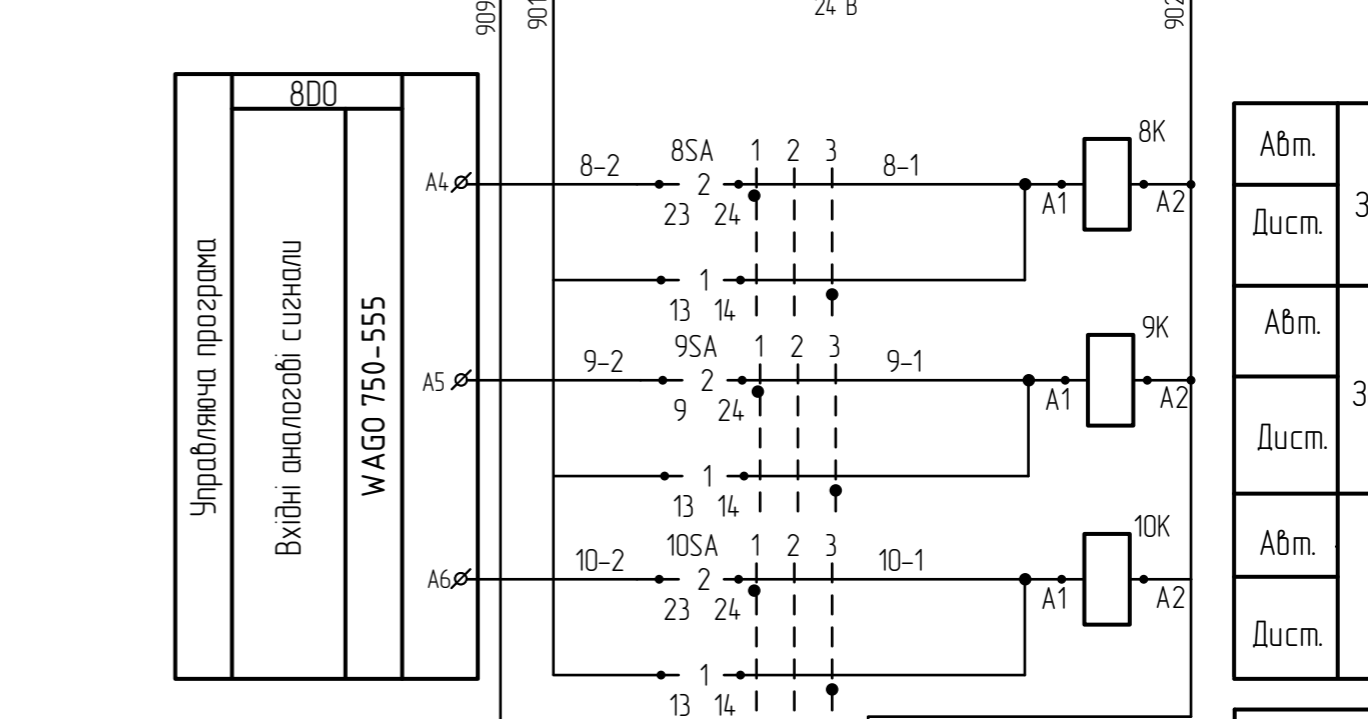
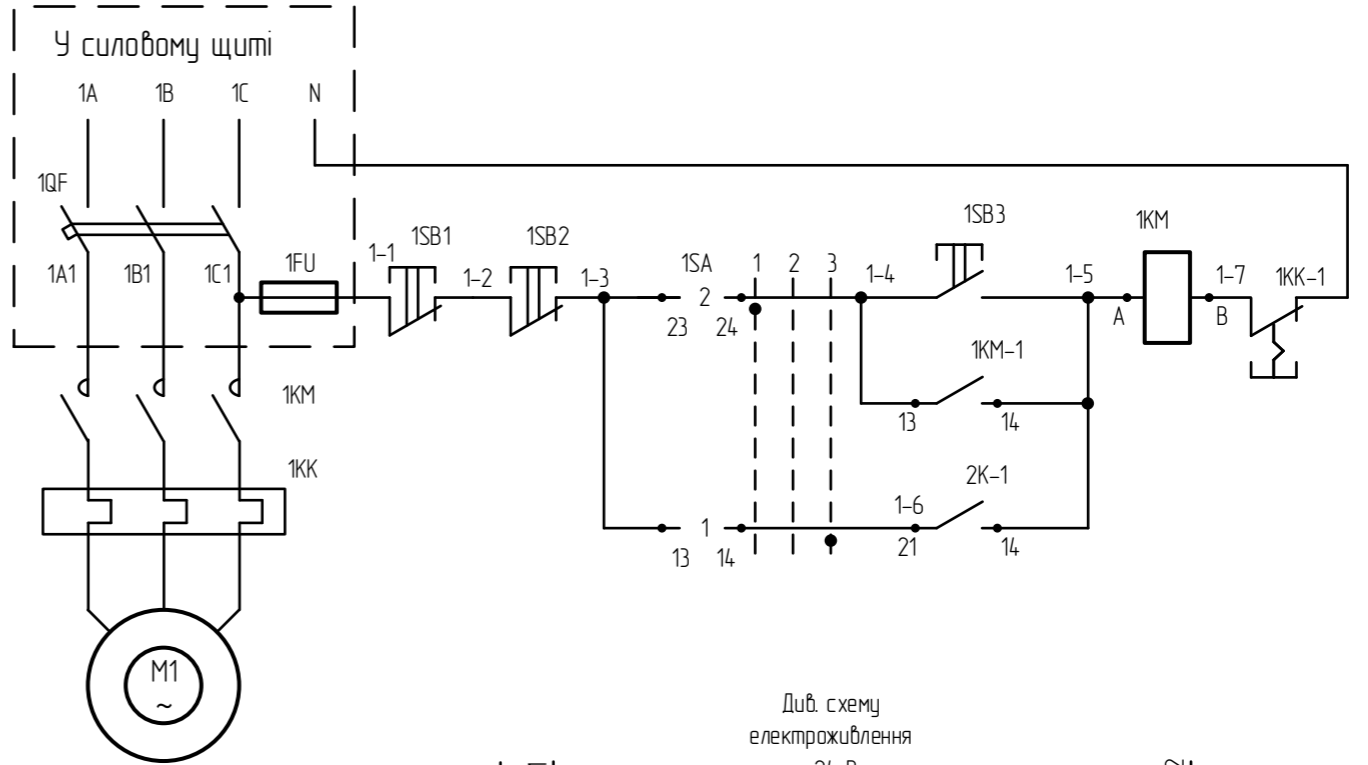
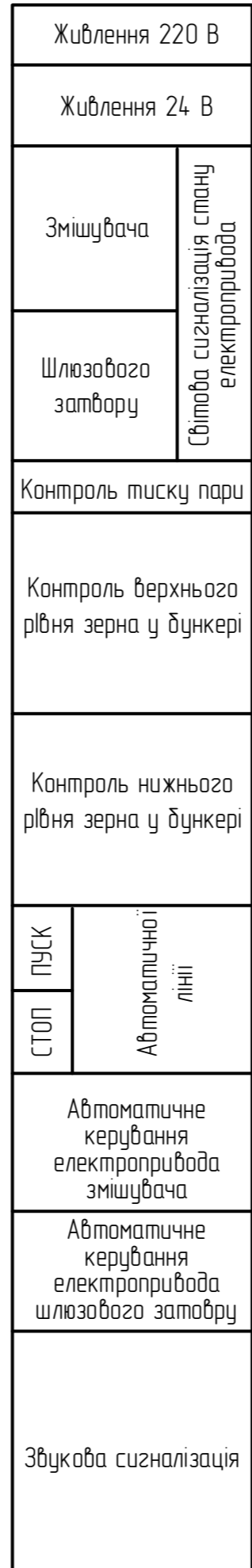
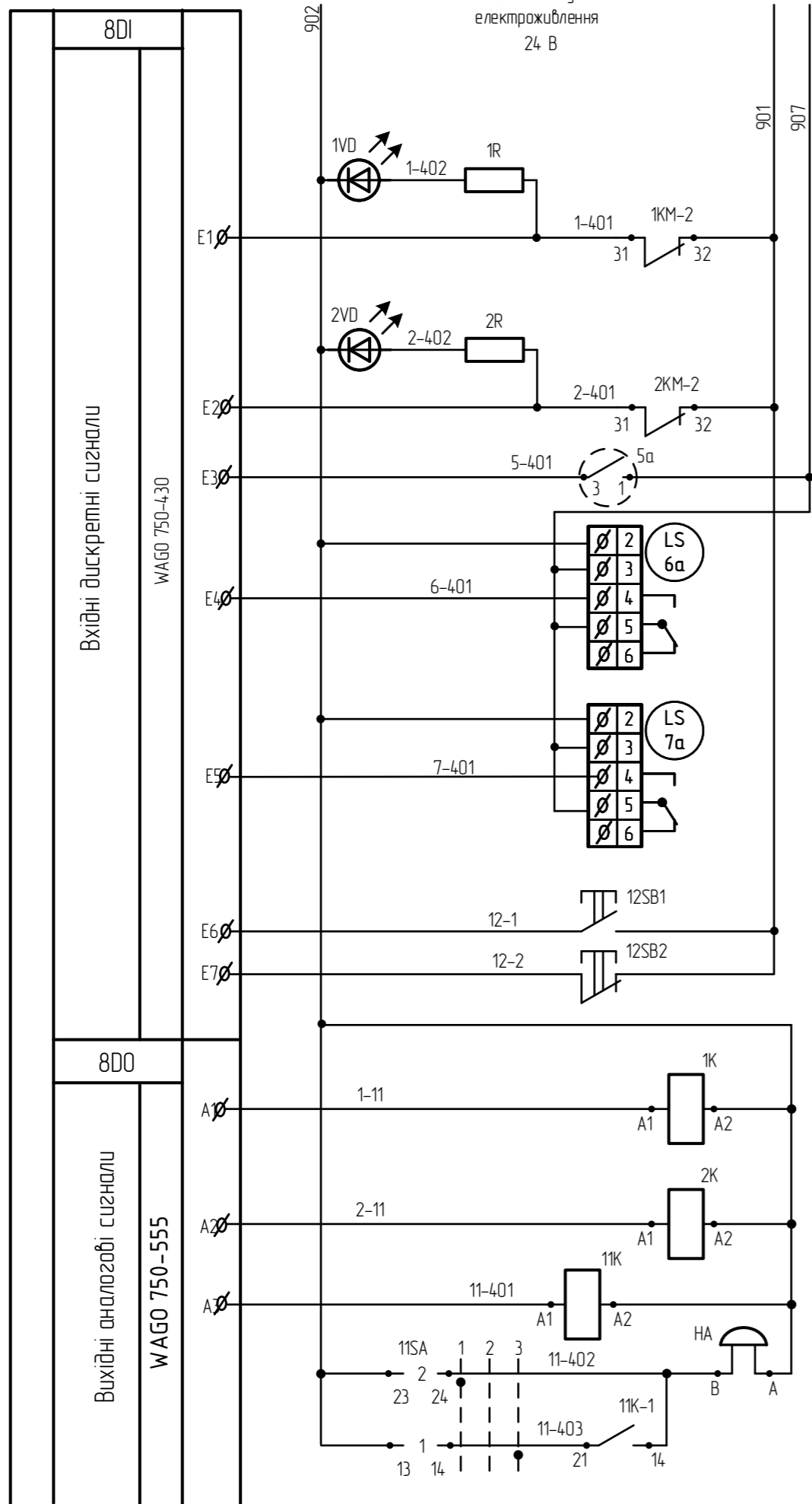
Рис. А — Схема автоматизації

ДОДАТОК Б Документація до принципової електричної схеми
контролю та керування

Таблиця Б – Попередній перелік обладнання до принципової
електричної схеми контролю та керування

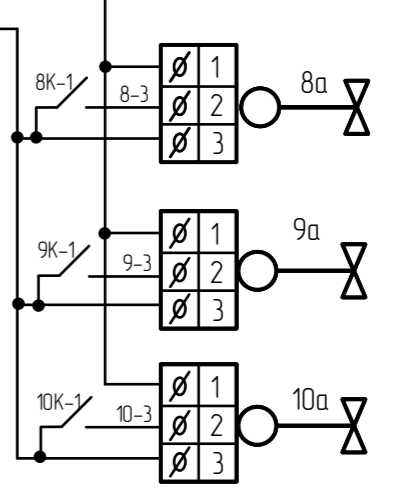
Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>Прилади за місцем</u>		
1KM-2KM	Контактор Schneider TESYS К 3Р, 9А, НЗ, 220В гвинтовий затиск, LC1K0901M7	2	
НА	Schneider Сирена \approx 12/24В, 2 ТОН. 106 дБ, XVS10BMW	1	
1SB1-2SB1	Кнопка Schneider XB7NA42, червоний штовхач, (Стоп)	2	
1SB4	Кнопка Schneider XB7NA21, чорний штовхач	1	
	<u>Прилади в силовому щиті</u>		
1QF-2QF	АВТ.ВИМ. Schneider GV2 3 КОМБ.РОЗЧ. 6-10А ПРУЖИННИЙ ЗАЖИМ, GV2ME143	2	
1KK-2KK	РЕЛЕ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ Schneider 7-10А, LR3D146	2	
1FU-2FU	Запобіжник з плавкою вставкою СН 5x20 F 3,15А 250В ЕТІ	2	
	<u>Прилади на щиті управління</u>		
1SB3-2SB3, 12SB1	Кнопка Schneider XB7NA31, зелений штовхач, (Пуск)	3	
1SB2-2SB2, 12SB2	Кнопка Schneider XB7NA42, червоний штовхач, (Стоп)	3	
1SA-11SA	Перемикач Schneider XB7ND33 на 3 положення	6	
1VD-2VD	Світлосигнальна арматура в зборі Schneider XB7EV04BP, 24В, світлодіод червоний	2	
1R-2R	з опорами 1,2 кОм у комплекті	2	
1K-11K	Реле проміжне, Weidmuller PS 35836971, 24В, (одногорупне)	6	

Додаток Б



Діаграма роботи ключа 1SA, 2SA, 8SA, 9SA, 10SA, 11SA

Серія	Контакти		Кут повороту ключа					
			-45		0		+45	
	л	п	л	п	л	п	л	п
1	13	14	-	-	-	-	X	X
2	23	24	X	X	-	-	-	-



Авт.	Керування Засувкою № 1
Дист.	Керування Засувкою № 2
Авт.	Керування Клапаном подачі пари
Дист.	Керування Засувкою №1 з засувкою №2 з ВМ
Затірний клапан Belimo H679N ВМ SV24A-TPC	Керування засувкою №2 затірним клапаном №2 з ВМ

Рис. Б2 – Принципова електрична схема контролю та керування

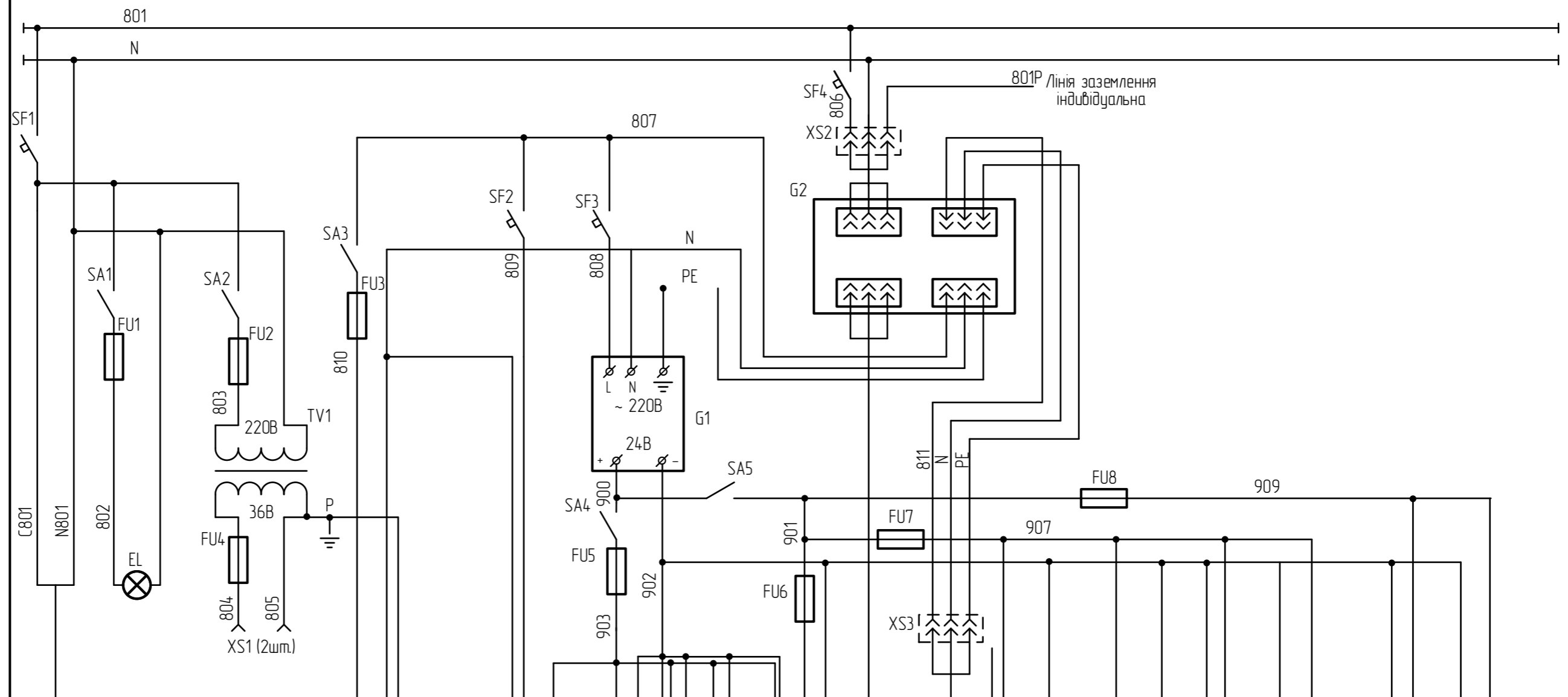
ДОДАТОК В Документація до принципової електричної схеми
живлення

Таблиця В – Попередній перелік обладнання до принципової
електричної схеми живлення

Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
SF1, SF4	Автоматичний вимикач Schneider iC60N 1P 6A C	2	
SF2,	Те ж, 1А	1	
SF3	Те ж, 0,5А	1	
EL	Патрон карболітовий E27 настінний косий ФПП-03	1	
TV1	Трансформатор на DIN-рейку EI-19293 220/36, 400ВА	1	
XS1	Розетка на DIN-рейку Hager SN016, 16А	2	
XS2, XS3	Розетка Legrand Quteo 2К+3, 16А	2	
G1	Блок живлення стаб., «ОВЕН» БП60Б-Д4-24, 24В, 60Вт	1	
G2	Джерело безперебійного живлення Luxeon UPS-1000LE	1	
FU4	Запобіжник з плавкою вставкою CH 5x20 F 12A 250В ETI	1	
FU2	Те ж, 2А	1	
FU5, FU6, FU7, FU8	Те ж, 0,5А	4	
FU1, FU3	Те ж, 0,16А	2	
SA1, SA2, SA3, SA4, SA5	Вимикач кнопковий з зеленим індикатором на DIN-рейку, SVN413 Hager, 16А	5	

Додаток В

Щит оператора



Характеристика електричного приймача	Позиція				3б, 4б	МПК				ПК	3а	4б	5а	6а,7а	3б	8а,9а,10а			
	Тип	Ведення живлення	Внутрішнє освітлення	Електроінструмент, переносне освітлення	БРУ-7	WAGO 750-881	Модулі ПЗО				Схема сигналізації та керування	Системний блок і монітор	Принтер	Danfoss MBS 3200	Система виміру витрат MFI3000	Реле тиску Danfoss	Датчик рівня NIVOCONT R	ВМ Belimo SVC24A-SZ-TPC	ВМ Belimo SV24A-TPC
	Номінальна напруга, В	~ 220	~ 220	~ 36	~ 220		24				24	~ 220	~ 220	24	24	24	24	24	24
	Споживна потужність, ВА (Вт)	1500	25	400	14	20	6,5	1	1	10	750	100	1,5	2	0,75	4	10	30	
	Позиція	Щит оператора									Операторський пункт		3а місцем						

Примітка:

- 1) Корпуси джерел живлення G1, G2 ізолювати від корпусу
- 2) Ведення живлення виконати з окремого фідеру

Рис. В – Принципова електрична схема живлення

ДОДАТОК Г Документація до щита оператора

Таблиця Г – Попередній перелік обладнання для щита оператора

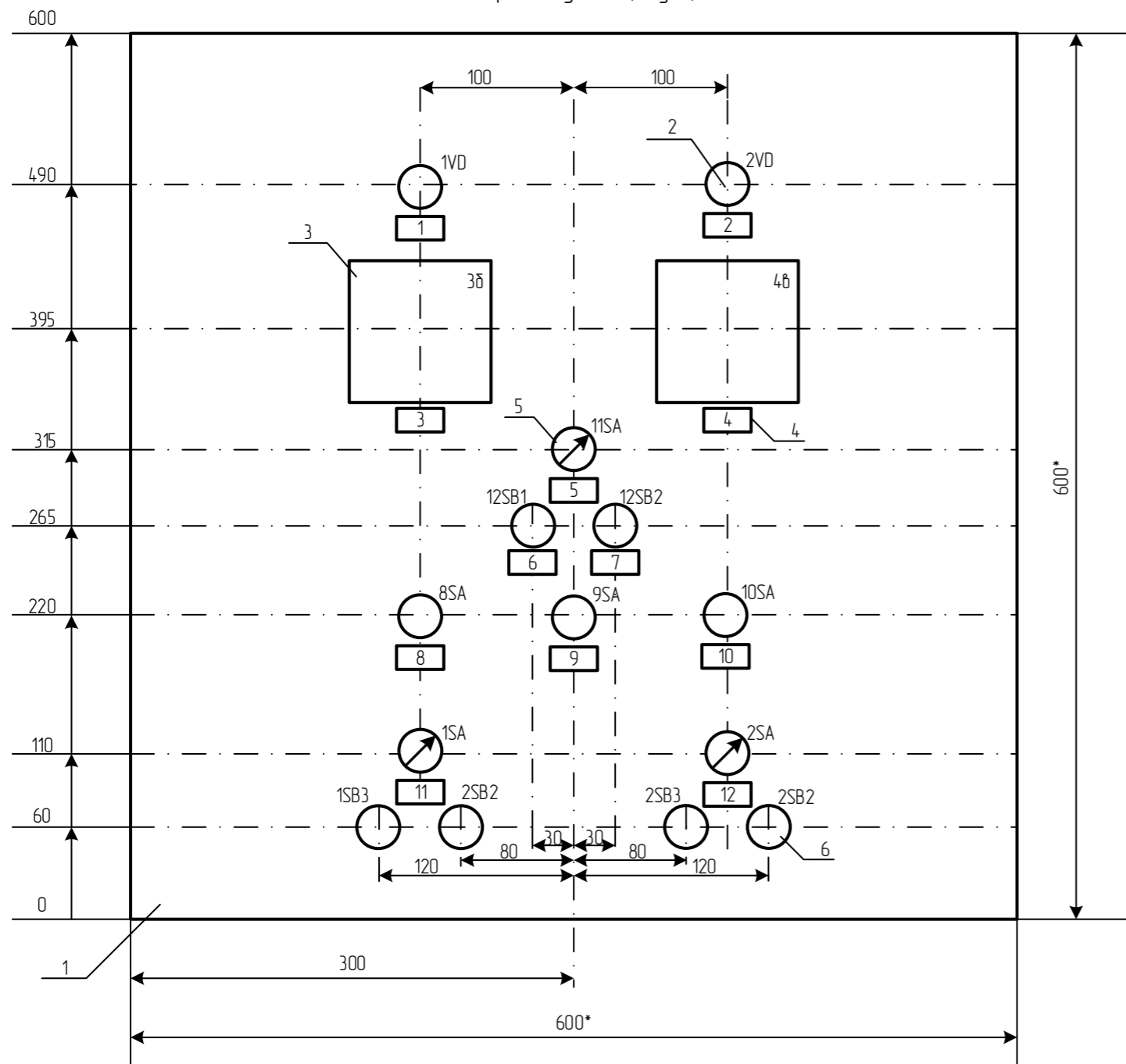
Поз-я	Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
		<u>Стандартні вироби</u>		
1		Щит Schneider S3D с платою 600x600x400 мм, NSYS3D6640P, IP66	1	
		<u>Інші вироби</u>		
2	1VD-2VD, 1R-2R	Світлосигнальна арматура в зборі Schneider XB7EV04BP, 24В, світлодіод червоний, з опорами 1,2 кОм у комплекті	2 2	
3	3б-4в 3бх-4вх	Блок ручного керування БРУ-7 з КБЗ -24-19	2 2	
4		Рамка 20x40	12	
5	1SA-11SA	Перемикач Schneider XB7ND33 на 3 положення	6	
6	1SB3-2SB3, 12SB1	Кнопка Schneider XB7NA31, зелений штовхач, (Пуск)	3	
	1SB2-2SB2, 12SB2	Кнопка Schneider XB7NA42, червоний штовхач, (Стоп)	3	
7	EL	Патрон карболітовий E27 настінний косий ФПП-03	1	
8	TV1	Трансформатор на DIN-рейку EI-19293 220/36, 400ВА	1	
9	FU1 - FU8	Запобіжник з плавкою вставкою, ВП	8	
10	XS1	Розетка на DIN-рейку Hager SN016, 16А	2	
11	SA1 - SA5	Вимикач кнопковий з зеленим індикатором на DIN-рейку, SVN413 Hager, 16А	5	
12	12	Модуль ADAM 4561 перетворювач інтерфейсів USB- RS485	1	
13	SF1 – SF4	Автоматичний вимикач Schneider iC60N	4	

Таблиця Г (закінчення) – Попередній перелік обладнання для щита оператора

Поз-я	Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
15	МПК	Контролер програмований WAGO 750-881	1	
16	ХТ1, ХТ2	Клемна колодка на 50 клем, contact connect SRK 2,5/2A, винтові на DIN-рейці 35мм	2	
17	G1	Блок живлення стабілізов., «ОВЕН» БП60Б-Д4-24, 24В, 60Вт	1	
18	1К-11К	Реле проміжне, Weidmuller PS 35836971, 24В, (однорупне)	9	
19	46	Система виміру витрат MF13000	1	
		<u>Монтажні матеріали</u>		
		Короб монтажний 30 мм, пластик	9 м	
		Дріт монтажний ПВ3*0,5	80 м	

Додаток Г

Вид на фасадну площину щита



Надписи у рамках

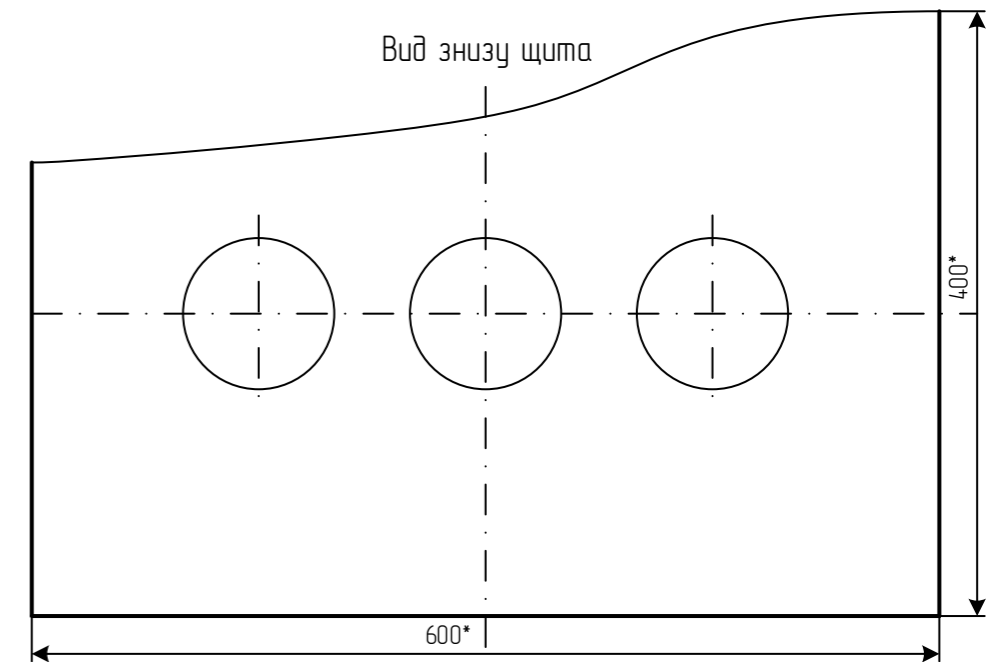
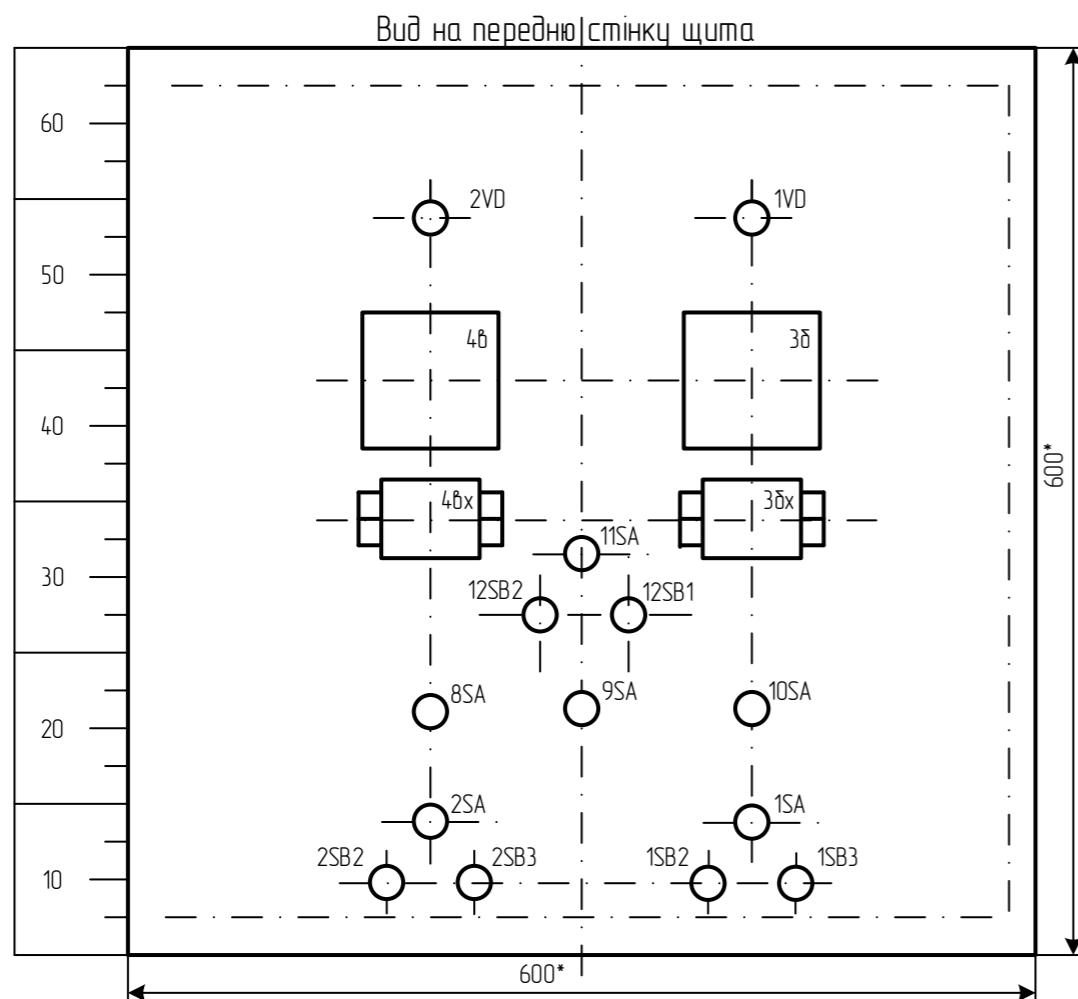
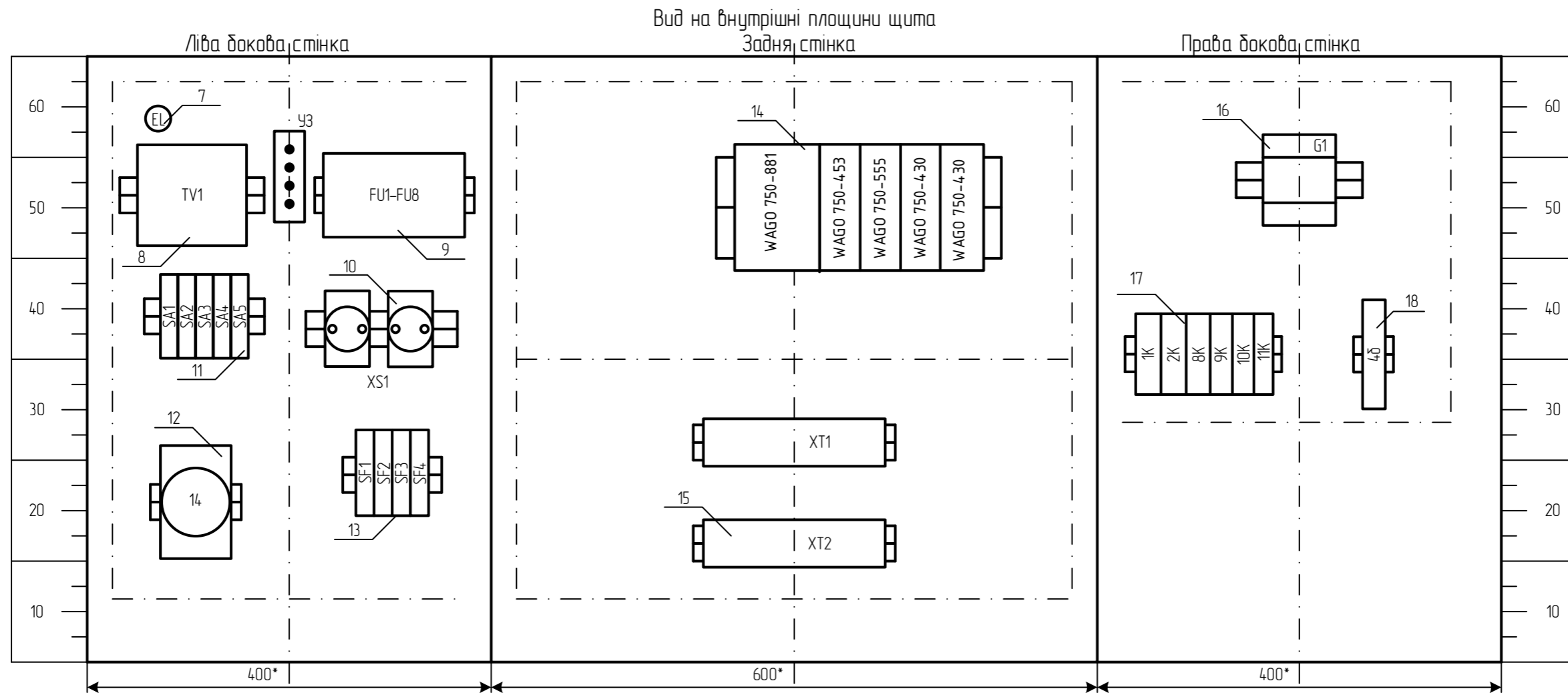
Номер надпису	Надпис	Кількість
1	Зупинка змішувача	1
2	Зупинка шлюзового затвору	1
3	Пара в апараті	1
4	Витрати зболоженого зерна	1
5	Звук. сигнал Вкл. – Відкл. – Авт.	1
6	Автомат. Пуск ділянки	1
7	Автомат. Зупинка ділянки	1
8	Засувка №1 Дист.–Авт.	1
9	Засувка №2 Дист.–Авт.	1
10	Клапан подачі пару Дист.–Авт.	1
11	Двигун змішувача Дист. – Відкл. – Авт.	1
12	Двигун шлюзового затвору Дист. – Відкл. – Авт.	1

Примітка:

- * Розмір для довідки.
- Щит покрити плівкою блакитного кольору.
- Надписи у рамках виготовити методом комп'ютерної поліграфії.
- Щит встановити на підставці висотою 1000 мм.

Рис. Г1 – Загальний вид щита оператора

Додаток Г



Примітка:
Штрих-пунктиром показані напрями
внутрішніх проводок та розташування
коробів

Рис. Г2 — Загальний вид щита оператора

Ліва бокова стінка

Задня стінка

Права бокова стінка

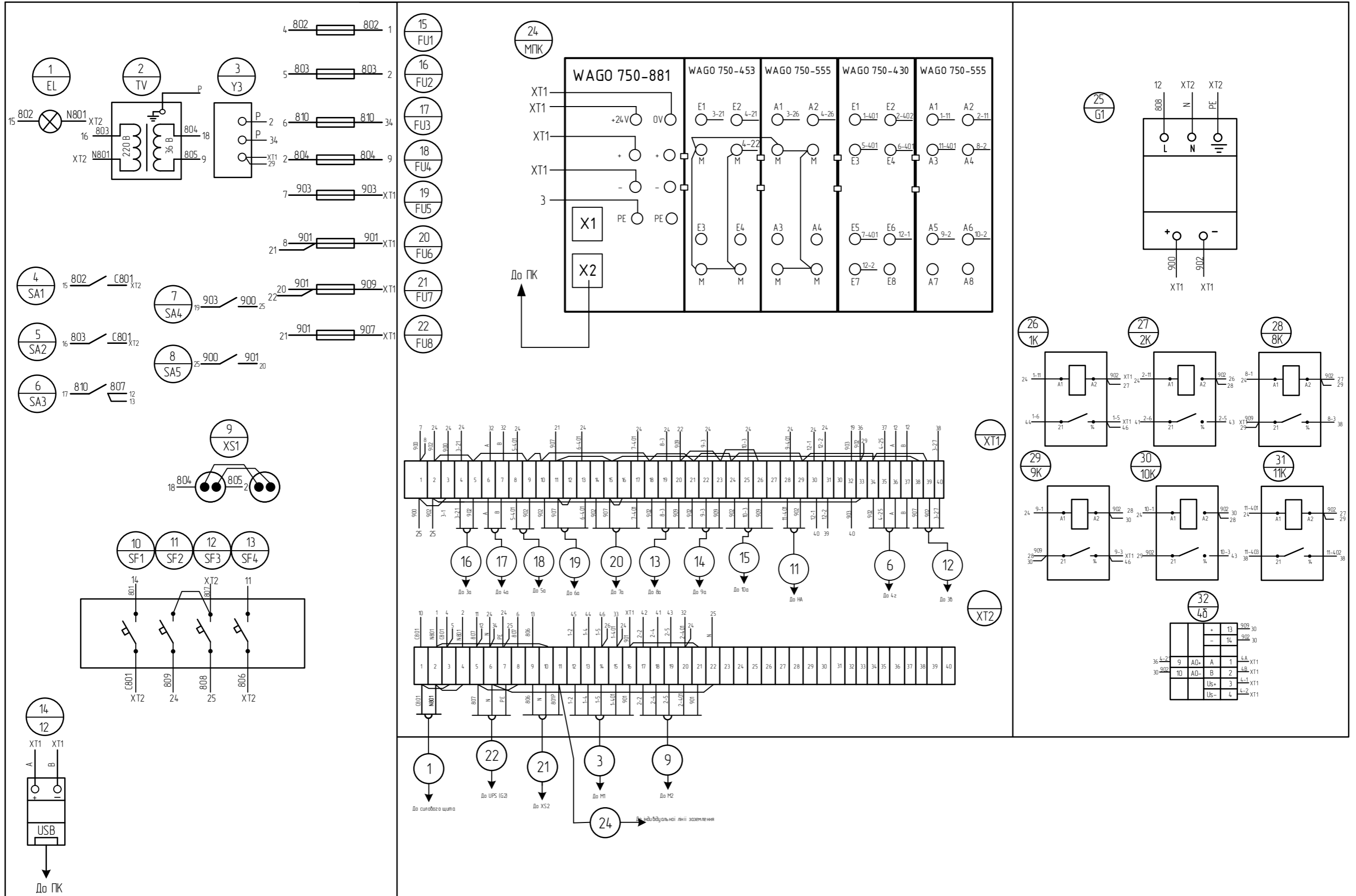
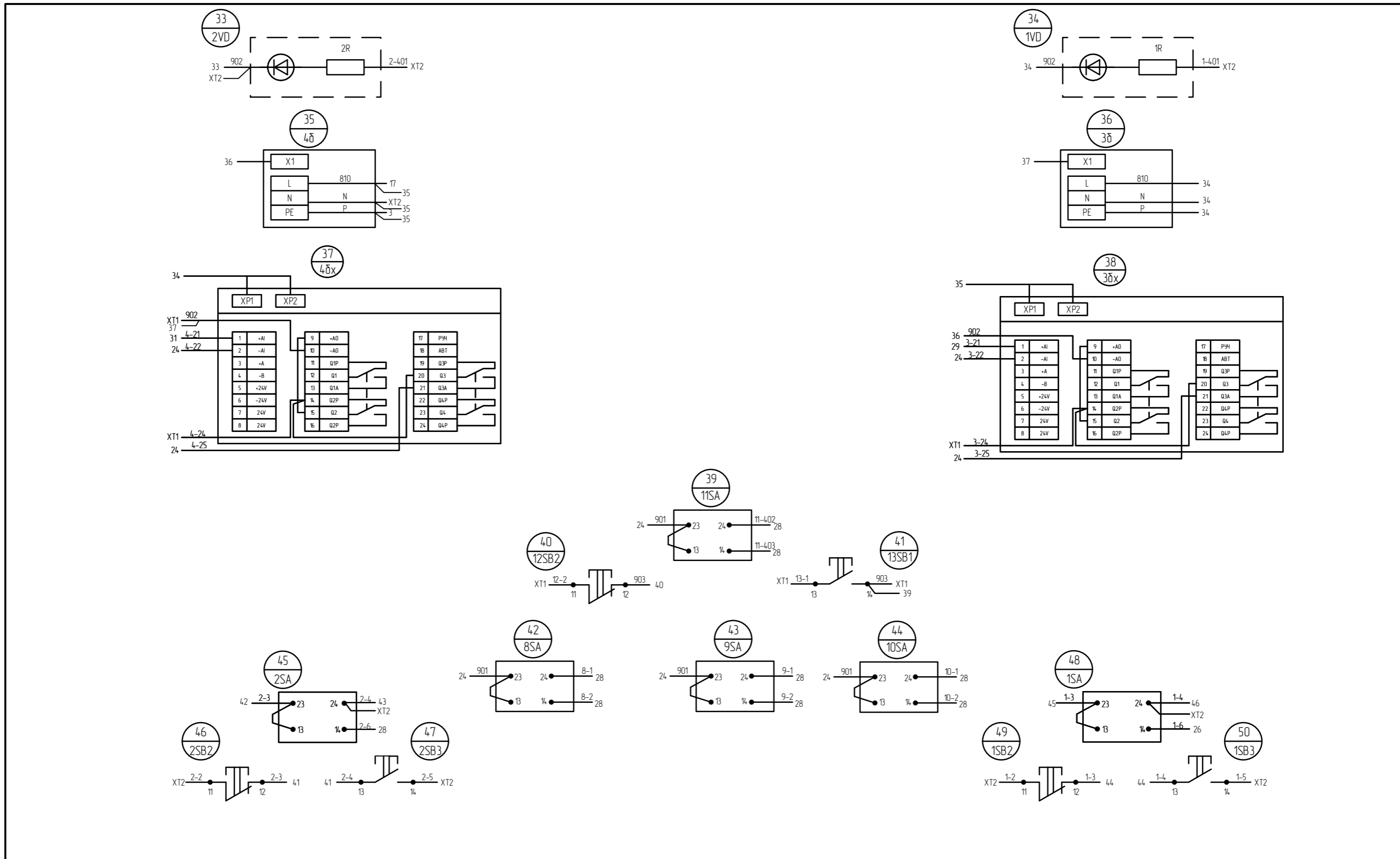


Рис. Г3 – Монтажна схема щита оператора

Схема внутрішніх з'єднань (δ/м)
Передня стінка



Примітка:
Монтажна схема щита виконана сумісно зі
схемою підключення зовнішніх проводок

Рис. Г4 — Монтажна схема щита оператора

ДОДАТОК Д Документація до схеми зовнішніх проводок
Таблиця Д – Попередній перелік обладнання до схеми зовнішніх
проводок

Поз-я	Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
1	КВВГнг5х2,5	Кабель контрольний мідний	70м	
2	КВВГнг4х2,5	Кабель контрольний мідний	20м	
3	КВВГ5х1,5	Кабель контрольний мідний	50м	
4	КВВГ4х1	Кабель контрольний мідний	130м	
5	ПВСн2*1+1*1	Дріт з'єднувальний мідний	42м	
6	ПВСн2*1	Дріт з'єднувальний мідний	85м	
7	ПРТО1*4	Дріт з'єднувальний мідний	40м	
8	М-Р 20	Металорукав РЗ-ЦХ-20 з протяжкою ІЕК	430м	

Додаток Д

Параметр	Керування електроприводами шлюзового затвору та змішувача				Звукова сигналізація	Керування ВМ Velimo				Тиск	Витрата
Середовище	Зерно				ОП	Пара	Зерно			Пара	Зерно
Місце встановлення ВМ, РО	Електропривод шлюзового затвору	Частотний перетворювач на M2	Електропривод змішувача		Дзвоник	Трубопровід	Пропарювач			Пропарювач	Трубопровід
№ поз. за спец.	2KM (M2)	4z	1KM (M1)		HA	3b	8a	9a	10a	3a	4a
Відбірні пристрій, ПП, ВМ, РО											
Прилади за місцем											
З'єднувальна лінія (марка, тип, довжина)											
Щит оператора											
Щит силовий											
З'єднувальна лінія (марка, тип, довжина)											
Прилади за місцем											
Відбірні пристрій, ПП, ВМ, РО											
№ поз. за спец.	5a	6a	7a			XS2	G2	ПК		XS3	Індивідуальне заземлення
Місце встановлення ВМ, РО	Машина для збоження	Пропарювач				Операторський пункт					
Середовище	Зерно	Зерно									
Параметр	Тиск	Рівень				Рівень					

Рис. Д – Схема зовнішніх проводок