



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
на тему «Автоматизація процесу керування безтарним зберіганням борошна в
силосах»

(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача Бурля Я.Д.

2

курсу

групи

Керівник к.т.н., доцент Гурський О.О.

(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти: к.т.н., доцент Світий І.М.

(посада, прізвище та ініціали)

к.т.н., доцент Степанов М.Т.

к.т.н., доцент Левінський В.М.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від _____ 20____ р., протокол № _____.

Завідувач(ка) кафедри АТЕРС

(назва кафедри)

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	<u>Навчально-науковий інститут комп'ютерної інженерії, автоматизації, робототехніки та програмування</u>
	<u>ім. П.М. Платонова</u>
Кафедра	<u>Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем</u>
Ступінь вищої освіти	<u>Бакалавр</u>
Спеціальність	<u>151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології</u>
Освітньо-професійна програма	<u>Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри АТПіРС
І.М. Світій

«5» січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувач Бурля Ярослав Денисович

1. Тема роботи «Автоматизація процесу керування безтарним зберіганням борошна в силосах»
2. Керівник кваліфікаційної роботи Гурський Олександр Олександрович, к.т.н., доцент.
Пункти 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ № 39-03 від 24.01.2025 р.
3. Строк подання здобувачем випускної кваліфікаційної роботи на кафедру «12» червня 2026 р.
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали індивідуальних завдань виробничої і переддипломної практик, курсових і самостійних робіт, комплексне кваліфікаційне завдання (для заочників).
5. Зміст кваліфікаційної роботи (розділи, які потрібно розробити):
Розділ 1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК.
Розділ 2. Розробка концептуальної моделі об'єкта управління, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання.
Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів автоматичного регулювання, порівняльний аналіз САР.
Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів автоматичного логічного керування технологічною ділянкою.
Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.
Розділ 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.
Розділ 7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.
Розділ 8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.
Розділ 9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Номер розділу	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Гурський О.О. доц. каф. АТЕіРС		
Розділи 2, 3	Світий І.М., доц. каф. АТЕіРС		
Розділ 4	Світий І.М., доц. каф. АТЕіРС		
Розділ 5	Левінський В.М., доц. каф. АТЕіРС		
Розділ 6	Левінський В.М., доц. каф. АТЕіРС		
Розділ 7	Степанов М.Т., доц. каф. АТЕіРС		
Розділ 8	Левінський В.М., доц. каф. АТЕіРС		
Розділ 9	Гурський О.О. доц. каф. АТЕіРС		

7. Дата видачі завдання « 09 » січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер розділу	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Розділ 1	«24» березня 2026 р.	
Розділ 2	«31» березня 2026 р.	
Розділ 3	«10» квітня 2026 р.	
Розділ 4	«15» квітня 2026 р.	
Розділ 5	«23» квітня 2026 р.	
Розділ 6	«30» квітня 2026 р.	
Розділ 7	«08» травня 2026 р.	
Розділ 8	«22» травня 2026 р.	
Розділ 9	«27» травня 2026 р.	

Здобувач Бурля Я.Д.

Керівник роботи Гурський О.О.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач Бурля Я.Д. _____
 Прізвище, ініціали Підпис

АНОТАЦІЯ

Бурля Я.Д. – «Автоматизація процесу керування безтарним зберіганням борошна в силосах»

Дипломна робота бакалавра: 150 с., 114 рис., 14 табл., 18 джерел, 8 додатков.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є підвищення об'єму випускаємої продукції за рахунок підвищення ефективності процесу зберігання та перевантаження борошна шляхом розробки обґрунтованих технічних рішень зі створення модернізованої САК пневмотранспортування борошна з силосах.

У роботі наведені дослідження процесу зберігання та перевантаження борошна, 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 Siemens сімейства S7-300, було виконано в середовищі Simatic Step7. Також в середовищі SCADA-системи WinCC Flexible розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика.

В роботі представлено варіант комплексу технічної документації САК на базі контролера фірми Siemens SIMATIC S7-300. Розроблений комплект включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування процесу перевантаження борошна.

Ключові слова: перевантаження борошна, зберігання у силосах, процес пневмотранспортування, середовище програмування контролерів Simatic Step7, середовище створення SCADA-системи WinCC Flexible.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів і одиниць.....	9
ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. ОПИС ДІЛЯНКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ЙОГО АГРЕГАТИВ ТА ІСНУЮЧОГО РІВНЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ НИМИ. ВИЯВЛЕННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ І КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ МОДЕРНІЗАЦІЇ САК.....	12
1.1. Автоматизована ділянка технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів.....	12
1.2. Виявлення існуючого рівня автоматизації ділянки ТП та технічних засобів, що використовуються для цього.....	19
1.3. Аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко-економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК.....	20
1.4. Висновки за розділом.....	23
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ, СТРУКТУРНА ТА ПАРАМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЙОГО КОМПОНЕНТІВ, ЇХ РЕАЛІЗАЦІЯ У СЕРЕДОВИЩІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	24
2.1. Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання.....	24
2.2. Структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей каналів перетворення об'єкта регулювання.....	25

2.3. Реалізація математичних моделей на ПЕОМ у середовищі комп'ютерного імітаційного моделювання, проведення з ними комп'ютерних експериментів для обґрунтування їх адекватності..	35
2.4. Висновки за розділом.....	44
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА І ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ, ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ САР.....	46
3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом..	46
3.2. Параметричний синтез і аналіз САР базової структури.....	48
3.3. Структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності і її аналіз.....	61
3.4. Висновки за розділом.....	67
РОЗДІЛ 4. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ І РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ АГРЕГАТОМ.....	68
4.1. Конкретизація задачі та необхідного рівня реалізації функцій логічного (логікопрограмного) керування технологічним процесом перевантаження борошна з силосасх	68
4.2. Формалізація регламентів функціонування технологічного агрегату при технологічному пуску, технологічній зупинці та при аварійній зупинці технологічного процесу у вигляді блок-схем та їх опис.....	68
4.3. Розробка алгоритмів автоматичного керування: технологічним пуском та зупинкою та аварійної зупинки технологічного агрегату у вигляді блоксхем та їх опис.....	71
4.4. Розробка функціональної логічної схеми процесу керування технологічним агрегатом, з використанням типових символічних позначень логічних елементів, та її детальний опис.....	76
4.5. Висновки за розділом.....	78

РОЗДІЛ 5. ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ЗМІННИ ПРОЦЕСУ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ КЕРУЮЧИХ ВПЛИВІВ, РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ СТРУКТУРИ КОНТРОЛЕРНО-КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ.....	81
5.1. Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації й обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів і місць їх розміщення.....	81
5.2. Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання.....	85
5.3. Вибір технічних засобів реалізації керуючих дій на технологічний процес і керування обладнанням.....	86
5.4. Вибір альтернативних варіантів технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі.....	91
5.5. Висновки за розділом.....	101
РОЗДІЛ 6. ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ, КОНТРОЛЕРА І МЕРЕЖ, ПРОГРАМУВАННЯ АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ САК.....	102
6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж.....	102
6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування.....	104
6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання.....	112
6.4 Висновки за розділом.....	115
РОЗДІЛ 7. РОЗРОБКА SCADA ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГА І НАЛАДЧИКА САК.....	116
7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панеллю оператора, її конфігурування.....	116
7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога.....	117

7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.....	118
7.4 Тестування системи керування.....	125
РОЗДІЛ 8. РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ЕСКІЗНОГО ПРОЕКТУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ.....	128
8.1. Основні технічні рішення.....	129
8.2. Опис схеми автоматизації.....	133
8.3. Опис принципову електричну схему управління.....	136
8.4. Розробка принципових електричних схем живлення.....	136
8.5. Розробка документації	136
РОЗДІЛ 9. ПОПЕРЕДНЄ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕРНІЗОВАНОЇ САК	137
9.1. Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації.....	137
9.2. Розрахунок показника економічного ефекту від модернізації системи керування.....	139
Висновки.....	142
ЛІТЕРАТУРА.....	144
Додатки.....	146

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧОК

- ПІ-регулятор – пропорційно-інтегральний регулятор;
- ПІД-регулятор – пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор;
- САК – система автоматичного керування;
- САР – система автоматичного регулювання.
- КП – керуючий пристрій;
- ОК – об'єкт керування;
- АРМ – автоматизоване робоче місце;
- ВМ – виконавчий механізм;
- ІВС – інформаційно-вимірювальна система;
- ЗВТ – засоби вимірювальної техніки;
- КП – курсовий проект;
- МПК – мікропроцесорний контролер;
- ПК – персональний комп'ютер;
- ТП – технологічний процес;
- ТУ – технологічне устаткування;

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку харчової промисловості значна увага приділяється підвищенню ефективності технологічних процесів, забезпеченню стабільної якості продукції та зменшенню втрат сировини під час її зберігання і транспортування. Одним із ключових етапів у виробництві борошна та хлібобулочних виробів є його зберігання, яке повинно забезпечувати збереження фізико-хімічних властивостей продукту, запобігати його зволоженню, злежуванню та зараженню шкідниками.

Безтарне зберігання борошна у силосах є сучасним і ефективним способом організації складських процесів, що дозволяє мінімізувати використання ручної праці, зменшити втрати продукції, підвищити рівень санітарії виробництва та забезпечити більш точний облік сировини. Однак такі системи вимагають точного контролю та керування великою кількістю параметрів, серед яких рівень заповнення силосів, температура, вологість, тиск у пневмотранспортних системах, стан фільтраційного обладнання та інші технологічні показники.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває задача автоматизації керування процесом безтарного зберігання борошна у силосах. Використання сучасних систем автоматизації на базі програмованих логічних контролерів (PLC), датчиків різного типу та SCADA-систем дозволяє забезпечити безперервний контроль технологічного процесу, оперативне реагування на аварійні ситуації та оптимізацію режимів роботи обладнання.

Актуальність теми зумовлена необхідністю підвищення надійності та ефективності складських комплексів борошномельної та хлібопекарської промисловості, а також зниження впливу людського фактора на якість зберігання продукції. Крім того, автоматизація дозволяє зменшити енергоспоживання, підвищити продуктивність системи та забезпечити відповідність сучасним вимогам промислової безпеки.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка системи автоматизації керування процесом безтарного зберігання борошна у силосах, що забезпечує

надійний контроль технологічних параметрів, оптимізацію роботи обладнання та підвищення загальної ефективності складського комплексу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні завдання:

- проаналізувати технологічний процес безтарного зберігання борошна у силосах;
- дослідити існуючі системи автоматизації подібних об'єктів;
- визначити основні контрольовані та регульовані параметри процесу;
- розробити функціональну структуру системи автоматизації;
- обґрунтувати вибір технічних засобів автоматизації (датчики, контролери, виконавчі механізми);
- запропонувати алгоритми керування технологічним процесом.

Об'єктом дослідження є процес безтарного зберігання борошна у силосах на підприємствах харчової промисловості. Предметом дослідження є методи та засоби автоматизації керування цим процесом.

У роботі використовуються методи системного аналізу, теорії автоматичного керування, моделювання технологічних процесів, а також методи порівняльного аналізу технічних засобів автоматизації.

Практична значущість роботи полягає у можливості впровадження розробленої системи автоматизації на реальних виробничих об'єктах, що дозволить підвищити стабільність технологічного процесу, зменшити втрати сировини та покращити умови експлуатації обладнання.

Таким чином, дана робота спрямована на вирішення актуальної інженерної задачі, пов'язаної з підвищенням рівня автоматизації складських процесів у харчовій промисловості, що відповідає сучасним тенденціям розвитку промислових систем керування.

РОЗДІЛ 1. ОПИС ДІЛЯНКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ЙОГО АГРЕГАТИВ ТА ІСНУЮЧОГО РІВНЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ НИМИ. ВИЯВЛЕННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ І КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ МОДЕРНІЗАЦІЇ САК

1.1. Автоматизована ділянка технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів

Сутність технологічного процесу – це цілеспрямоване перетворення продуктових і енергетичних потоків у спеціальному технологічному устаткуванні (ТУ) (машинах, апаратах, агрегатах). Сутність технологічного процесу пов'язано з перевантаженням борошна за допомогою системи пневмотранспортування. Технологічна схема процесу наведена на рис. 1.1.

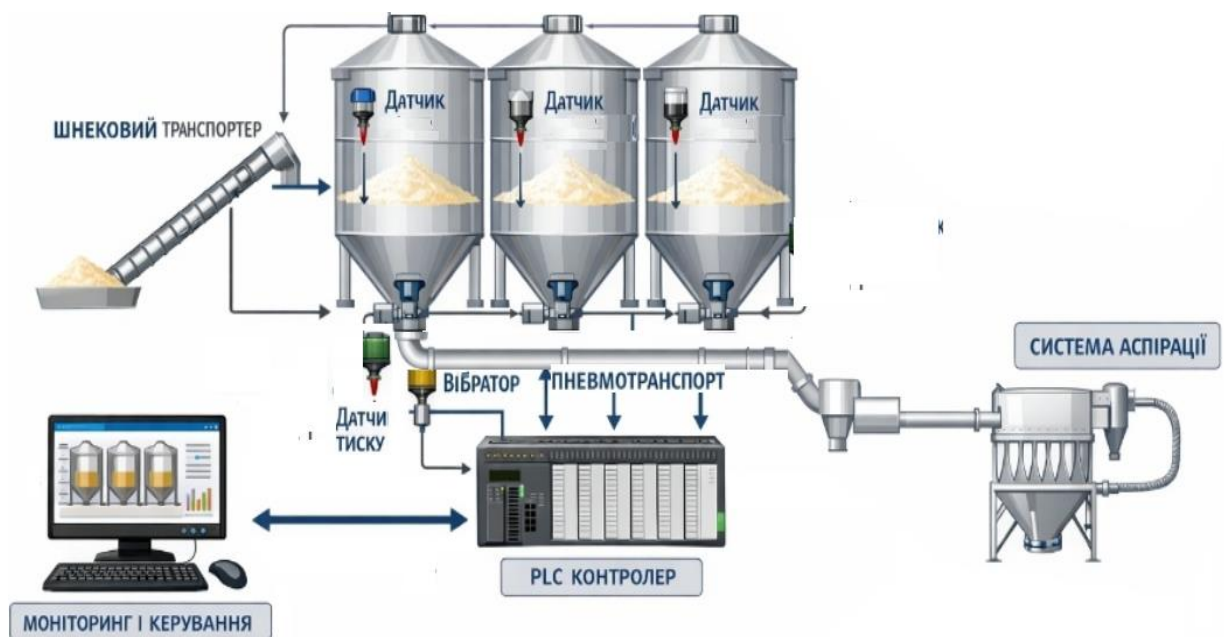


Рис. 1.1 – Технологічна схема процесу зберігання та транспортування борошна

Автоматизація безтарного зберігання борошна. Склад безтарного зберігання борошна (рис. 1.1) оснащений силосами I для приймання і зберігання борошна (як правило, не менше двох груп), просіювальними

лініями VI—XII (не менше двох) і бункерами XV, з яких борошно потім подається безпосередньо у виробництво.

Транспортування борошна із силосів до просіювальних ліній і від останніх у бункери здійснюється аерозольтранспортом. Вибір маршруту транспортування виконується за допомогою перемикачів V.

На схемі умовно у прямокутниках представлені друга група силосів II і друга просіювальна лінія, прилади і засоби автоматизації для яких аналогічні першим. У схемі передбачено автоматичне, дистанційне автоматизоване або ручне керування процесом заповнення бункерів.

У режимі автоматичного керування заповнення бункерів здійснюється автоматично з вибраного заздалегідь оператором силосу в порядку надходження сигналів про спорожнення бункерів. Алгоритм заповнення бункерів може бути й іншим, наприклад із пріоритетом того чи іншого бункера.

Для транспортування борошна за допомогою електромагнітних вентилів III до живильників подається стиснене повітря. Перед вентилями встановлюються звукові сопла IV, що стабілізують витрату повітря в межах розрахункового значення незалежно від того, транспортується борошно чи проводиться продувка матеріалопроводів.

Після сопел електроконтактними манометрами (2—5) вимірюється тиск повітря перед вентилями. При відкритому вентилі та чистому матеріалопроводі тиск мінімальний, що дозволяє вмикання живильника і транспортування борошна. При підвищенні тиску повітря, засміченому матеріалопроводі та закритому вентилі — тиск максимальний. При цьому робота живильника забороняється. Таким чином здійснюється захист від завалу матеріалопроводів.

Захист від переповнення циклона-відділювача VI, надвагової IX і підвагової XI ємностей здійснюється за командою від сигналізаторів рівня борошна (12—14), що контролюють їх переповнення. При аварійному стані будь-якого з механізмів усі попередні механізми зупиняються, матеріалопроводи продуваються.

При заповненні бункера до заданого значення вимикається працюючий підсилювальний живильник, продукт із матеріалопроводів і механізмів доопрацьовується, після чого здійснюється обов'язкова продувка матеріалопроводів із подальшим відключенням подачі стисненого повітря, аспіраційної системи XIII, XIV та поверненням перемикачів матеріалопроводів у вихідне положення. За допомогою пристрою ручного введення (УРВ) у пам'ять ЕОМ вводяться необхідні якісні показники борошна, що завантажується в той чи інший силос, що дозволяє своєчасно і швидко отримувати інформацію про якість борошна, вносити необхідні корективи при веденні технологічного процесу та видавати завдання на добове виробництво.

Зазначені задачі вирішуються ЕОМ за допомогою двох алгоритмів — алгоритму вибору завантаженого силоса при прийманні борошна та алгоритму підсортування, що дозволяють здійснювати цілеспрямоване управління якістю борошна, що надходить.

Автоматизація зберігання зерна. У своєму розвитку автоматизація елеваторів пройшла ряд етапів — від дистанційного керування окремими машинами і механізмами до систем автоматизації, в яких використовують ЕОМ. Незважаючи на істотні зміни як у рівні автоматизації, так і в обсязі охоплених нею процесів, незмінним залишився основний принцип.

Мета ведення процесу перевантаження борошна з силосів — отримання борошна у виробничих бункерах з відповідними 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.

Технологічний процес перевантаження борошна доцільно реалізовувати, якщо:

- є достатній запас борошна у силосах, тобто, якщо буде запас борошна не менш чим 2 т;
- тиск повітря в трубопроводі до силосу повинен бути не меншим 0,05 МПа;
- слід мати місце для відвантаження борошна;

– режими роботи технологічного обладнання не повинні виходити за гранично-припустимі;

Технологічний процес зберігання та перевантаження борошна до виробничих бункерів, пов'язаним з переміщенням борошна завдяки пневмотранспортування. Важливою умовою нормального функціонування технологічного процесу є присутність борошна у силосах та у пересипальній лінії. Проведемо параметризацію технологічної схеми.

Результати параметризації наведені на рис. 1.2

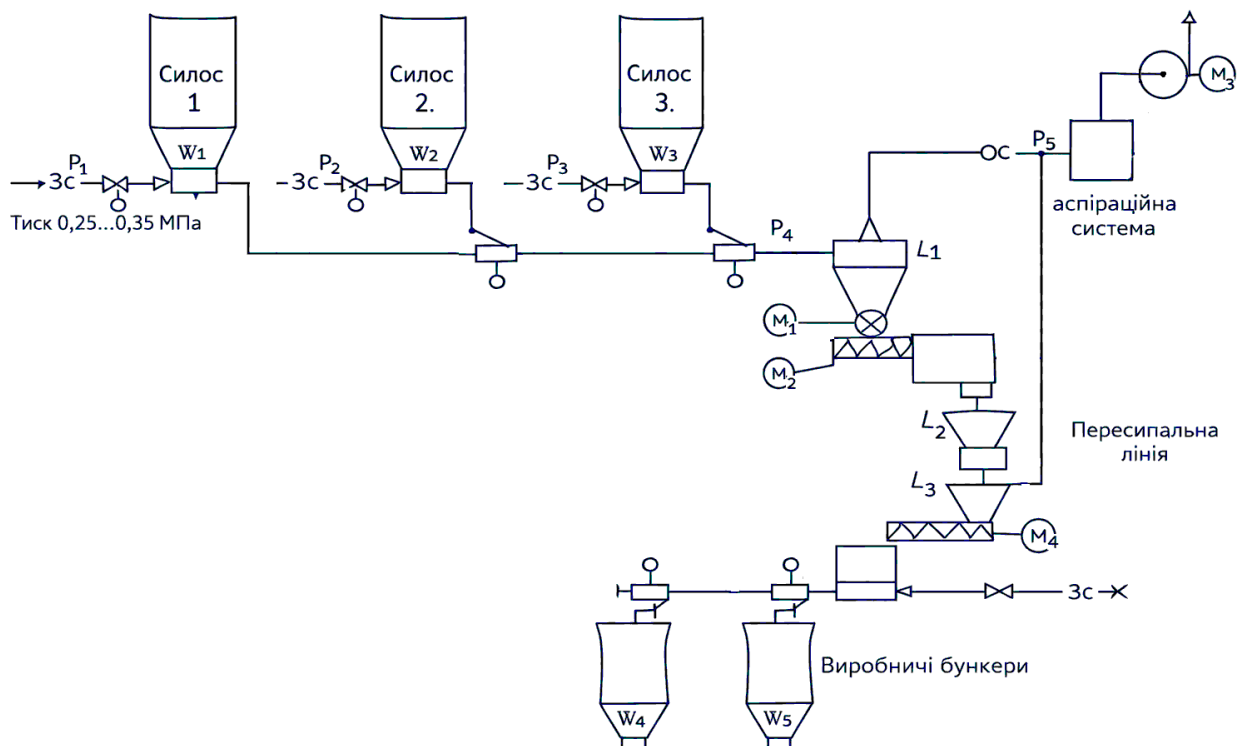


Рис. 1.2 – Параметризована технологічна схема процесу зберігання та перевантаження борошна до виробничих бункерів

Позначення на параметризованій технологічній схемі:

1. G_B – витрати борошна, т/год;
2. u_1 – положення регулюючого органу на повітропроводі до силосу, % х.р.о.;
3. P_1 – тиск повітря до силосу 1, МПа;
4. P_2 – тиск повітря до силосу 2, МПа;
5. P_3 – тиск повітря до силосу 3, МПа;

6. u_2 – регулюючий вплив – переміщення регулюючого органу на вході витяжного вентилятора, % х.р.о.;
7. U_H – напруга в електромережі, В;
8. f – частота в електромережі, Гц;
9. N_{HM} – номінальна потужність електроприводу витяжного вентилятора, кВт;
10. Fe – витрати електроенергії, кВт · год ;
11. L_2 – рівень борошна у верхній ємності пересипальній лінії, см;
12. L_3 – рівень борошна у нижній ємності пересипальній лінії, см;
13. L_1 – рівень борошна у циклоні, см;
14. w_1 – маса борошна у силосі 1, т;
15. w_2 – маса борошна у силосі 2, т;
16. w_3 – маса борошна у силосі 3, т;
17. P_4 – тиск у повітротранспортній, МПа;
18. P_5 – розрідження у аспіраційній системі, Па;
19. P_6 – тиск повітря до виробничих бункерів, МПа;
20. w_4 – маса борошна у виробничому бункері 1, т;
21. w_{45} – маса борошна у виробничому бункері 2, т;

Даліє виконаємо конкретизацію регламентів і умов ведення процесу, його формалізоване представлення

Оснoву 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 зберігання та перевантаження борошна такими параметрами є: G_B , L_1 , w_1 , w_2 , w_3 , w_4 , w_5 ,

Експлуатаційний регламент – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів технологічного обладнання. Для установки зберігання та перевантаження борошна такими параметрами є: L_2 , L_3 .

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. До цієї групи параметрів можна віднести: $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, G_B, F_{KB}$.

Відхилення параметрів технологічного процесу від заданих регламентних значень, викликані зміною параметрів, що характеризують умови введення процесу, навіть при достатньо ефективному управлінні процесом, можуть перевищувати встановлені допуски.

Відхилення тиску повітря до силосу нижче гранично припустимих значень може призвести до неможливості транспортування борошна та закриття каналів транспортного проводу, а перевищення тиску повітря до силосу верхнього гранично припустимого значення може призвести до ненадійної роботи циклону. В обох випадках порушення регламенту веде до погіршення процесу транспортування і навіть до збільшення виходу браку.

Допуски на відхилення поточних (режимних) значень регламентованих параметрів від номінальних прийнято розділяти і задавати у вигляді допусків на тривалі та короточасні відхилення. Аналіз нормативів ведення технологічного процесу та експлуатації обладнання оформимо у вигляді таблиці регламентів 1.1.

Визначимо параметри що характеризують умови ведення технологічного процесу та експлуатації технологічного агрегату.

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 та можуть бути (для зручності) згруповані за деякими ознаками.

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. До цієї групи параметрів віднесемо параметри борошна: $T_{см}, \theta_B$.

Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводить до технологічного встаткування ззовні й витрачається на зміну властивостей продуктів. До цієї групи параметрів віднесемо: U_H ; f ; T_{KB} ; P_{KB} .

Механічні (або інші специфічні) параметри технологічного обладнання характеризують стан її робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо: u_1 ; u_2 ; N_{HM} ; δ .

Таблиця 1.1 – Таблиця регламентів

Назва параметрів	Позначення	Одиниці вимірювання	Номінальне значення параметру або ф-ція зміни номінального значення	Припустимі відхилення від номіналу		
				Тривалі ($t \rightarrow \infty$)	Короткочасні ($0 < t < \infty$)	
				величина	величина	час, сек
1	2	3	4	5	6	7
Тиск повітря до пневмотранспортної системи	P_1	МПа	0,1	$\pm 0,01$	$\pm 0,05$	50
Розрідження в аспіраційній системі	P_5	Па	-500	± 20	± 120	50

Після визначення всіх регламентованих параметрів можливо Формалізувати параметричну схему технологічного процесу і отримання його параметричної схеми.

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. Параметрична схема процесу зберігання та перевантаження борошна наведена на рис. 1.3.

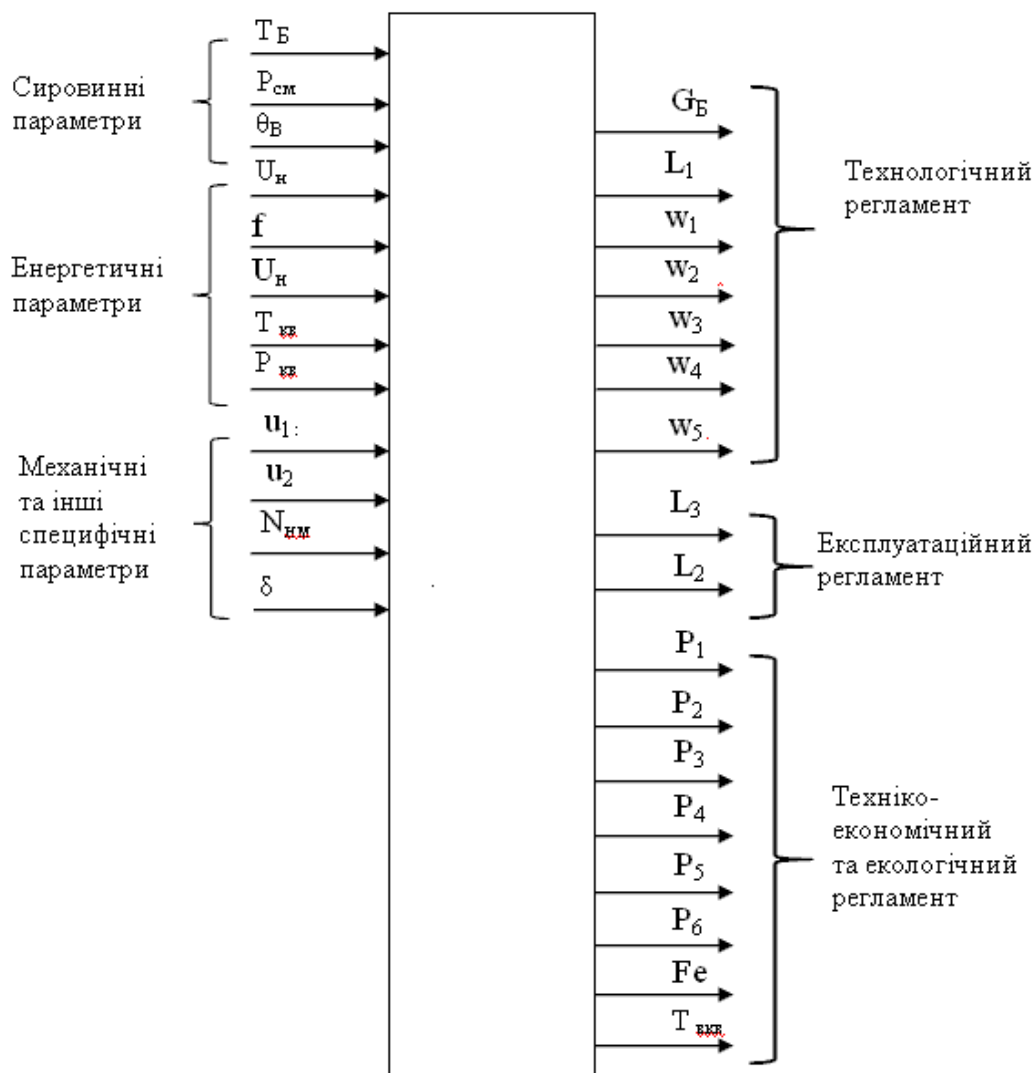


Рис. 1.3 – Параметрична схема процесу зберігання та транспортування борошна до виробничих бункерів

1.2. Виявлення існуючого рівня автоматизації ділянки ТП та технічних засобів, що використовуються для цього

Для процесу зберігання борошна у сілусах та його перевантаження до виробничих бункерів є характерним тривалий робочий режим, на який об'єкт

виводять в дистанційному режимі. Режими пуску і зупинки процесу перевантаження борошна є неекономічними режимами роботи установки. Підвищення економічної ефективності роботи цього процесу в режимах пуску і зупинки можна досягти, автоматизувавши ці завдання. Тому для даного технологічного процесу актуальна автоматизація задачі логічного керування та автоматичного регулювання. Регулюються такі параметри як тиск повітря до силосах та розрідження в аспіраційній системі. Регулювання таких параметрів здійснюється автоматично без участі людини.

У системі автоматизації реалізовані наступні основні контури регулювання: контур регулювання витрати борошна, контур регулювання тиску в системі пневмотранспорту та контур регулювання розрідження в аспіраційній системі. Контроль рівня в силосах здійснюється за допомогою сигналізаторів рівня з реалізацією дискретного керування подачею продукту.

Функції регулювання технологічних параметрів та логічного керування виконують цифрові контролери, які отримують та обробляють у режимі реального часу поточну інформацію від датчиків технологічних та експлуатаційних параметрів, формують (розраховують за заданими алгоритмами) керуючі дії та виводять їх на виконавчі механізми.

Функції автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора технологічного процесу розміщується в окремому приміщенні, регулятори та контролери обмінюються з ним інформацією та командами управління. АРМ реалізовано у вигляді центрального/локального пульта управління та комп'ютерної робочої станції що поєднує функції АРМ оператора ТП та АРМ наладчика АСУТП.

1.3 Аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко-економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК

Проводячи аналіз впливів вхідних сировинних, енергетичних, механічних параметрів технологічного процесу на вихідні параметри ($G_{\text{Б}}$,

$L_1, w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, G_B, F_{кв.}$), які складають техніко-економічний та екологічний регламенти можливо визначити шляхи підвищення техніко-економічної ефективності процесу. Таким чином, можливо визначити потенційні джерела економічної ефективності при впровадженні відповідних функцій регулювання та логічного керування. Зменшення енерговитрат можливо за рахунок забезпечення регламентів технологічного процесу системою керування. Загальною метою керування процесом зберігання та транспортування борошна є забезпечення ефективного та стабільного керування технологічними параметрами для отримання у виробничих бункерах борошна необхідної якості. До таких параметрів слід віднести P_5 – розрідження у аспіраційній системі, P_a ; $T_{смс}$ – температура борошна на виході із сілоса, G_B – витрати борошна, т/год; і тд. Із загальної мети керування можна виділити окремі задачі:

- підтримання вихідної змінної об'єкту керування ($X_{п}$) на її заданому значенні ($X_{п}^{здн}$) - задача регулювання.
- пристосування в процесі роботи об'єкту управління до його змінних властивостей - задача адаптації;
- забезпечення ефективних режимів роботи об'єкту керування - задача оптимізації;
- забезпечити режими пусках, зупинках, аварійних ситуаціях - задача логічного керування.

Таким чином, система керування процесом зберігання та транспортування борошна повинна бути багаторівневою та забезпечувати реалізацію всіх зазначених задач для ефективного функціонування обладнання та досягнення заданих параметрів процесу.

Необхідно і доцільно автоматизувати кожен із завдань управління.

Для завдання регулювання автоматизація необхідна для автоматичного регулювання заданої змінної в околиці бажаного значення із заданою точністю без фізичної участі людини.

Для завдання адаптації необхідна автоматизація пристосування в процесі роботи об'єкта управління 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) налаштування 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 зберігання та транспортування борошна до виробничих бункерів задачу можна вирішити, підвищивши вимоги до розв'язання задачі регулювання. Головним джерелом підвищення економічної ефективності цього процесу є зниження витрат на реалізацію технологічного процесу.

Загальною метою функціонування підприємства в цілому є виконання планових завдань або договірних зобов'язань щодо номенклатури та обсягу продукції, а також отримання при цьому певного економічного ефекту.

Декомпозиція загальної мети функціонування підприємства для більш низьких рівнів виробничої ієрархії приводить до наступних цілей:

- на рівні окремого технологічного процесу – координація роботи технологічного обладнання, на якому реалізується процес;
- на рівні окремих одиниць технологічного обладнання – виконання технологічних, експлуатаційних і техніко-економічних регламентів, зокрема – оптимізація роботи окремих одиниць обладнання.

Звідси задачу керування можна розділити на:

- задачу регулювання, коли необхідно забезпечити виконання вимог регламенту;
- завдання умовної оптимізації, коли при дотриманні вимог регламенту додатково відповідно до наперед сформульованим критерієм, вирішуються задачі оптимізації процесу. Наприклад, для процесу зберігання та транспортування борошна в якості регульованої координати доцільно обрати розрідження в аспіраційній системі.

1.4 Висновки за розділом

В розділі було розглянуто технологічний процес зберігання та транспортування борошна до виробничих бункерів. На основі аналізу технологічного процесу була визначена мета модернізації системи курування установки для підвищення економічної ефективності. Така мета включає відповідні окремі задачі які необхідно вирішити у процесі виконання роботи для розробки системи автоматизації. Розробка системи автоматизації технологічного процесу зберігання та транспортування борошна дає змогу забезпечити стабільність процесу, мінімізувати втрати енергоресурсів та досягти високої якості кінцевого продукту.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ, СТРУКТУРНА ТА ПАРАМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЙОГО КОМПОНЕНТІВ, ЇХ РЕАЛІЗАЦІЯ У СЕРЕДОВИЩІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

2.1. Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання

Необхідною умовою для розв'язання задач керування є наявність управляючих дій, що повинні бути вхідними змінними (координатами) ОК. Для задач регулювання такими керуючими діями є, перш за все, дії, які можуть цілеспрямовано змінювати витрати матеріальних та енергетичних потоків, а саме положення регулюючих органів. Кількість керуючих дій повинна дорівнювати кількості регульованих змінних.

Для процесу зберігання та транспортування борошна до керуючих дій доцільно віднести положення регульовального органу, на повітропроводі до силосу та регулюючого органу на вході витяжного вентилятора (u).

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. Для процесу зберігання та транспортування борошна контрольовані збурення не розглядаємо, але всі інші вхідні дії, крім управляючих впливів віднесемо до неконтрольованих збурень f .

Структурна схема ОК є черговим і останнім етапом формалізації подання технологічного процесу як ОК. Розробка схеми проводиться на основі результатів досліджень, викладених у п.п. 1.3.1 – 1.3.3.

Структурна схема ОК, по суті, є найбільш загальною (концептуальною) моделлю технологічного процесу як ОК.

Структурна схема процесу транспортування борошна до виробничих бункерів наведена на рис. 2.1.

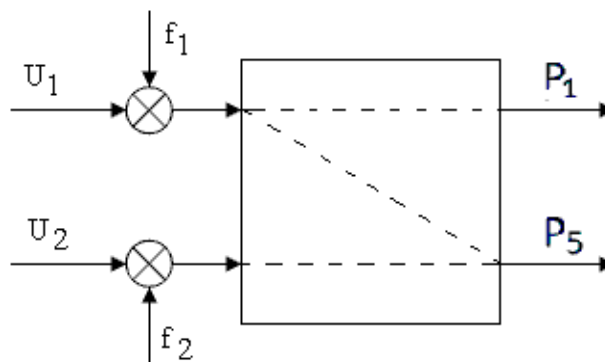


Рис. 2.1 – Структурна схема процесу перевантаження борошна з силосу як об'єкту регулювання

P_1 – тиск повітря до силосу транспортування борошна кПа;

P_5 – розрідження в аспіраційній системі, Па;

U_1 – регулюючий вплив – переміщення регулюючого органу на повітропроводі до силосу, % х.р.о.;

U_2 – регулюючий вплив – переміщення регулюючого органу на вході витяжного вентилятора, % х.р.о.;

f – неконтрольоване збурення.

2.2. Структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей каналів перетворення об'єкта регулювання

Для виконання структурної та параметричної ідентифікації математичних моделей необхідно провести ряд відповідних експериментів.

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 транспортування борошна до виробничих бункерів за каналами керування, ОК має властивість самовирівнювання. Збільшення керуючих дій приведе до збільшення (значення регульованої змінної) тиску повітря до пневмотранспортної системи або розрідження в аспіраційній системі. Виходячи з фізичної суті процесів, що протікають в ОК, відомо, що відносно у повній мірі математично ці процеси можуть бути описані нелінійними диференціальними рівняннями. Але також відомо, що номінальний режим

функціонування ОК пов'язаний з порівняно з визначеним діапазоном зміни тиску повітря та розрідження в аспіраційній системі як регульованих координат. А в такому діапазоні процеси можуть бути описані лінійними диференціальними 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 розуміння простоти організації цих дій, мінімізації витрат часу на проведення експерименту та обробки його результатів, доцільно використовувати ступінчасті дії.

План активного експерименту наступний:

1. За допомогою зміни управляючої дії домагаємося значення регульованої координати, що перебувало б в околиці її номінального значення. Для нашого ОК значенню $u_1=58\%x.p.o.$ буде відповідати значення регульованої координати 0,1 МПа, а значення $u_2=59\%x.p.o.$ відповідає 500 Па розрідження в аспіраційній системі.

2. Чекаємо закінчення перехідного процесу в каналі та настання сталого режиму, при якому вихідна змінна перестане змінюватися.

3. Змінимо керуючу дію ступінчастим чином на $10\%x.p.o.$, відзначивши при цьому момент початку його зміни.

4. Реєструємо зміну вихідної змінної до настання нового сталого режиму, вхідну дію у такому разі можна не реєструвати.

Результати активного експерименту наведені на рис. 2.2.

За результатами активного експерименту (рис. 2.2) можна зробити висновок, що канал керування ОК має властивість самовирівнювання, а значить його модель може бути описана передаточними функціями: першого та другого порядку:

$$W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{T_0 p + 1}; \quad W_0(p) = \frac{K_0 \cdot e^{-\tau_0 p}}{(T_0 p + 1)^2}.$$

Вибір методик і проведення параметричної ідентифікації моделей першого та другого порядків.

Для параметричної ідентифікації моделей ОК зі статичними властивостями необхідно знайти коефіцієнт передачі ОК (K_0), сталу часу (T_0) і час запізнення (τ_0).

Коефіцієнт передачі ОК за каналом $U_1 - P_1$ визначають за формулою:

$$K_1 = \frac{\Delta P_1}{\Delta u_1} = \frac{0,117 - 0,1}{10} = 0,0017 \frac{\text{МПа}}{\% \text{ХРО}}$$

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

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.2), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

$$t_{0,33} = 7,4 \text{ с};$$

$$t_{0,7} = 14,2 \text{ с}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 7,4 - 14,2) = 4,0 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (14,2 - 4,0) / 1,2 = 8,5 \text{ с}$$

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

$$W(p) = \frac{0,0017 \cdot e^{-4p}}{8,5p + 1}$$

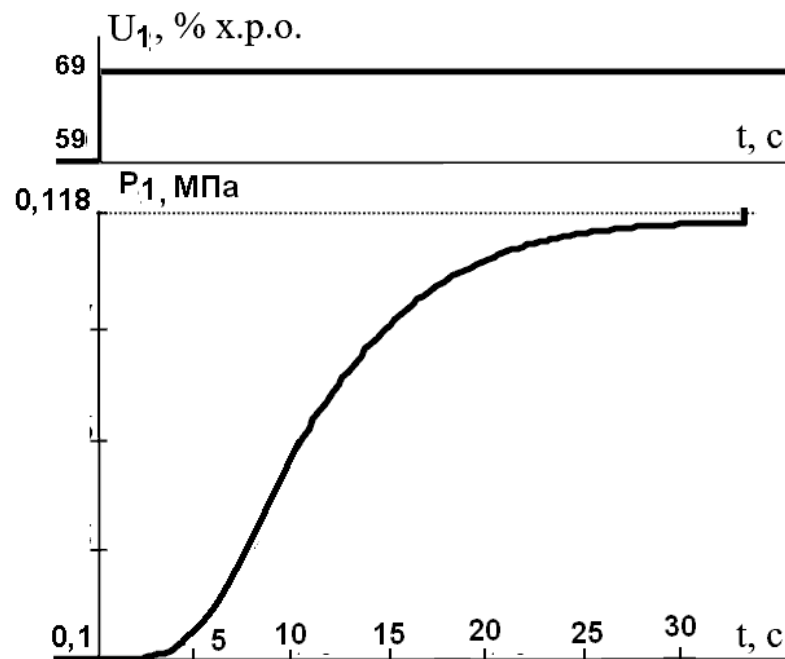


Рис. 2.2 – Результати активного експерименту

Для моделі 2-го порядку

$$t_{0,19} = 5,9 \text{ с.}$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 7,1 - 14,2) = 3,6 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 2,4 = (14,2 - 3,6) / 2,4 = 4,1 \text{ с}$$

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

$$W(p) = \frac{0,0017 \cdot e^{-3,6p}}{(4,1p + 1)^2}$$

Визначені 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 каналу ОК експериментальні дані зведено в таблицю 2.1. Схема моделювання каналу управління ОК наведена на рис. 2.3. Результати моделювання наведені на рис. 2.4.

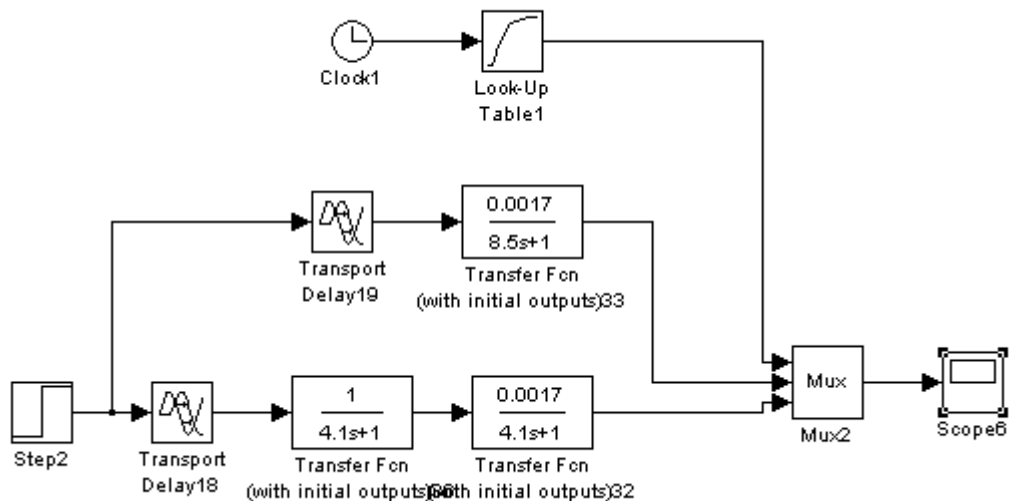


Рис. 2.3 – Схема моделювання каналу управління ОК «U₁ – P₁»

Також само проведемо ідентифікацію моделі за каналом U₂ – P₅.

Коефіцієнт передачі ОК за каналом U₂ – P₅ визначимо за формулою:

$$K_2 = \frac{\Delta P_1}{\Delta u_1} = \frac{652 - 500}{10} = 15,2 \frac{\text{Па}}{\%XPO}$$

Таблиця 2.1 – Експериментальні дані

t, c	P ₁ МПа	t, c	P ₁ МПа
0	0.1	20	0.1167
0,5	0.1	25	0.1176
1	0.1	30	0.118
1,5	0.1	35	0.118
2	0.1	40	0.118
2,5	0.1002	45	0.118
3	0.1004		
3,5	0.1006		
4	0.1013		
5	0.1026		
8	0.1074		
10	0.11		
15	0.1147		

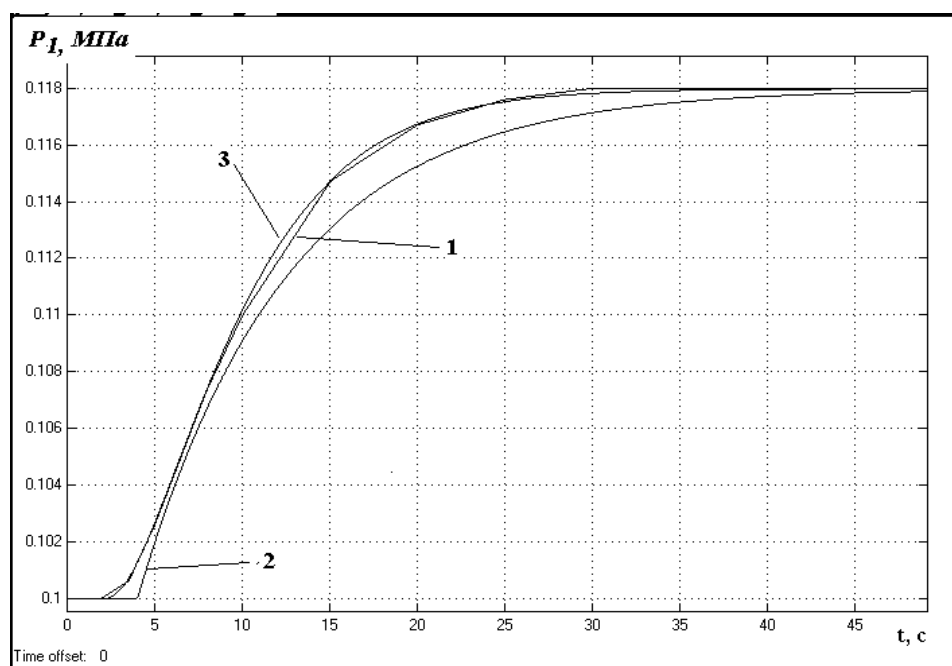


Рис. 2.4 – Результати моделювання за каналом «U₁ – P₁»:

1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку
«U₁ – P₁»

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

Для моделі 1-го порядку

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.5), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$ згідно з графіку результату активного експерименту.

$$t_{0,33} = 5,84 \text{ с};$$

$$t_{0,7} = 10,72 \text{ с}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 5,84 - 10,72) = 3,4 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (10,72 - 3,4) / 1,2 = 6,1 \text{ с}.$$

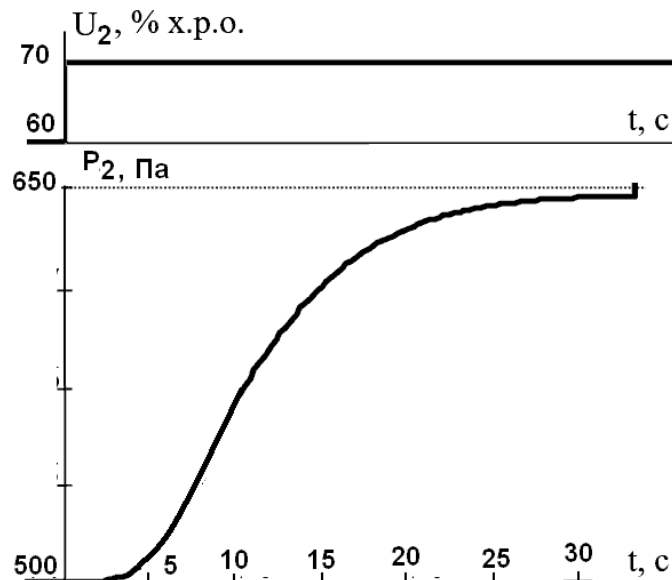


Рис. 2.5 – Результати активного експерименту

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

$$W(p) = \frac{15,2 \cdot e^{-3,4p}}{6,1p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

$$t_{0,19} = 5,12 \text{ с}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 5,12 - 10,72) = 2,32 \text{ с}$$

$$T_o = (t_{0,7} - \tau_o) / 2,4 = (10,72 - 2,32) / 2,4 = 3,5 \text{ с}$$

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

$$W(p) = \frac{15,2 \cdot e^{-2,32p}}{(3,5p + 1)^2}$$

Моделі каналу регулювання також були представлені засобами середовища MATLAB/Simulink (Рисунок 2.6), а результати моделювання представлені на рисунку 2.7.

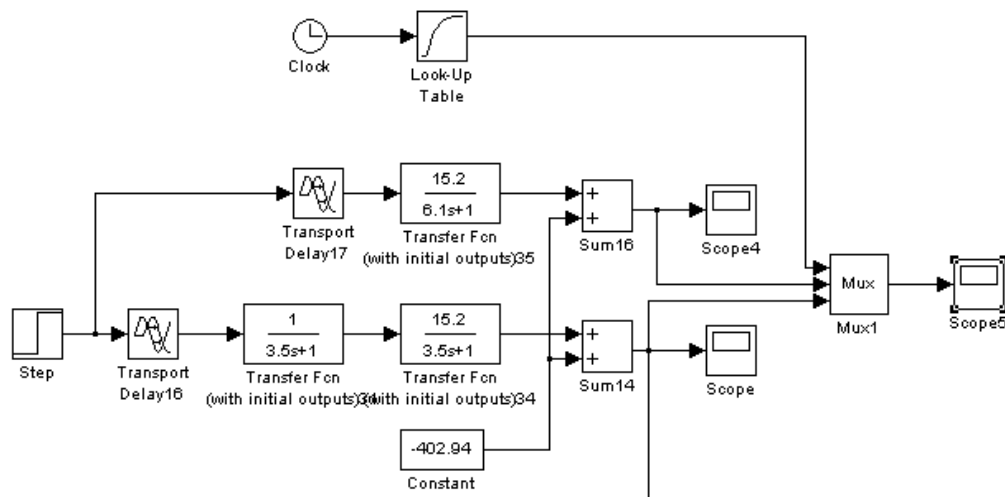


Рис. 2.6 – Схема моделювання каналу управління ОК «U₂ – P₅»

Таблиця 2.2 – Експериментальні дані

t, с	P ₅ , Па	t, с	P ₅ , Па
0	500	20	650
0,5	500	25	650
1	500	30	650
1,5	500	35	650
2	500	40	650
2,5	500	45	650
3	502		
3,5	511,5		
4	526		
5	572		
8	579		
10	633		
15	646		

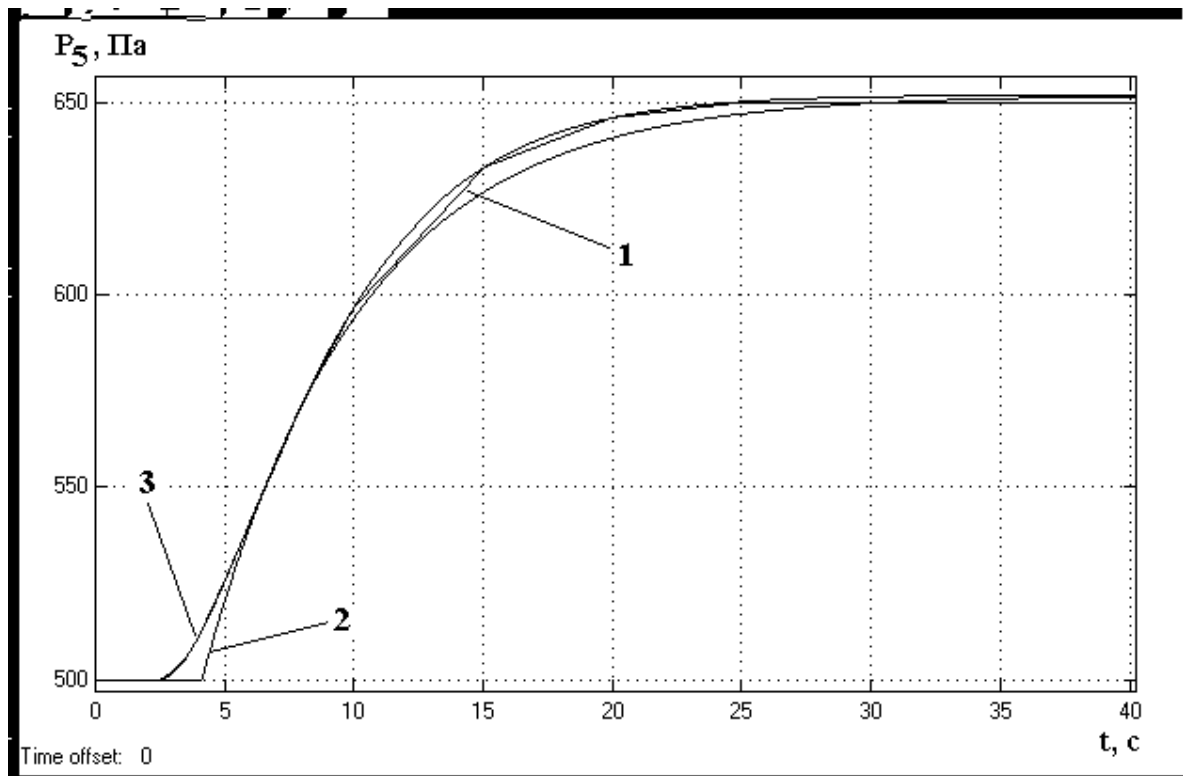


Рис. 2.7 – Результати моделювання за каналом «U₂ – P₅»:

1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку
«U₂ – P₂»

Аналогічним чином проведемо ідентифікацію моделі за каналом U₁ – P₅. Коефіцієнт передачі ОК за каналом U₁ – P₅ визначають за формулою:

$$K_3 = \frac{\Delta P_5}{\Delta u_1} = \frac{432 - 500}{10} = -6,8 \frac{\text{Па}}{\%XPO}$$

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

Для моделі 1-го порядку

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.8), знаходимо t_{0,33} і t_{0,7}.

$$t_{0,33} = 7,52 \text{ с};$$

$$t_{0,7} = 14,5 \text{ с}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 7,52 - 14,5) = 4,1 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (14,5 - 4,1) / 1,2 = 8,7 \text{ с}$$

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

$$W(p) = \frac{-6,8 \cdot e^{-4,1p}}{8,7p + 1}$$

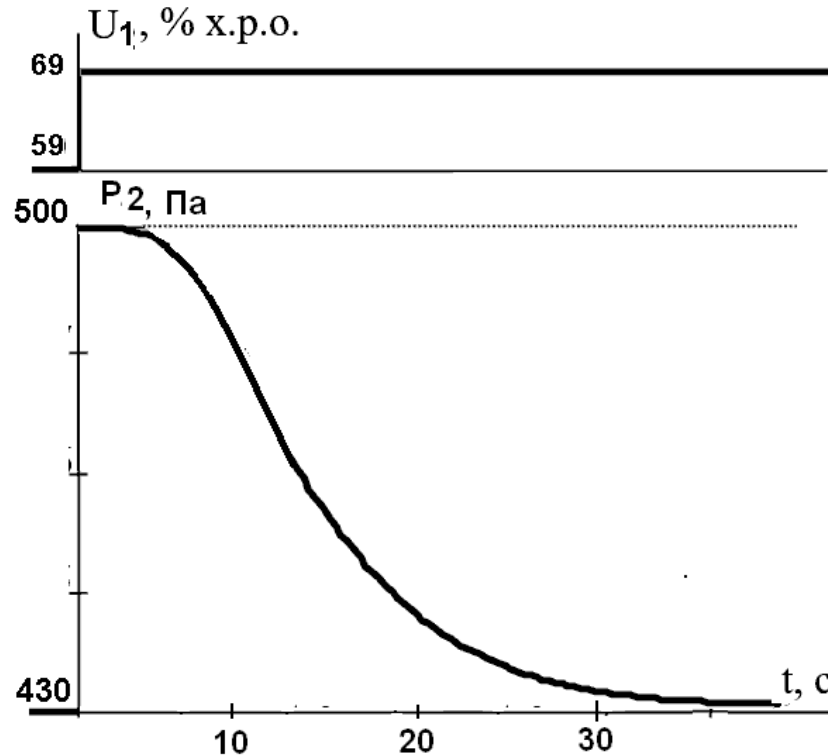


Рис. 2.8 – Результати активного експерименту

Для моделі 2-го порядку

$$t_{0,19} = 6,8 \text{ с.}$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 6,8 - 14,5) = 3 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 2,4 = (14,5 - 3) / 2,4 = 4,8 \text{ с}$$

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

$$W(p) = \frac{-6,8 \cdot e^{-3p}}{(4,8p + 1)^2}$$

Схема моделювання каналу управління представлена на рисунку 2.9, та відповідні результати каналу регулювання представлені на рисунку 2.10.

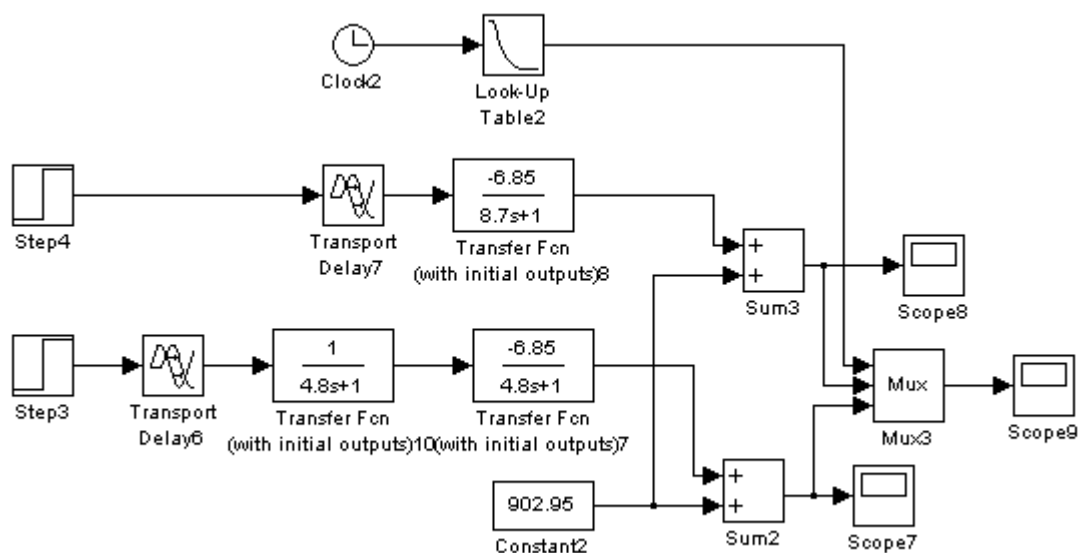


Рис. 2.9 – Схема моделювання каналу управління ОК «U₁ – P₅»

Таблиця 2.3 – Експериментальні дані

t, c	P ₅ , Па	t, c	P ₅ , Па
0	500	20	449
0,5	500	25	439
1	500	30	434
1,5	500	35	431
2	500	40	431
2,5	500	45	431
3	499.6		
3,5	499.6		
4	498		
5	497		
8	493		
10	478.5		
15	468		

Відповідно з результатів моделювання можливо зробити висновок що перехідні характеристики моделей 1-го та 2-го порядків значно збігаються з експериментальною. Таким чином параметри моделей 1-го порядку можливо використовувати при розрахунку параметрів настройки регуляторів а моделі

2-го порядку можливо використовувати на етапах моделювання та оптимізації САУ.

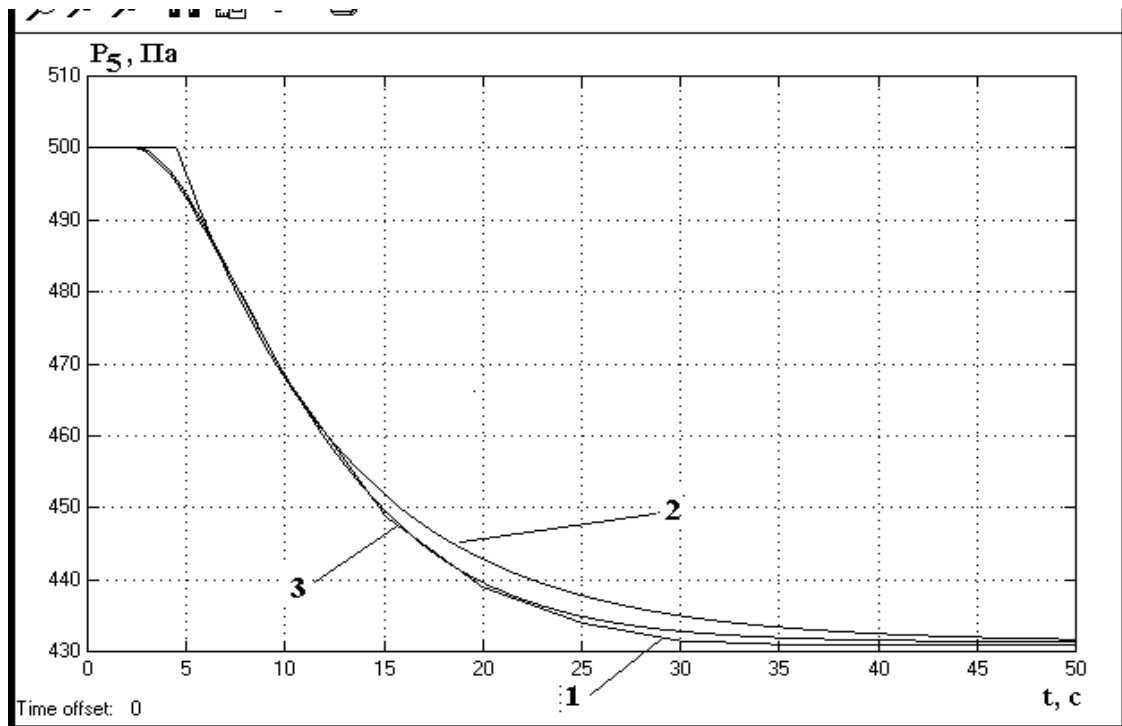


Рис. 2.10 – Результати моделювання за каналом « $U_1 - P_5$ »:

1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку
« $U_1 - P_5$ »

2.3. Реалізація математичних моделей на ПЕОМ у середовищі комп'ютерного імітаційного моделювання, проведення з ними комп'ютерних експериментів для обґрунтування їх адекватності.

2.3.1 Визначення статичних характеристик об'єкта управління

Статичні властивості об'єкту управління визначаються статичними характеристиками різних каналів регулювання. Статичні характеристики відображають взаємозв'язок між вхідними і вихідними змінними каналів об'єкту управління в статично сталих режимах, тобто після загасання всіх перехідних процесів.

Кінцевим результатом ідентифікації математичної моделі статички є отримання функціональної залежності виду $y=f(x)$ на основі експериментальних даних.

В теорії експерименту змінні x називають факторами, а їх функцію y - відкликом. Відповідно до цієї термінології експеримент, проведений для ідентифікації моделі, де функція залежить від однієї змінної, називають одне-факторним, а функція багатьох змінних - багатофакторним.

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

Результати експерименту для визначення статичних характеристик об'єкту управління зведено в таблицю 2.4 та представлено на рисунку 2.11

Таблиця 2.4 Результати експерименту для визначення статичної характеристики об'єкту управління за каналами $U_1 - P_1$ та $U_1 - P_5$, при $U_2=60$

%х.р.о.

№ експерименту	U_1 , %х.р.о.	P_1 МПа	P_5 , Па
1	50	0,085	569
2	60	0,102	501
3	70	0,119	432
4	80	0,136	364

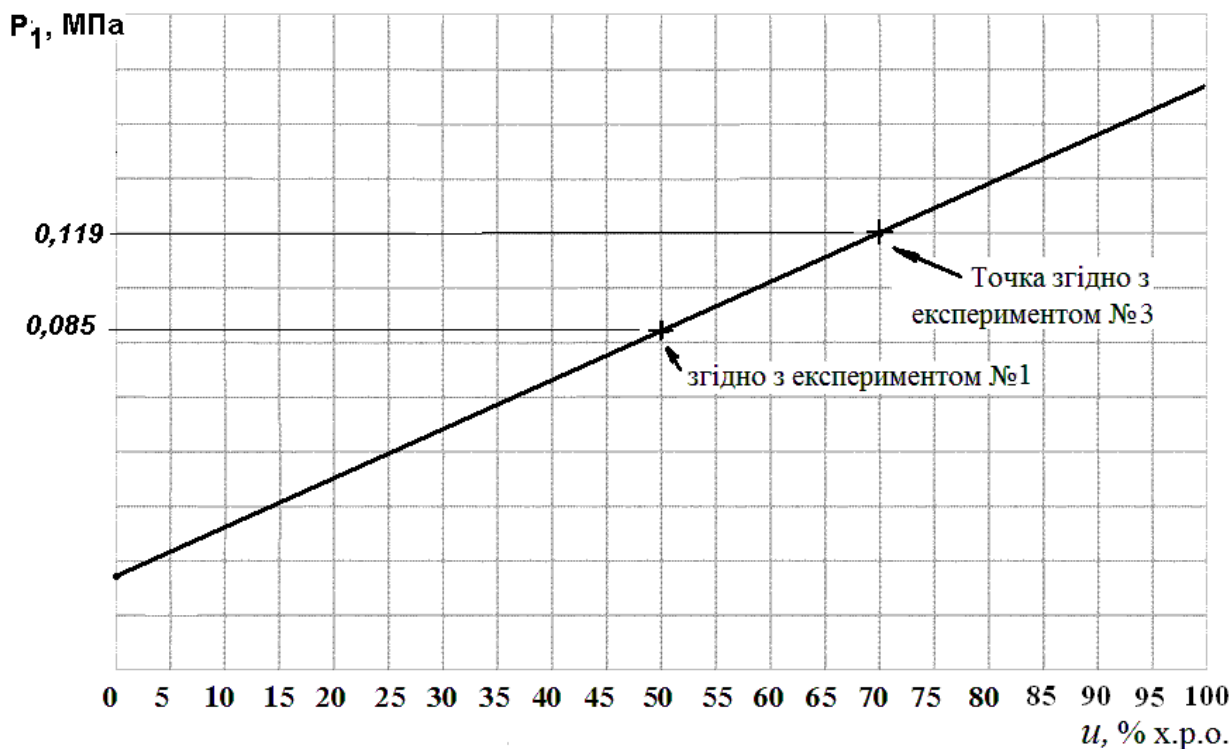


Рисунок 2.11 – Експериментальна статична характеристика за каналом $U_1 - P_1$

Таблиця 2.5 Результати експерименту для визначення статичної характеристики об'єкту управління за каналом $U_2 - P_5$, при $U_1=60$ %х.р.о.

№ експерименту	U_2 , %х.р.о.	P_5 , Па
1	50	349
2	60	501
3	70	653
4	80	805

2. Аналіз отриманої в ході експерименту інформації та опис статичної характеристики каналу регулювання

Для дослідного об'єкту управління, як видно з рисунку 2.11, статична характеристика може бути описана лінійною залежністю виду:

$P_1 = k_1 \cdot u_1$ при одно факторному експерименті, де P_1 – тиск повітря; u – управляючий вплив за степеням відкриття заслінки.

$$P_5 = k_3 \cdot u_1 + k_2 \cdot u_2$$

Параметр k_1 визначимо: $k_1 = \Delta P_1 / \Delta u = (0,119-0,085) / (70-50) = 0,017$ МПа/%ХРО.

Параметр k_2 визначимо: $k_1 = \Delta P_5 / \Delta u = (653-349) / (70-50) = 15,2$ Па/%ХРО

Параметр k_3 можна визначити з залежності:

$P_5 = k_3 \cdot u_1 + k_2 \cdot u_2 = k_3 \cdot 60 + 15,2 \cdot 60 = 501$ Па, $k_3 = 411/60 = -6,18$ Па/%ХРО

Отже, статичні характеристики об'єкту управління можна описати залежностями:

$$P_1 = 0,0017 \cdot u_1;$$

$$P_5 = -6,18 \cdot u_1 + 15,2 \cdot u_2;$$

Також, відповідну характеристику, що представлена на рисунку 2.11, можна отримати в програмному середовищі MATLAB\Simulink за схемою моделювання представленою на рисунку 2.12.

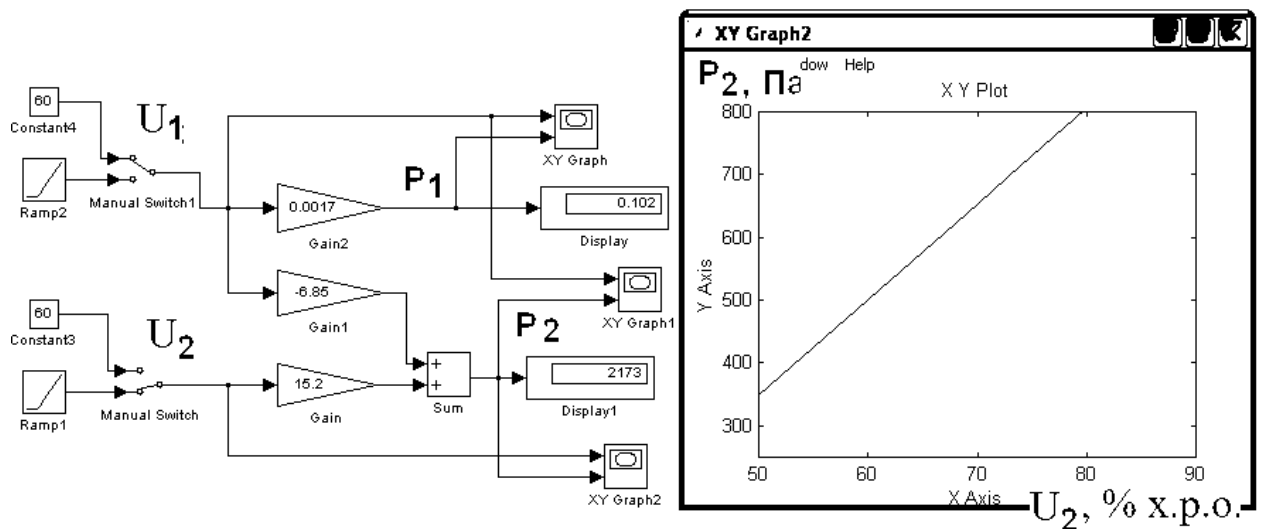


Рисунок 2.12 Схема моделювання та отримана відповідно до схеми статична характеристика каналу регулювання $u_2 - P_5$

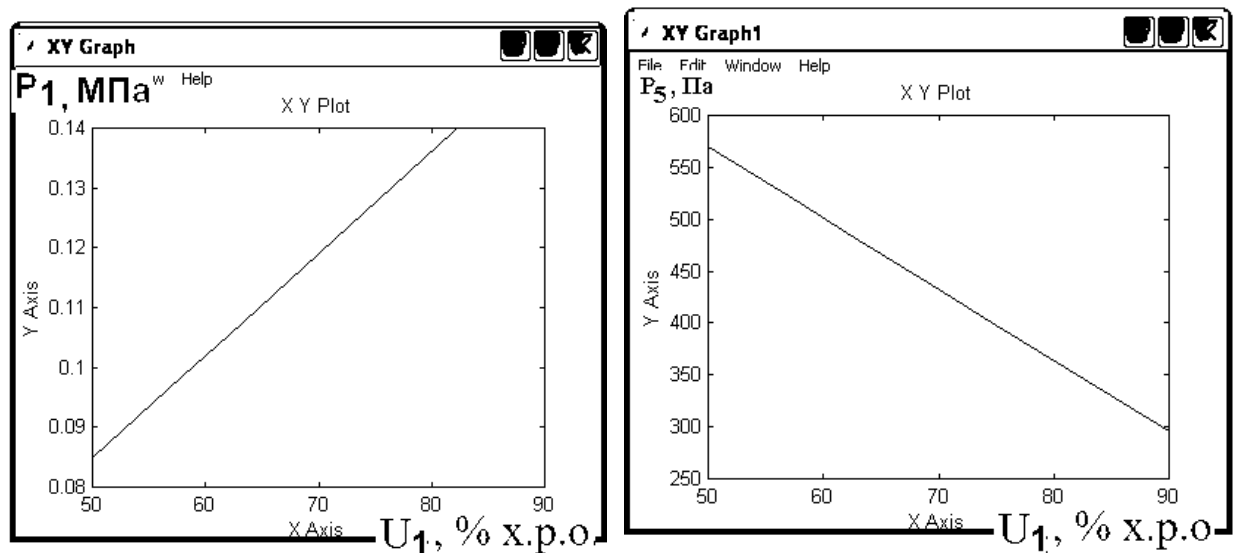


Рисунок 2.13 Статичні характеристики каналів моделі об'єкта управління $u_1 - P_1$ та $u_1 - P_5$

2.3.2 Визначення моделі неконтрольованих збурень, як випадкових процесів

Відтворимо моделі неконтрольованих збурень, як випадкових процесів. Базова модель неконтрольованих збурень у відповідності метода формуючого фільтра матиме вигляд:

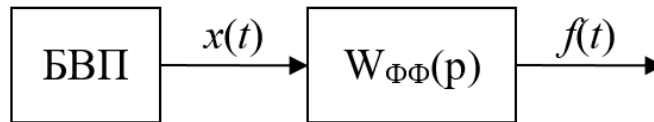


Рис. 2.14 – Структурна схема моделі СП

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

$$|W_F(j\omega)|^2 = \frac{S_f(\omega)}{S_x(\omega)}$$

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

Якщо спектральну щільність випадкового процесу представити виразом

$$S_f(\omega) = \frac{D_f 4\alpha\omega^2}{(\omega^2 + \alpha^2)^2} \text{ то передатна функція фільтра має вигляд:}$$

$$|W_F(j\omega)|^2 = \frac{S_f(\omega)}{S_x(\omega)} = \frac{2j\omega\sqrt{D_f\alpha}}{(\alpha + j\omega)^2}$$

Після перетворення та заміни $j\omega \Rightarrow p$ передатна функція буде мати вигляд:

$$W_F(p) = \frac{2\sqrt{D_f\alpha}p}{\alpha^2\left(\frac{1}{\alpha} + p\right)^2}$$

Згідно з результатами ідентифікації випадковий процес, що відповідає випадковому впливу, що збурює має наступні характеристики:

- 1) математичне очікування $M_f=0$;
- 2) середньоквадратичне відхилення $G_f=15$;
- 3) дисперсія $D_f = G_f^2 = 15^2 = 225$;

4) щільність вірогідності $p(f)$ – для нормального(гаусового) випадкового процесу;

5) кореляційна функція:

$$R_f(\tau_k) = D_f e^{-\alpha|\tau_k|} \cdot (1 - \alpha|\tau_k|);$$

6) $\alpha = 0,00806$;

7) спектральна щільність процесу f :

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

Відповідно спектральна щільність процесу, що має властивості білого шуму:

$$S_x(\omega) = a = G_x^2 \frac{2 \cdot \Delta t_z}{3} = 1 \frac{2 \cdot 0,5}{3} = 0.33$$

Згідно з характеристиками визначаємо параметри формуючого фільтру.

$$k = \frac{1}{S_x(\omega)} \frac{\sqrt{D_f \alpha}}{\alpha^2} = \frac{1}{0,33} \cdot \frac{\sqrt{225 \cdot 0,00806}}{0,00806^2} = 62812$$

Передатна функція формуючого фільтра з визначеними параметри для генерації випадкового процесу із заданими властивостями наступна:

$$W_F = \frac{k_F}{\left(\frac{1}{\alpha} \cdot p + 1\right)^2} = \frac{62812 \cdot p}{(124 \cdot p + 1)^2}$$

Було проведене моделювання випадкового процесу із заданими властивостями, використовуючи отриману передатну функцію формуючого фільтру. Результати моделювання представлені на рисунку 2.15.

Визначений випадковий процес що представлений на рисунку 2.15 відповідає впливу що збурює. До файлу c55.sp після запуску моделювання була записана реалізація стохастичного процесу.

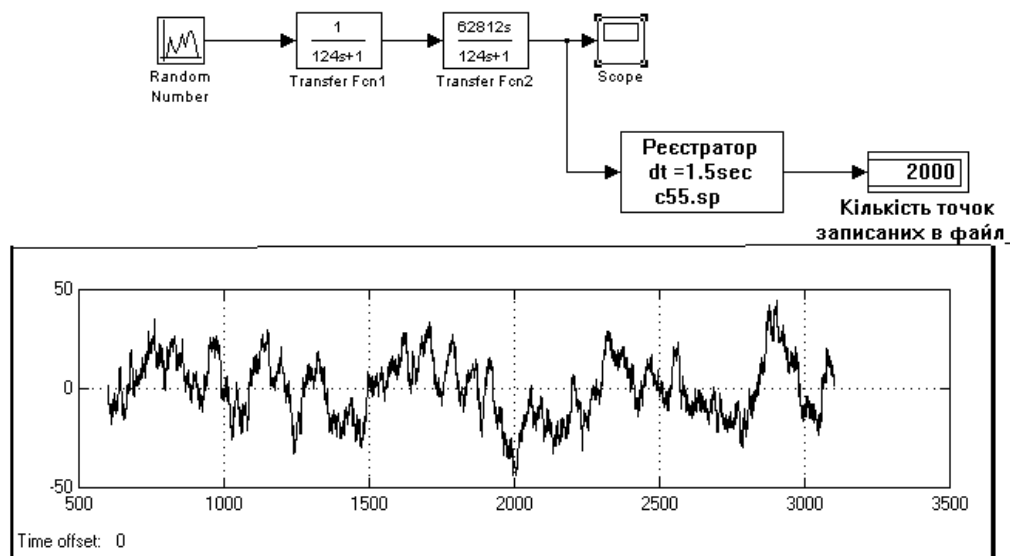


Рисунок 2.15 – Схема та результати моделювання неконтрольованих збурень випадкового характеру

Для визначення характеристик випадкового процесу була використана програма IDsoft. До програми IDsoft було загружено файл з даними. На першому кроці роботи з програмою IDsoft була проведена візуалізація випадкового процесу та отримані результати оцінювання його найпростіших характеристик.

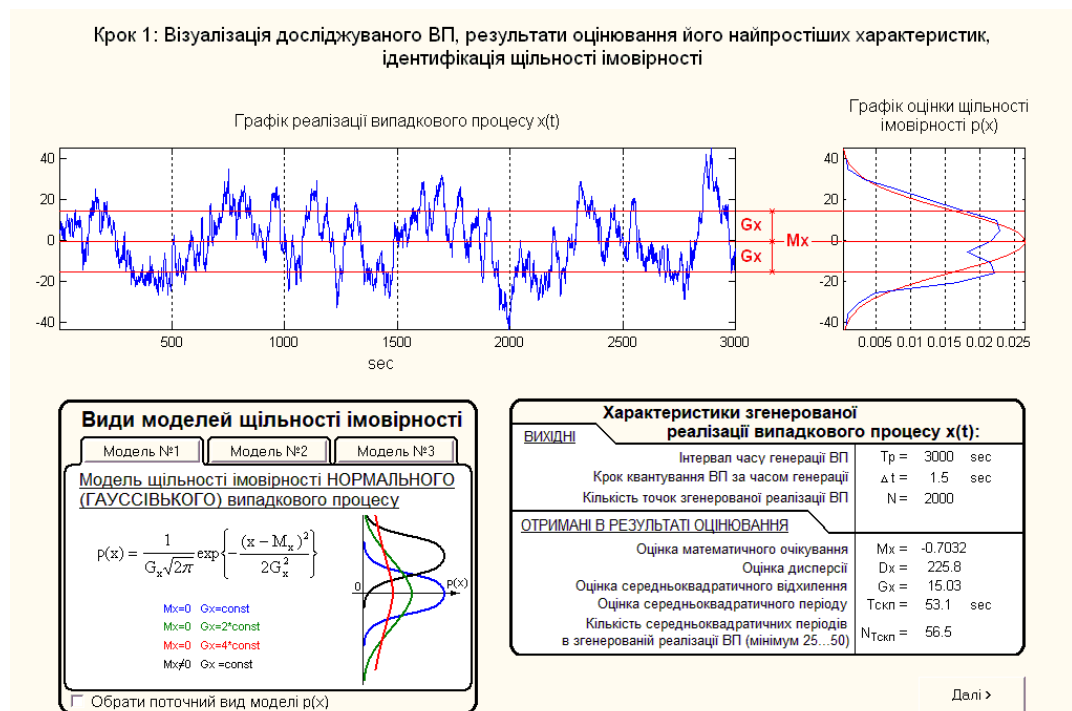


Рисунок 2.16 – Вікно візуалізації випадкового процесу за допомогою програми IDsoft

На другому кроці роботи з програмою IDsoft була проведена структурна ідентифікацію моделей автокореляційної функції та спектральної щільності.

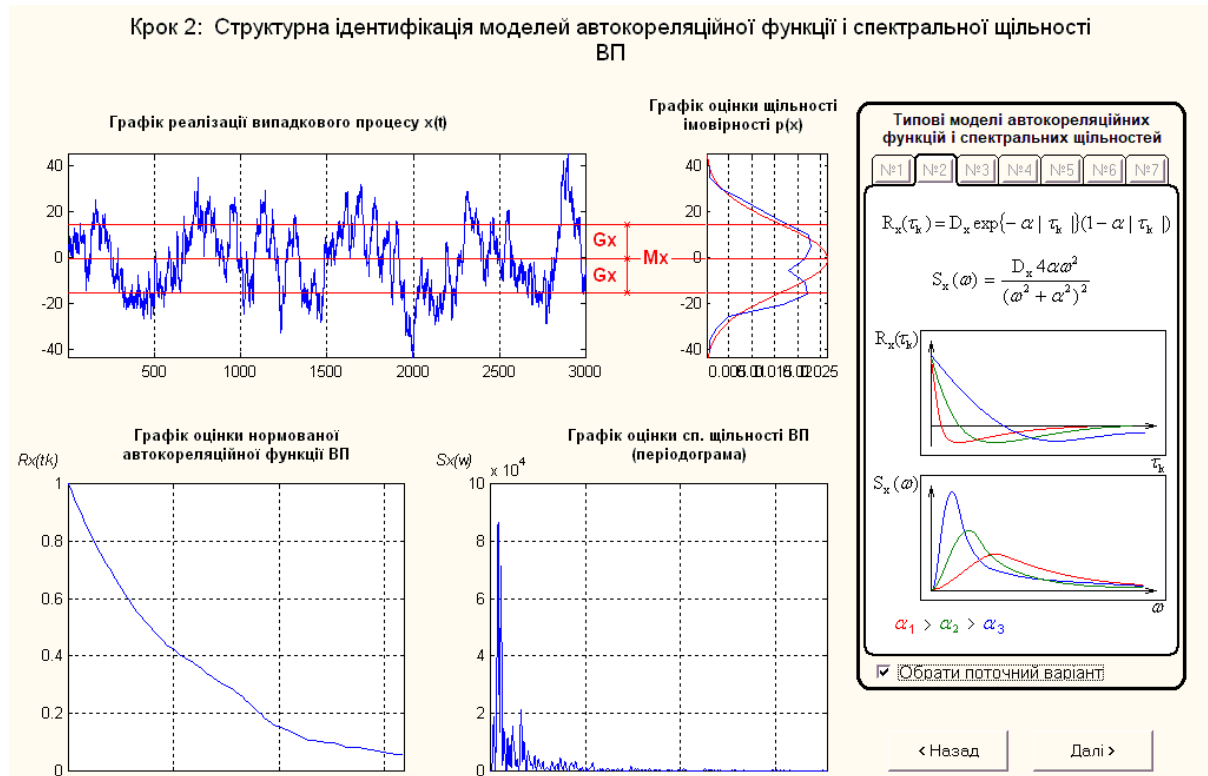


Рисунок 2.17 – Вікно програми **IDsoft** що відображає візуалізацію графіків оцінок автокореляційної функції та спектральної щільності випадкового процесу

На основі графіків оцінок автокореляційної функції та спектральної щільності були вибрані відповідні моделі. На третьому кроці роботи з програмою IDsoft, проведена параметрична ідентифікація моделей кореляційної функції та спектральної щільності. Таким чином, був визначений параметр α який необхідний для визначення постійної часу фільтра $W_F(p)$. Визначені параметри випадкового процесу за допомогою програми IDsoft необхідні для визначення моделі та підтвердження заданих властивостей змодельованого стохастичного процесу, що був представлений на рисунку 2.15.

З рисунку 2.16 бачимо, що оцінка математичного очікування $Mx=0,7$ суттєво неістотно відрізняється від заданого.

Крок 3: Параметрична ідентифікація моделей автокореляційної функції і спектральної щільності ВП

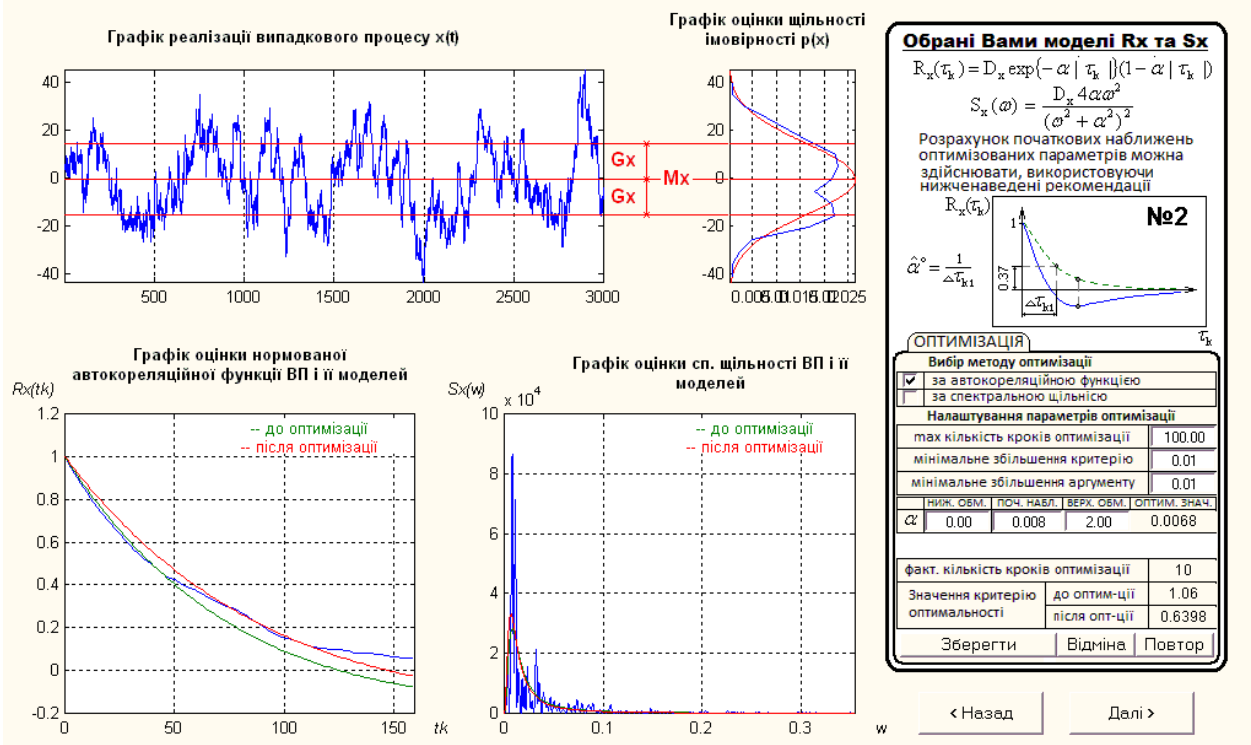


Рисунок 2.18 – Вікно третього кроку роботи з програмою IDsoft

Оцінка середньоквадратичного відхилення $G_x=15,03$ відрізняється від заданого на

$$\Delta = \frac{|G_x - G'_x|}{G_x} \cdot 100\% = \frac{|15 - 15,03|}{15} \cdot 100\% = 0,2\%$$

Також з рисунку 2.18 бачимо, що визначене значення $\alpha=0,0068$ неістотно відрізняється від заданого $\alpha = 0,00806$.

Таким чином, можливо вважати результати задовільними так як відхилення між заданими та отриманими значеннями характеристик (або параметрів) не перевищує 5%.

Повна модель ОУ включає в себе модель каналу управління з відповідною статичною характеристикою і модель неконтрольованого збурення. Схема моделювання ОУ наведена на рисунку 2.19.

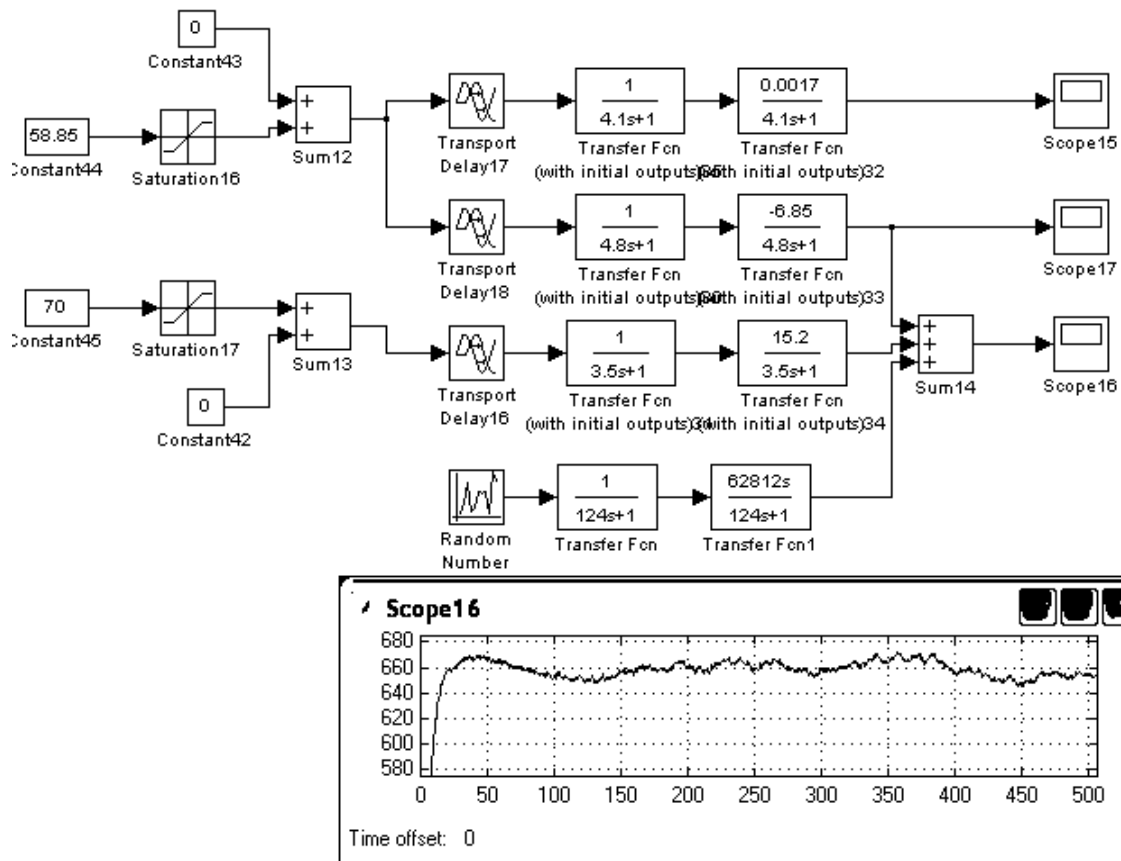


Рисунок 2.19 Схема та результат моделювання об'єкта управління

2.4. Висновок до розділу:

В ході виконання цього розділу визначено структурну та параметричну ідентифікацію моделей динаміки каналів об'єкта керування та перевірено їх відповідність експериментальним даним. На основі експериментальних даних математичні моделі каналів об'єкту керування можуть бути представлені статичною аперіодичною ланкою 1-го або 2-го порядку і ланкою запізнення. Параметрична ідентифікація проводилася за методиками двох загальних точок для першого і другого порядку.

В якості базової моделі відтворення неконтрольованого збурення, як випадкового процесу за розрідженням в аспіраційній системі, було обрано метод формуючого фільтра. За яким базовий випадковий процес з властивостями «білого шуму» пропущено через спеціально розрахований та скоригований формуючий фільтр.

Відтворення отриманих моделей здійснювалося у середовищі імітаційного моделювання MATLAB. Отримана модель майже повністю відповідає експериментальним даним, що підтверджує точність отриманих даних. Надалі отримані в цьому розділі моделі використовуватимуться для синтезу і аналізу САР підвищеної динамічної точності технологічного процесу зберігання та транспортування борошна.

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

3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом

Формалізуємо вимоги до гранично-припустимих статичних і динамічних відхилень регульованих змінних від відповідних заданих значень перехідних і динамічно сталих процесів і подання їх у формі регламентних зон регульованих змінних.

Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів (див. табл. 1.1) тиск повітря до силосу та пневмотранспорту повинна підтримуватися на рівні 0,1 МПа з точністю $\pm 0,01$ МПа. За цим параметром припустимі короточасні відхилення до $\pm 0,015$ МПа. протягом часу не більше 20 секунд. Також розрідження в аспіраційній системі повинна підтримуватися на рівні – 500 Па з точністю ± 20 Па з допустимим короточасним відхиленням ± 100 Па. протягом часу не більше 30 секунд. Регламентна зона за цим параметром наведена на рис. 3.1.

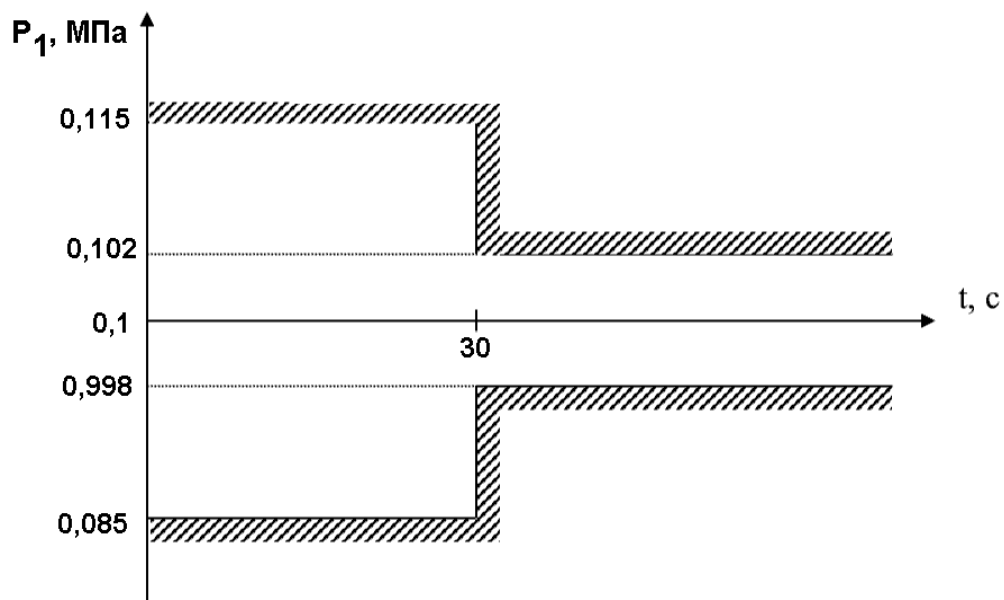


Рис. 3.1 – Регламентна зона для тиску повітря до пневмотранспортної системи

Як видно з регламентів на САР для процесу перевантаження борошна до виробничих бункерів особливо жорсткі вимоги пред'являються до

короткочасних відхилень, так як саме недотримання цих регламентів може призвести до порушення процесу транспортування і суттєвих економічних збитків. При цьому малі відхилення регламентуються не дуже жорстко. Тому в якості інтегрального критерію застосуємо саме інтегральний модульний квадратичний критерій, що дозволяє отримати систему відносно грубою. Тому ефективність роботи САР тиску повітря та розрідження у аспіраційній системі і підвищення її динамічної точності доцільно вести за таким критерієм:

$$J = \int_0^{t_k} (\alpha \cdot |\Delta P_1(t)| + |\Delta P_5(t)|) dt$$

де t_k – час моделювання;

$\Delta P_1(t)$ – відхилення тиску повітря до пневмотранспортної системи від заданого значення;

$\Delta P_5(t)$ – відхилення розрідження в аспіраційній системі від заданого значення.

Саме за цим критерієм доцільно оцінювати ефективність роботи САР тиску повітря та розрідження у аспіраційній системі.

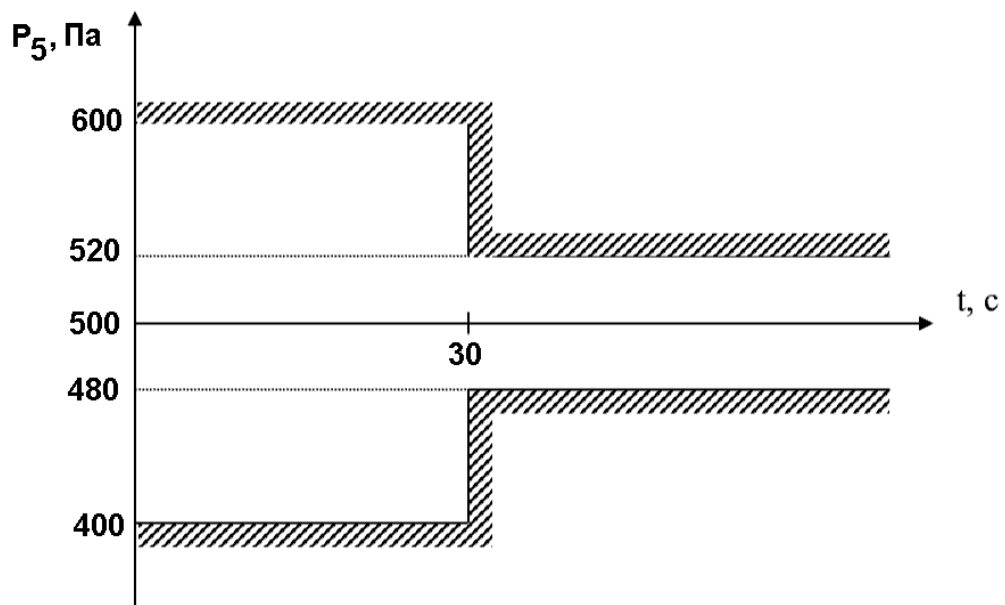


Рис. 3.2 – Регламентна зона для розрідження в аспіраційній системі

Залежно від обсягу використовуваної керуючим пристроєм (КП) інформації про ОУ виділяють чотири принципи побудови САР: принцип розімкнутого твердого (програмного) керування; принцип розімкнутого

керування по збурюванню; принцип замкнутого керування по стані ОУ або керування зі зворотним зв'язком; комбінований принцип керування.

Для системи керування процесу перевантаження та зберігання борошна, крім інформації про бажаний стан ОК (Pz^{3DH}), є інформація про поточний стан ОК (P_n). Такий обсяг інформації для формування керуючого впливу (u) достатній для реалізації замкнутого принципу керування. Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР тиску повітря до пневмотранспортної системи і розрідження в аспіраційній системі базової структури. Структурна схема цього принципу управління приведена на рис. 3.3.

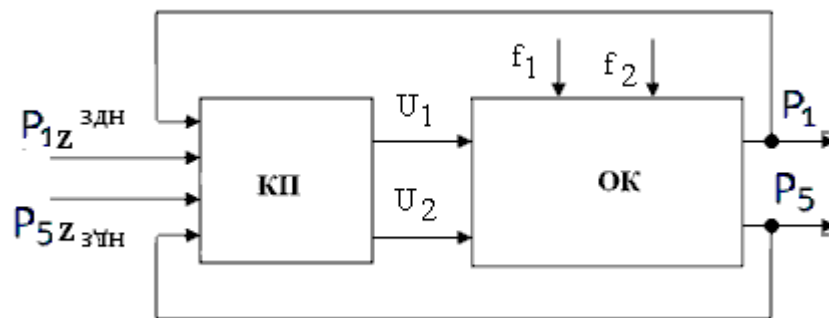


Рис. 3.3 – Структурна схема системи керування, що відповідає замкнутому принципу керування

3.2. Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

Структурна схема процесу зберігання та транспортування борошна яка наведена на рис. 1.2. та відповідно до неї структурна схема, що відповідає замкнутому принципу керування представлена на рис. 3.3 а структурна схема САР матиме вигляд, наведений на рис. 3.4.

На рисунку 3.4 позначено:

P_1 – регульована змінна - тиск повітря до пневмо-транспортної системи, МПа;

P_5 – регульована змінна – розрідження в аспіраційній системі, Па;

P_{1z} – задане значення тиску повітря до пневмо-транспортної системи,

P_{55} – задане значення розрідження в аспіраційній системі, Па;

$W_{P1}(p)$ – передатна функція регулятора тиску повітря;

$W_{P2}(p)$ – передатна функція регулятора розрідження в аспіраційній

системі;

f_1 – неконтрольований збурюючий вплив;

u_1 – управляючий вплив за тиском повітря до пневмотранспортної системи – ступень відкриття заслінки %ХРО.

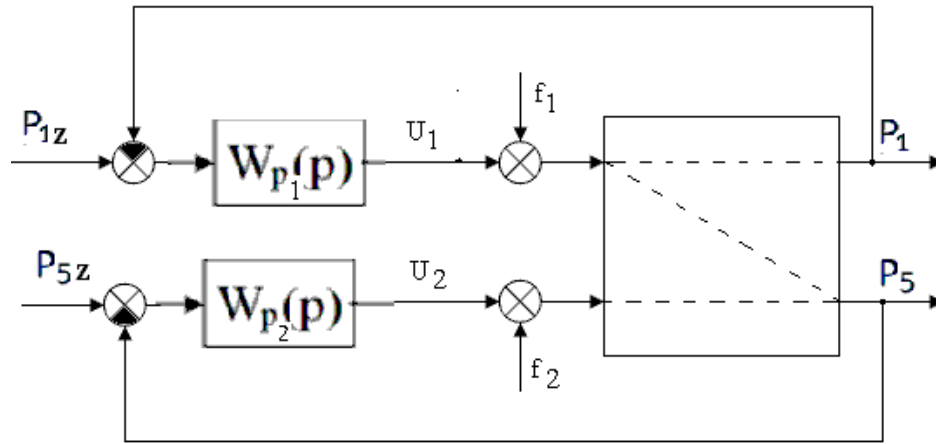


Рис. 3.4 – Структурна схема САР базової структури

Процес зберігання та транспортування борошна у відповідній установці за всіма каналами має статичні властивості, тому в якості альтернативних варіантів алгоритмів регулювання обираємо пропорційно-інтегральний (ПІ) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання.

Рівняння руху ПІ-регулятора

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

Передаточна функція ПІ-регулятора

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

Рівняння руху ПІД-регулятора

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

Передаточна функція ПІД-регулятора

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

В результаті виконання другого розділу роботи була проведена

ідентифікація моделей каналів перетворення координатних дій технологічного процесу зберігання та транспортування борошна в установці. 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
«U ₂ – P ₁ »	$W_{u-P_1}(p) = \frac{0,0017 \cdot e^{-3p}}{8,5p + 1}$	$W_{u-P_1}(p) = \frac{0,0017 \cdot e^{-1,8p}}{(4,1p + 1)^2}$
«U ₂ – P ₅ »	$W_{u-P_5}(p) = \frac{15,2 \cdot e^{-3,4p}}{6,2p + 1}$	$W_{u-P_5}(p) = \frac{15,2 \cdot e^{-1,7p}}{(3,5p + 1)^2}$

Структурна схема моделювання САР с ПІ-регулятором наведена на рис. 3.5, а с ПД-регулятором - на рис. 3.8.

Далі реалізуємо вибір початкових наближень параметрів налаштувань алгоритмів регулювання на основі інженерних методик параметричного (неоптимального) синтезу САР.

Розрахунок початкових наближень налаштувань регуляторів з урахуванням моделі першого порядку з передаточною функцією наступного вигляду:

$$W_{u-P_1}(p) = \frac{k_1 \cdot e^{-\tau_1 p}}{T_1 p + 1}$$

Визначення параметрів ПІ- регулятора тиску повітря P₁:

$$:k_{p1} = \frac{0,8 \cdot T_1}{k_1 \cdot \tau_1} = \frac{0,8 \cdot 8,5}{0,0017 \cdot 3} = 1320 \frac{\%XPO}{MPa}$$

$$T_{i1} = 2,5 \cdot \tau_1 = 2,5 \cdot 3 = 7,5c$$

Визначення параметрів ПІ- регулятора розрідження P₅:

$$k_{p1} = \frac{0,8 \cdot T_1}{k_1 \cdot \tau_1} = \frac{0,8 \cdot 6,2}{15,2 \cdot 3,4} = 0,13 \frac{\%XPO}{Pa}$$

$$T_{i1} = 2,5 \cdot \tau_1 = 2,5 \cdot 3,4 = 8,5c$$

Визначення параметрів ПІД- регулятора тиску повітря P_1 :

$$k_{p1} = \frac{1,0 \cdot T_1}{k_1 \cdot \tau_1} = \frac{1,0 \cdot 8,5}{0,0017 \cdot 3} = 1650 \frac{\%XPO}{MPa}$$

$$T_{i1} = 2,0 \cdot \tau_1 = 2,0 \cdot 3 = 6c$$

$$T_{p1} = 0,5 \cdot \tau_1 = 0,5 \cdot 3 = 1,5c$$

Визначення параметрів ПІД- регулятора розрідження P_5 :

$$k_{p1} = \frac{1,0 \cdot T_1}{k_1 \cdot \tau_1} = \frac{1,0 \cdot 6,2}{15,2 \cdot 3,4} = 0,1634 \frac{\%XPO}{Pa}$$

$$T_{i1} = 2,0 \cdot \tau_1 = 2,0 \cdot 3,4 = 6,8c$$

$$T_{p1} = 0,5 \cdot \tau_1 = 0,5 \cdot 3,4 = 1,7c$$

Для оптимального параметричного синтезу САР тиску повітря до пневмотранспортування та розрідження в системі з ПІ-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.5. Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора наведені на рис. 3.6.

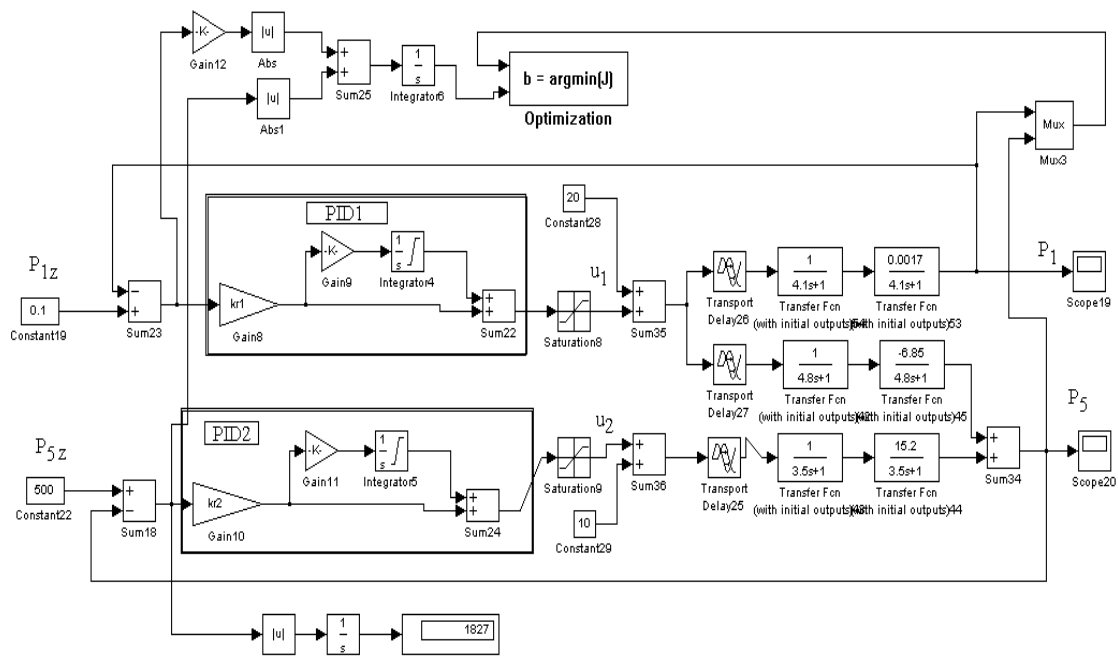


Рис. 3.5 - Схема моделювання САР для оптимізації параметрів налаштувань ПІ-регуляторів

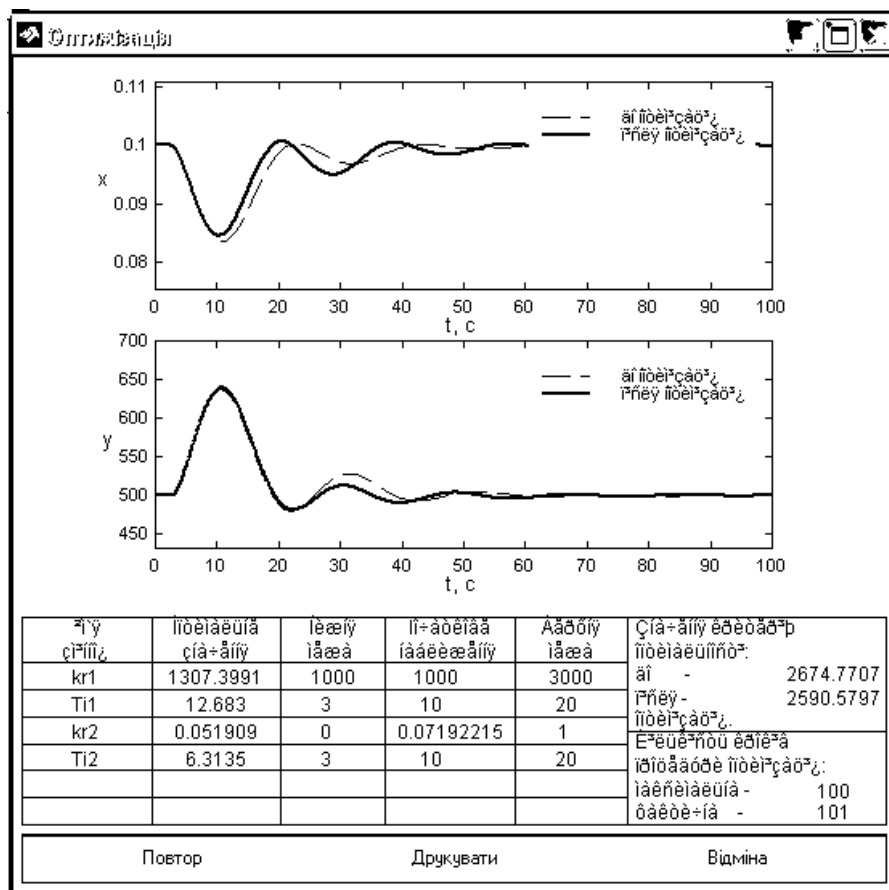


Рис. 3.6 – Результати оптимізації параметрів налаштувань ПІ-регуляторів

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведено в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Результатів порівняння САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІД-регулятором	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta P1^{MAX}$	тпп, с.	$\Delta P5^{MAX}$	тпп, с.	
до оптимізації	0,015	50	150	50	2674
після оптимізації	0,0135	40	150	40	2590

Проведена перевірка системи на грубість що показала – система не вражає стійкість при найгірших змінах параметрів каналів регулювання у діапазоні +/- 20 %. Вікно результату перевірки на грубість представлено на рисунку 3.7.

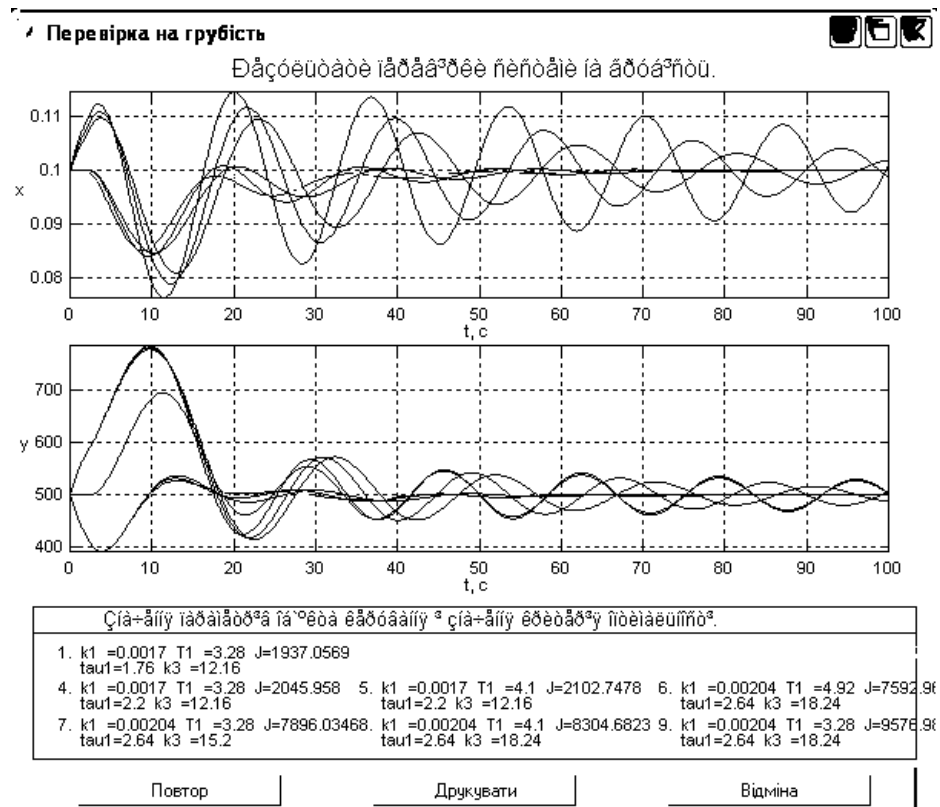


Рис. 3.7 - Аналіз на грубість САР з ПІ-регулятором

Для оптимального параметричного синтезу САР тиску повітря до пневмотранспортування та розрідження в системі з ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.8. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рис. 3.9.

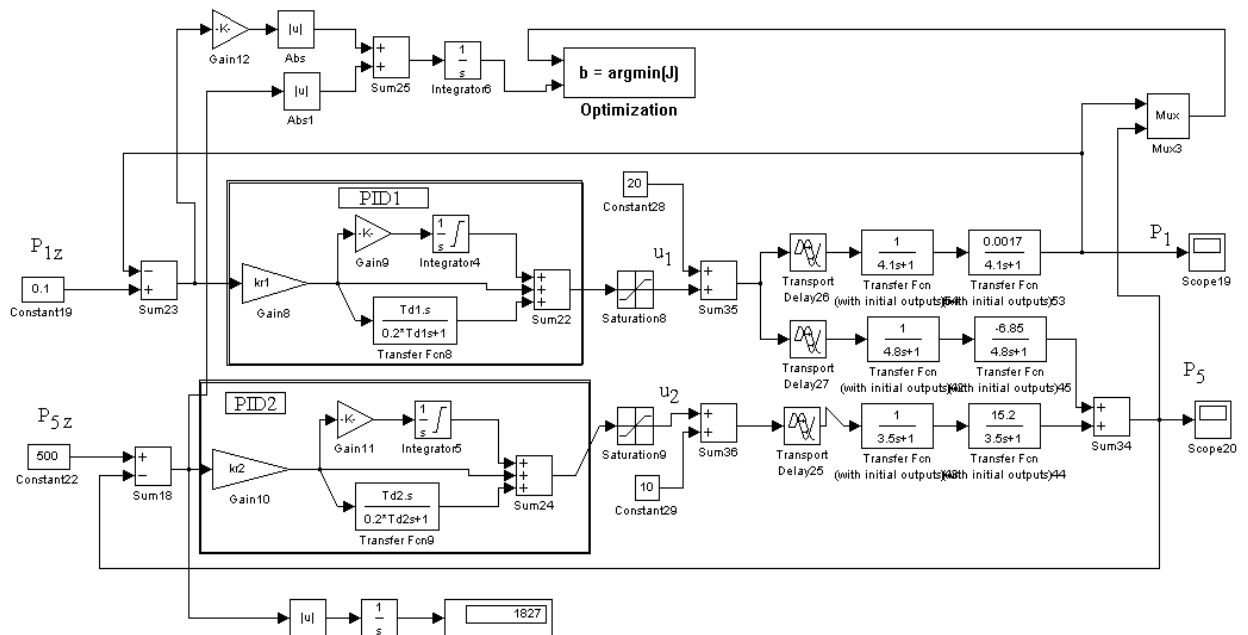


Рис. 3.8 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації параметрів налаштування ПІД-регуляторів

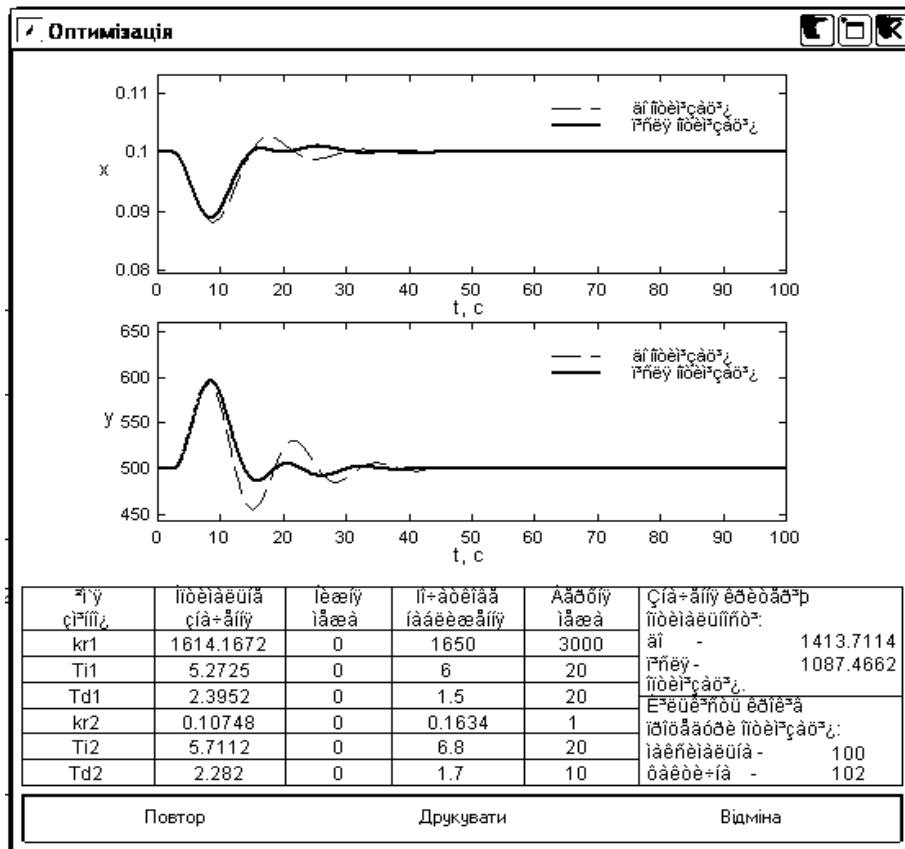


Рис. 3.9 – Результати процесу оптимізації параметрів налаштувань ПІД-регуляторів

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведемо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати порівняння САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації

САР з ПІД-регулятором	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta P1^{MAX}$	$t_{пп}, c.$	$\Delta P5^{MAX}$	$t_{пп}, c.$	
до оптимізації	0,012	30	100	40	1413
після оптимізації	0,011	20	100	30	1087

Проведемо порівняльний аналіз перехідних процесів в параметрично оптимальних системах за значенням критерію оптимальності та показниками, для яких встановлені гранично-допустимі значення.

Як можемо побачити з результатів порівняння перехідних процесів,

САР з ПД-регулятором є кращої за усіма показниками та відповідає припустимим відхиленням. Тому ПД-закон регулювання будемо використовувати і надалі.

Скоригуємо схеми моделювання САР з ПІ- та ПД-регуляторами, щоб провести аналіз означених САР на грубість. Дослідження САР на грубість будемо проводити в умовах варіації часів запізнення в каналах ОК на 20%. При цьому дослідження САР на грубість слід проводити в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень 10-20%х.р.о.

Проведемо аналіз САР з ПІ- та ПД-регуляторами на грубість. Структурні схеми моделювання для аналізу САР з ПІ- та ПД-регуляторами на грубість наведені на рис. 3.7 і 3.10.

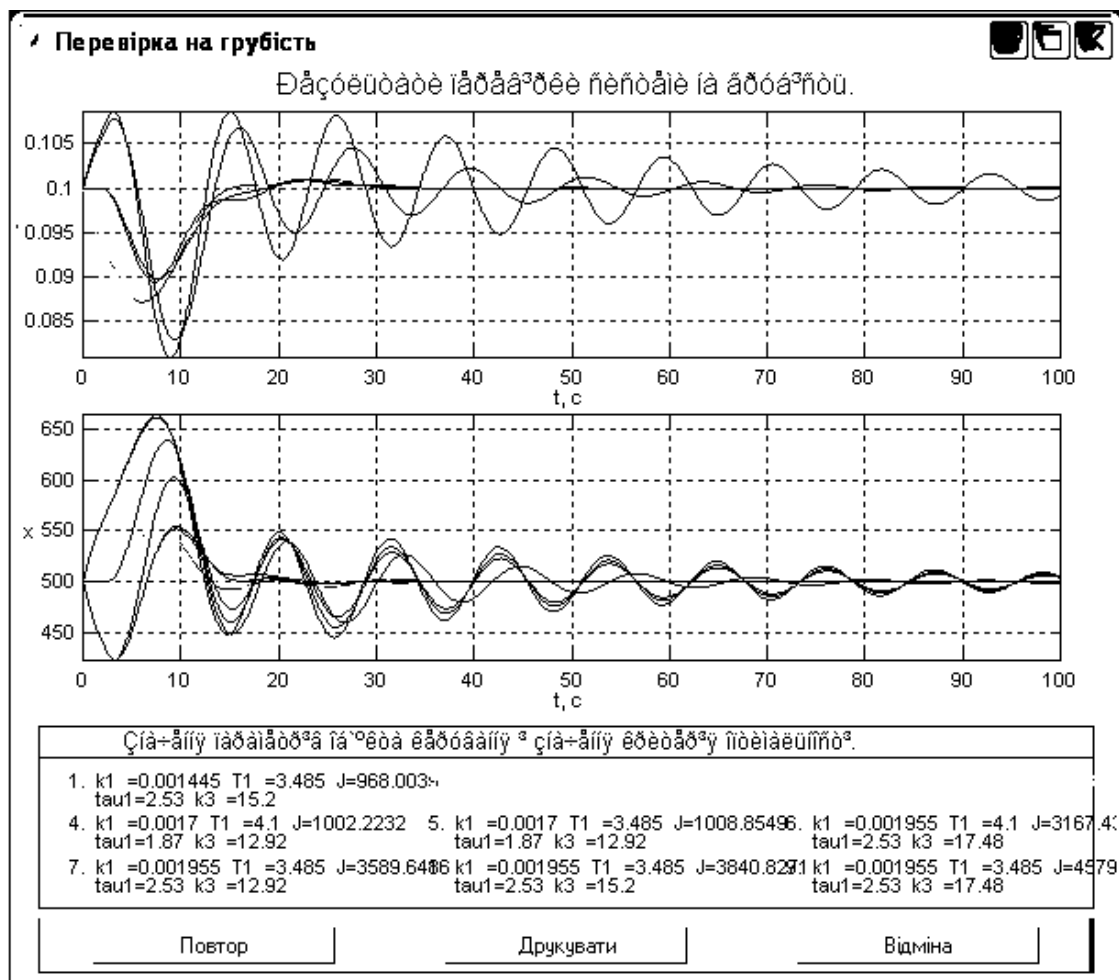


Рис. 3.10 - Аналіз на грубість САР з ПД-регулятором в умовах дії неконтрольованих збурень

Як можемо побачити з результатів, САР і з ПІ-регулятором, і з ПД-

регулятором є грубою, оскільки в умовах варіації параметрів ОК дає перехідні процеси, що сходяться. Але також в умовах дії збурень детермінованого характеру перехідні процеси в САР виходять за рамки регламентних зон.

Проведемо вибір з розглянутих сполучень параметрів ОР найбільш «несприятливих» і «сприятливих» для керування

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, "найсприятливішим" для керування сполученням параметрів ОК є менший на 20% час запізнення ОК, а "найнесприятливішим" для керування сполученням - на 20% більший час запізнення. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 3.11 і зведено в таблицю 3.4.

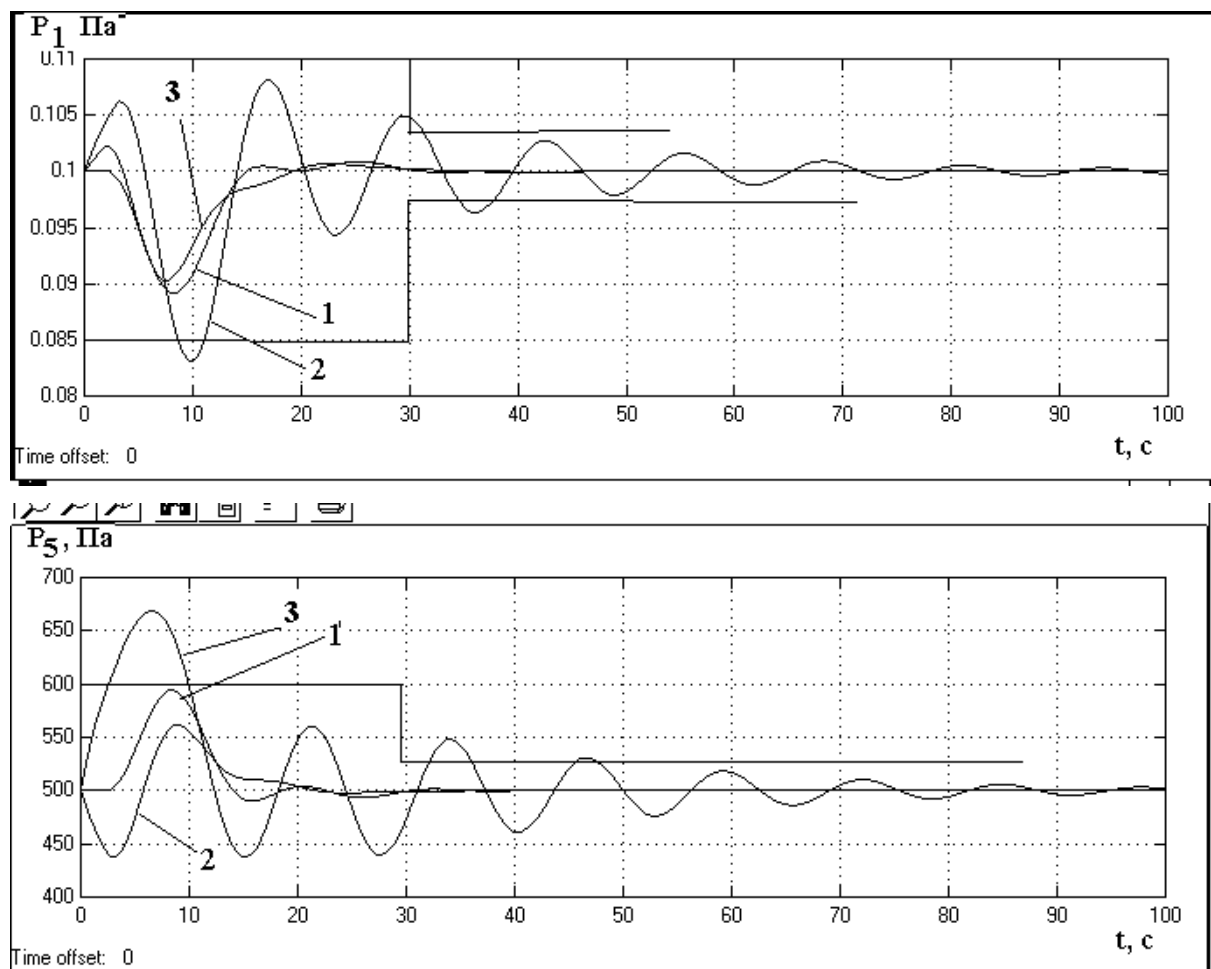


Рис. 3.11 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІ-регулятором: 1 – при номінальних параметрах ОК; 2 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК.

Таблиця 3.4 – Результати порівняння САР базової структури з ПІД-регулятором

Сполучення параметрів ОК	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta P_1^{\text{МАКС}}$	t _{пп} , с.	$\Delta P_5^{\text{МАКС}}$	t _{пп} , с.	
Номінальні	0,01	25	95	25	1050
"Найсприятливіші"	0,009	25	55	28	990
"Найнесприятливіші"	0,0175	80	150	80	3101

Для проведення порівняльного аналізу САР, що наведена на рис. 3.12. При цьому структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис. 3.5, а САР з ПІД-регулятором - на рис. 3.7. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 3.12, 3.13 і в таблиці 3.4.

САР з ПІД-регулятором в перехідних режимах задовольняє гранично припустимим вимогам, а САР з ПІ-регулятором не задовольняє цим вимогам за максимальним динамічним відхиленням та часом перехідного процесу. САР базової структури в сталих режимах не виходить за рамки зони незначних відхилень.

Оскільки САР з налаштуваннями регуляторів за інженерними методиками дають перехідні процеси, що сходяться, то їх можна використовувати на практиці за умови не занадто жорстких гранично припустимих вимог. Але такі САР потребують оптимального параметричного синтезу.

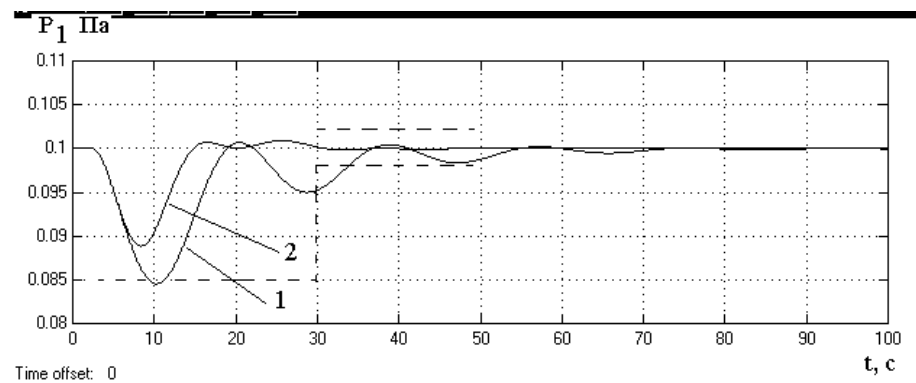


Рис. 3.12 – Результати порівняння САР тиску повітря P_1 : 1 – САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПІД-регулятором.

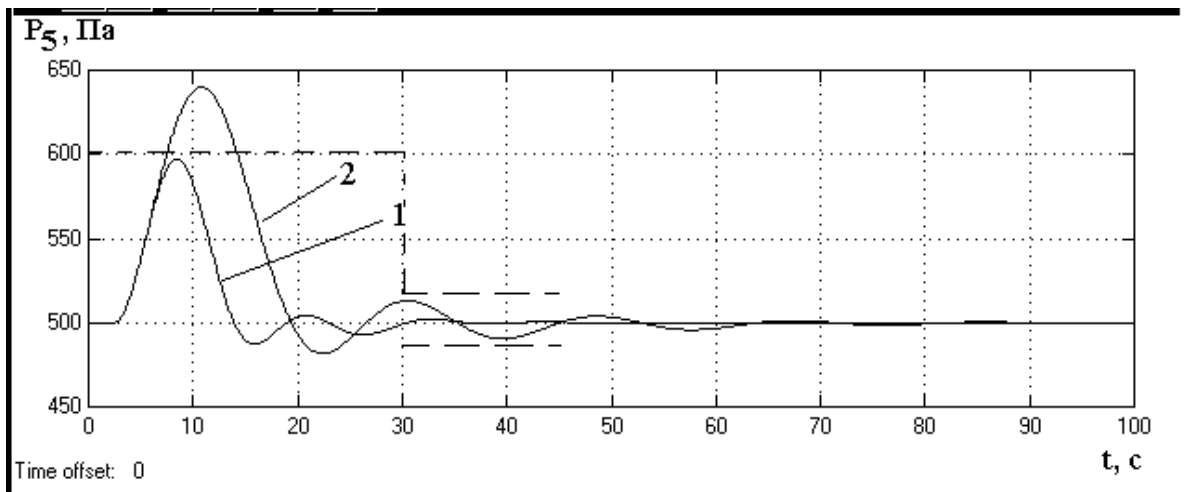


Рис. 3.13 – Результати порівняння САР розрідження P_5 : 1 – САР з ПІД-регулятором; 2 – САР з ПІ-регулятором.

Таблиця 3.4 – Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta P_1^{\text{МАКС}}$	t _{пп} , с.	$\Delta P_5^{\text{МАКС}}$	t _{пп} , с.	
ПІ	0,0155	20	95	30	93
ПІД	0,011	55	146	40	40,1

Введення до алгоритму регулювання Д-складової призводить до зменшення інтегрального критерію на 57%, зменшення максимального динамічного відхилення на 20% та до зменшення тривалості перехідного процесу на 60%. В результаті САР почала відповідати гранично припустимим вимогам.

3.3 Аналіз динамічних процесів у САР при стохастичних впливах

Для оцінки якості функціонування САР у режимі пов'язаному з діями випадкового характеру на процес регулювання будемо використовувати схему моделювання ОУ представленою на рисунку 3.14.

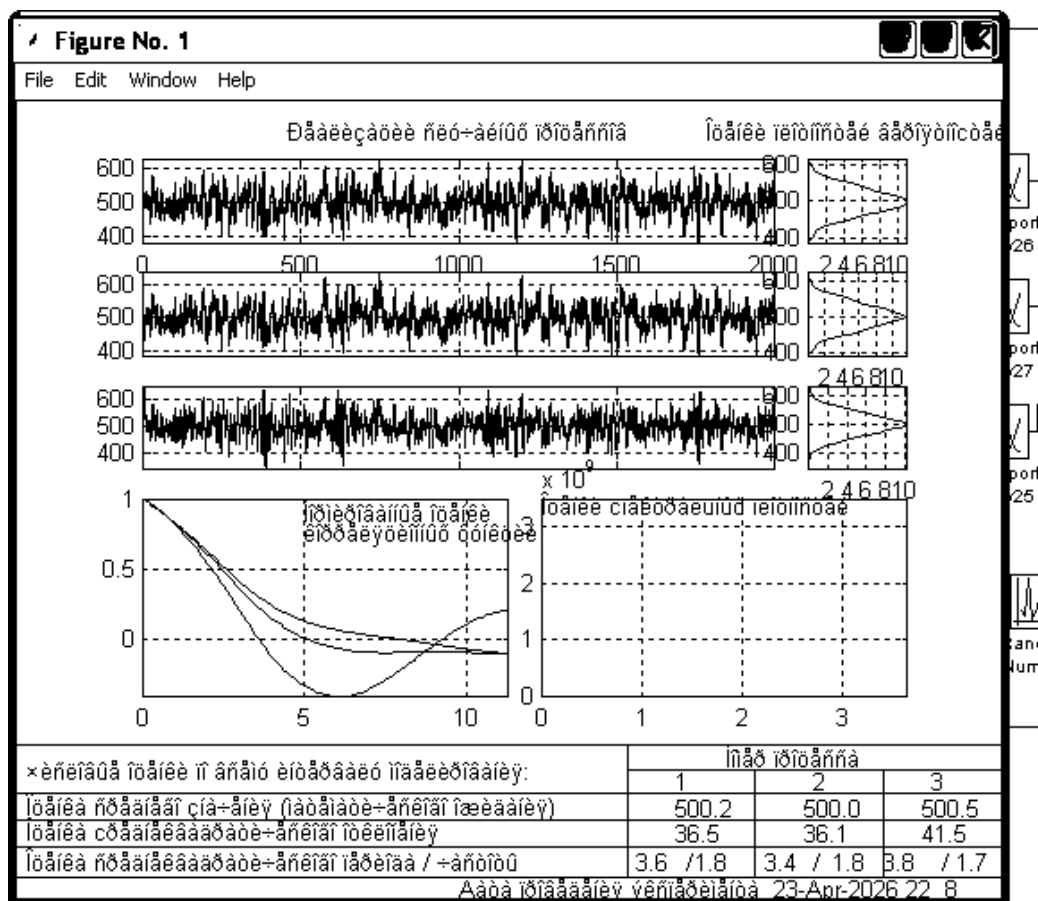


Рис. 3.16 – Результати моделювання САР з ПД-регулятором

Порівняння результатів моделювання проведемо за математичним очікуванням, середньоквадратичним відхиленням, та інтегральним критерієм. Порівняльні результати оцінки САР на грубість з П-регулятором зведено в таблицю 3.5, а САР з ПД-регулятором - в таблицю 3.6.

Таблиця 3.5 – Результати оцінки функціонування САР з П-регулятором при випадкових впливах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»
Математичне очікування	500,3	500	500,8
Середньоквадратичне відхилення	47	45,8	51,4

Таблиця 3.6 – Результати оцінки САР з ПД-регулятором на грубість в сталих процесах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»
Математичне очікування	500,2	500	500,5
Середньоквадратичне відхилення	36,1	36,5	41,5

3.4. Структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності і її аналіз

Причиною недостатньої точності САР можуть бути зовнішні умови: пов'язані з контрольованими і неконтрольованими збуреннями за тиском у пневмотранспорті які помітно впливають на розрідження в аспіраційній системі, а також інтенсивна зміна завдання САР, а також внутрішні особливості ОУ і САР (значне співвідношення τ_o / T_o , взаємний вплив каналів в багатовимірної САР). Підвищення точності САР можливо за рахунок забезпечення автономності контуру регулювання розрідження в аспіраційній системі від контуру регулювання тиску повітря в пневмотранспорті. Для цього необхідно забезпечити динамічну розв'язку контуру регулювання розрідження в аспіраційній системі за рахунок забезпечення інваріантності розрідження до управляючого впливу u_1 за тиску тиском повітря до силосу.

Відповідно до вимог інваріантності, є тотожна рівність нулю еквівалентної передатної функції за каналом – «управляючий вплив u_1 – розрідження в аспіраційній системі. Для цього запишемо вираз стосовно еквівалентної передатної функції:

$$W_E(p) = W_{21}(p) + W_K(p) \cdot W_3(p) \cong 0$$

де $W_K(p)$ – передатна функція коригуючого зв'язку, що забезпечує динамічну розв'язку контуру регулювання розрідження в апіраційній системі.

Таким чином, можливо визначити передатну функцію $W_K(p)$ корегуючого зв'язку за наступним виразом:

$$W_K(p) = -\frac{W_{21}(p)}{W_3(p)} = -\frac{\left(\frac{k_{21}}{k_3}\right) \cdot (T_2 \cdot p + 1)^2 \cdot e^{-\tau_2 p}}{(T_3 \cdot p + 1)^2 \cdot e^{-\tau_3 p}} \cong -\frac{0,45 \cdot (0,5 \cdot p + 1)}{(0,1 \cdot p + 1)}$$

Отримана передаточна функція коригуючого зв'язку представлена не занадто складною передаточною функцією, тому що вона була доцільно спрощена при збереженні її диференціюючих властивостей.

В основу підвищення динамічної точності САР було покладено системи структурна схема яка представлена на рисунку 3.17.

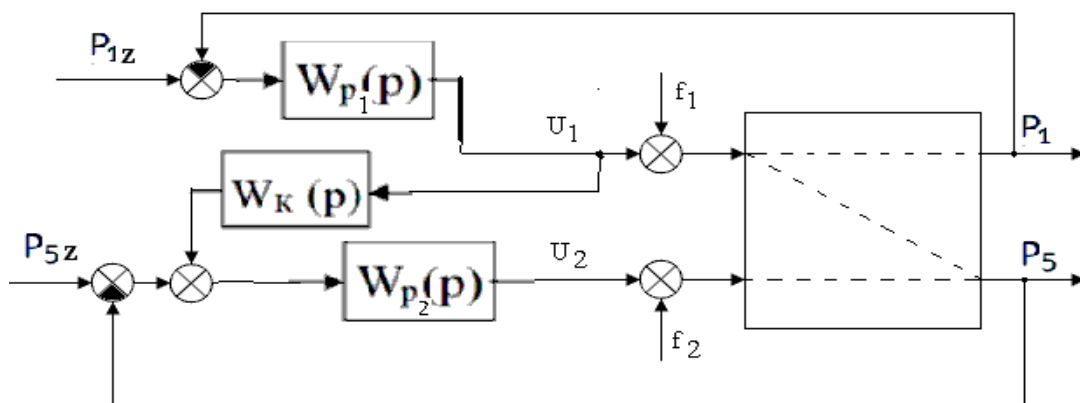


Рис. 3.17 – Структурна схема САР підвищеної динамічної точності

На схемі:

P_{5z} – задане значення регульованої координати, Па;

P_5 – поточне значення регульованої координати, Па;

ΔP_5 – помилка регулювання, Па;

u – керуюча дія, %х.р.о.;

f – неконтрольовані збурення;

$W_{p2}(p)$ – передаточна функція регулятора.

Необхідною умовою реалізації САР є фізична можливість організації додаткового каналу впливу за перехресним зв'язком, а для розглянутої САР така можливість є. Достатньою умовою реалізації САР є фізична реалізація передаточної функції коригуючого зв'язку. Далі виведемо передаточні функції коригувальних зв'язків, аналіз їх структури з умов фізичної реалізовуваності, приведення до фізично реалізованого виду, представлення у формі з'єднання типових динамічних ланок і отримання їх перехідних характеристик.

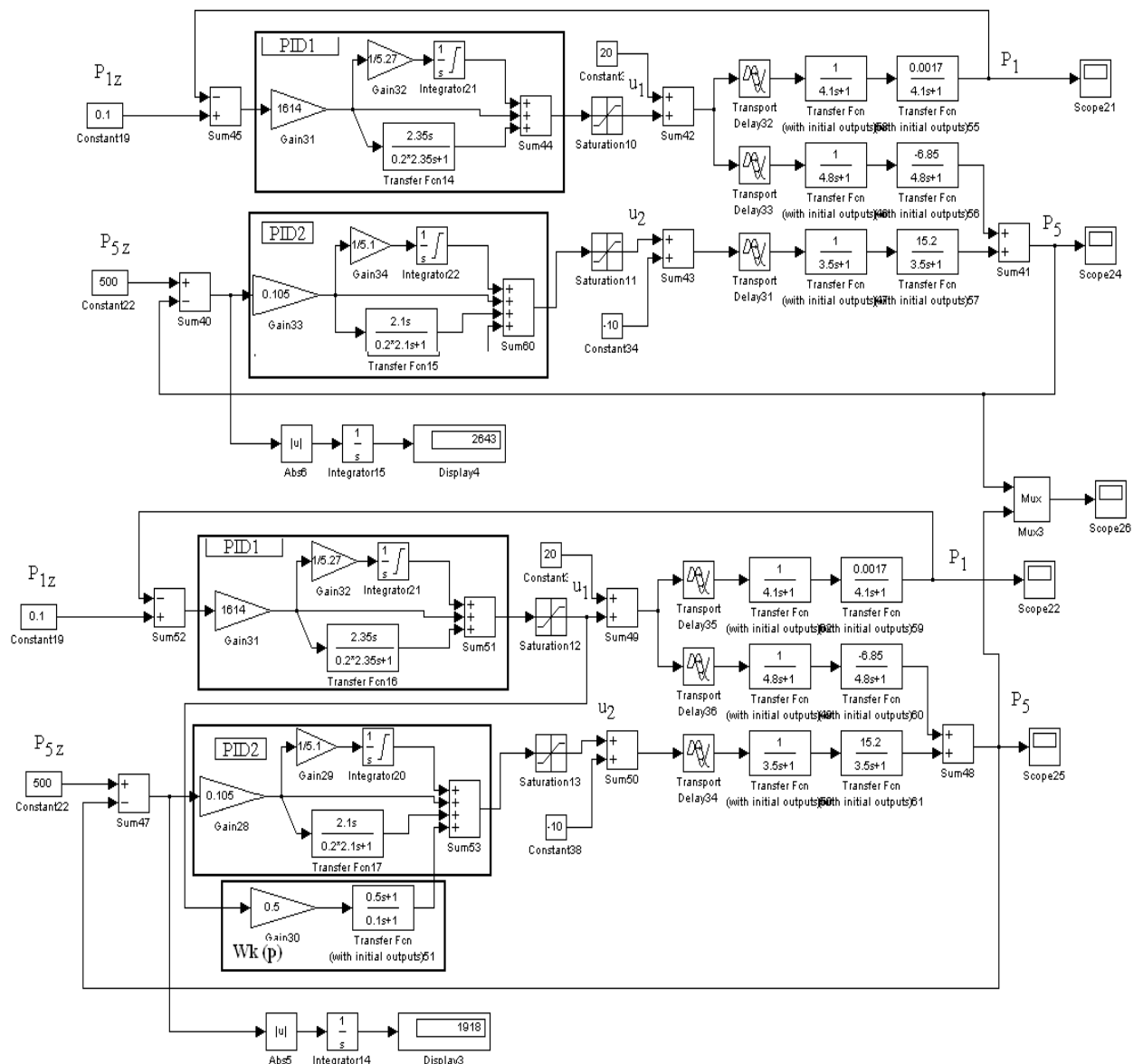


Рис.3.18 - Структурна схема моделювання САР базової структури, та САР з автономним контуром регулювання розрідження в аспіраційній системі

Передаточна функція коригуючого зв'язку ідеальних диференціаторів не містить, але є ланка чистого випередження (фізично нереалізованих ланка). Тому ця передаточна функція є фізично нереалізованою. Для забезпечення фізичної реалізованості передавальної функції зробимо заміну:

$$e^{tP} \approx 1 + \frac{tP}{0.4p+1},$$

або зовсім спростити та не використовувати заміну щодо ланка чистого випередження.

Було проведено моделювання САР базової структури і САР з автономним контуром регулювання розрідження в аспіраційній системі з відповідним корегуючим зв'язком. Структурні схеми відповідних моделей САР представлені на рисунку 3.18. На основі цих моделей можливо отримати результати порівняльного аналізу функціонування двох систем на базі результатів моделювання.

Далі виконаємо оптимальний параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності для детермінованих вхідних дій. Результати оптимізації за відповідним інтегральним критерієм якості роботи системи - $J = \int_0^{tk} |\Delta P_5| dt$, приведені на рисунку 3.19.

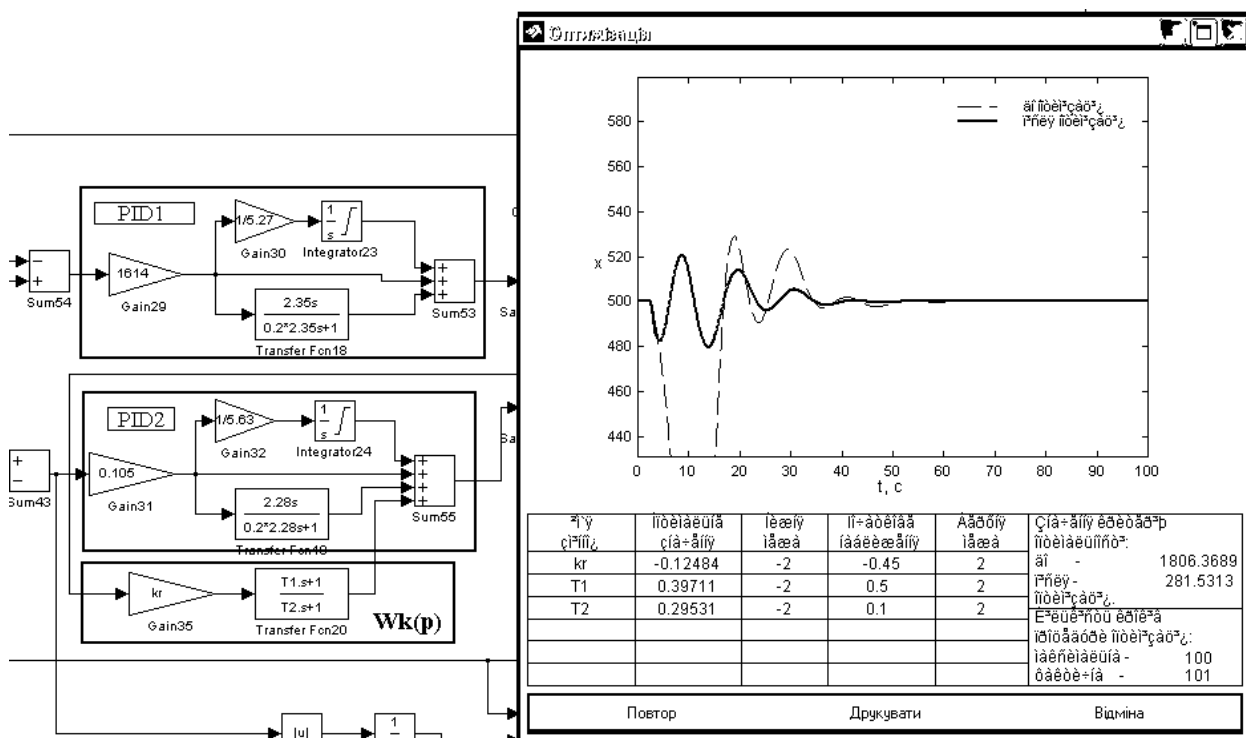


Рис. 3.19 – Результати оптимізації параметрів коригуючого зв'язку

Як і у випадку САР базової структури, САР підвищеної динамічної точності досліджуємо на грубість в умовах варіації параметрів ОУ, а саме часу запізнення в каналах ОУ $\pm 20\%$.

Проаналізуємо САР підвищеної динамічної точності на грубість.

Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК наведено на рис. 3.20. Як видно з результатів оцінки САР на грубість, в умовах варіації параметрів ОК САР дає перехідні процеси, що сходяться, а значить, САР є грубою, але недостатньо грубою при умові налаштування на 20% перерегулювання.

Проведемо порівняльний аналіз САР при номінальних параметрах ОК, при параметрах ОК, «найсприятливіших» та «найнесприятливіших» для керування, в умовах дії детермінованих та стохастичних збурень.

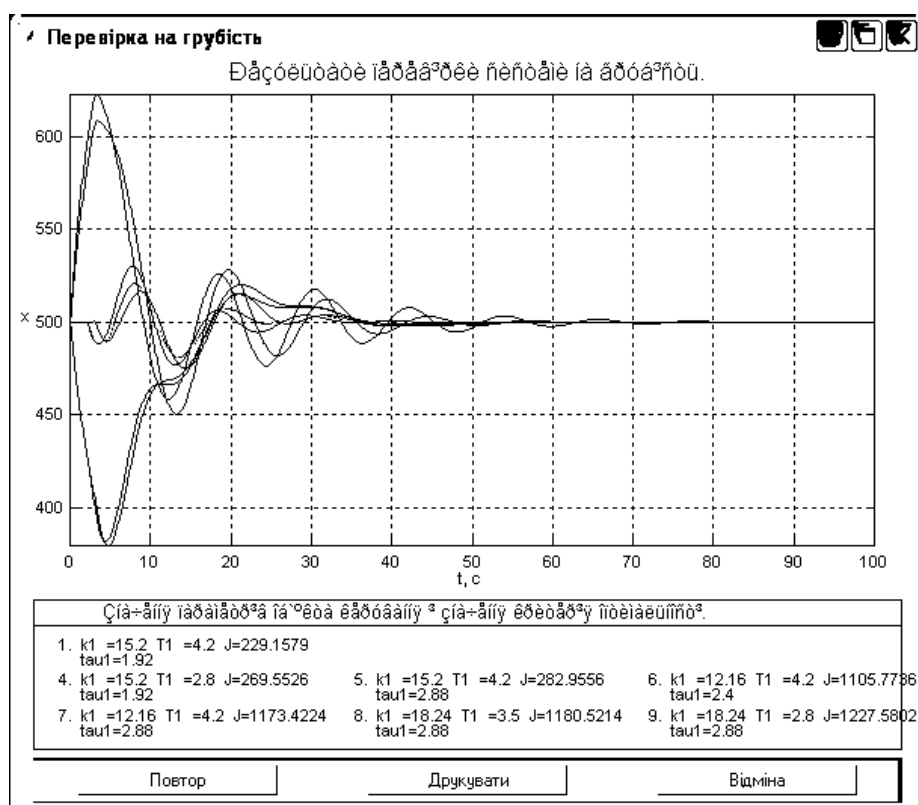


Рис. 3.20 – Аналіз САР підвищеної динамічної точності на грубість за умов варіації параметрів ОК

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, найбільш "сприятливим" для управління є час запізнення менше на 20% за каналом управління, і запізнення більше на 20%. Найбільш "несприятливим" для

управління є поєднання параметрів ОУ, що відповідає часу запізнення більше на 20% за каналом управління, і запізнення менше на 20% щодо збурення що впливає за перехресним каналом.

Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності оптимізованою за відповідним критерієм якості роботи системи представлено на рисунку 3.21 для порівняння з САР базової структури. В результаті моделювання були отримані для порівняльного аналізу графіки перехідних процесів які були представлені на рисунку 3.22. Основні показники якості регулювання та інтегральні показники були представлені в таблиці 3.7.

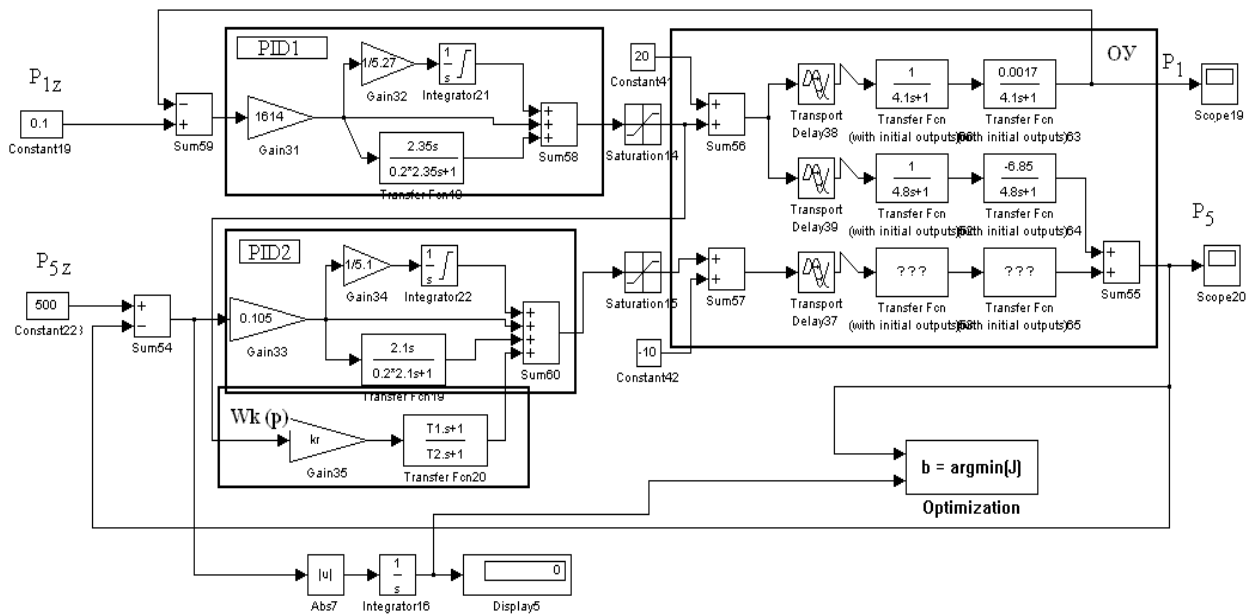


Рис.3.21 - Структурна схема моделювання САР підвищеної динамічної точності з параметричним оптимізатором

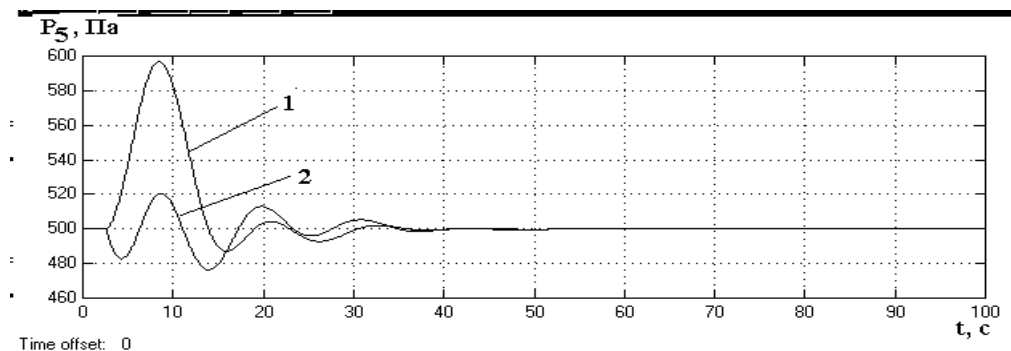


Рис. 3.22 – Результати порівняння САР з ПІД-регуляторами: 1 – САР базової структури; 2 – САР з підвищеною динамічною точністю після оптимізації параметрів

Таблиця 3.7 – Порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності

Алгоритм регулювання	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta P_5^{\text{МАКС}}$	тпп, с.	
САР базової структури	95	40	659
Оптимізован. САР з автономним контуром рег	20	40	281

3.5 Висновки за розділом

САР підвищеної динамічної точності задовольняє припустимі вимоги та показує себе значно краще. Після підвищення динамічної точності САР інтегральний критерій зменшився на 43%, та за розрідженням максимальне динамічне відхилення зменшилося на 40%, час перехідного процесу зменшився на 20%.

САР підвищеної динамічної точності є грубою. За більшістю показників відносна різниця показників якості перехідних процесів при "найсприятливіших" і "найнесприятливіших" для керування параметрах ОК для САР з ПІД-регулятором більша ніж для автономної САР.

Це може означати, що САР з автономної структури "грубіша", тобто менш чутлива до варіації параметрів ОК. Оскільки для САР підвищення динамічної точності дає суттєве покращення показників якості регулювання у порівнянні з САР базової структури, тому САР підвищеної динамічної точності використовувати доцільно.

РОЗДІЛ 4. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ І РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

4.1. Конкретизація задачі та необхідного рівня реалізації функцій логічного (логікопрограмного) керування технологічним процесом перевантаження борошна з силосах

Питання синтезу і аналізу САР детально були розглянуті в попередніх розділах роботи. САР функціонує як правило у робочому режимі функціонування при перевантаженні борошна з силосах. Але робота установки також пов'язана з режимами пуску та нормальної зупинки. Управління в цих режимах забезпечується за рахунок логічного та логіко-динамічного управління – логічного управління з елементами автоматичного регулювання. Логічне управління процесом перевантаження борошна пов'язано з формуванням управляючих дій що змінюють стан або режим функціонування технологічної системи. Логіко-динамічне керування пов'язано з підключенням контурів регулювання до роботи в процесі пуску установки. Таким чином якщо розробляти модель логіко-динамічного управління то слід систему розділити на дві частини. Перша частина логічна, дискретна друга частина неперервно-подійна. Ці дві частини взаємодіють між собою і в результаті такої взаємодії формуються різні режими функціонування. У цій моделі можливо визначити як дискретні змінні так неперервні та неперервно-подійні зміни. Відповідно контури регулювання розрідженням в аспіраційній системі та тиску повітря до силосах відносяться до неперервної частини системи а регульовані зміни являються неперервно-подійними змінними якщо розглядами системи як логіко-динамічно що захвачує режими пуску зупинки та штатної роботи установки.

Таким чином у цьому розділі будимо представляти алгоритми логічного управління процесами пуску та зупинки установки по перевантаженню борошна з силосах, логічну схему управління процесами пуску та зупинки установки. Це дає можливість розробити логіко-динамічну

модель яка представляє необхідну діаграму процесами пуску та зупинки установки зберігання та перевантаження борошна.

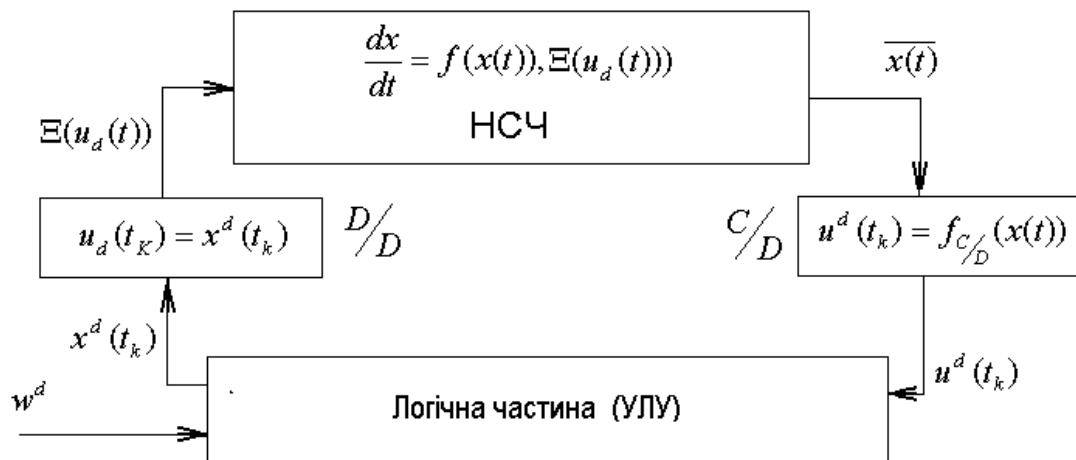


Рис. 4.1 (а) – Спрощена структурна схема логіко-динамічної моделі

На рисунку 4.1 (а) : $\Xi(u_d(t_k))$ – вектор-функція керування режимами функціонування, $w^d(t_k)$ – зовнішній керуючий вплив, $f_{C/D}$ – функція неперервно – дискретного перетворення змінних. $\bar{x}(t)$ – вектор неперервних змінних.

Для визначення принципової придатності розроблених алгоритмів логічного управління та функціонально-логічної схеми 8 необхідно провести відповідне моделювання системи в середовищі MATLAB/Simulink. Таким чином необхідно визначити логіко-динамічну модель та в результаті моделювання отримати часові діаграми які схожі з діаграмами що представлені на рисунку 4,1 (б). На рис. 4.1 (б) наведені часові графіки змінних (діаграма роботи системи керування), що відображають реальну послідовність керування пристроями установки по перевантаженню борошна з силосах. На часові діаграмі визначені режими пуску, зупинки та штатного режиму установки та представлені слідуєчі дії:

- 1- звукова передпускова сигналізація;
- 2- звукова аварійна сигналізація;

- 3- робота двигуна M3;
- 4- відкриття вентиля V3 у %ХРО;
- 5- Розрідження в аспіраційній системі
- 6- робота двигуна M1;
- 7- робота двигуна M2;
- 8- робота двигуна M4;
- 9- відкриття вентиля V2;
- 10-відкриття вентиля V3;
- 11-відкриття вентиля V5 у %ХРО;
- 12-тиск повітря до силосу.

4.2. Формалізація регламентів функціонування технологічного агрегату при технологічному пуску, технологічній зупинці та при аварійній зупинці технологічного процесу у вигляді блок-схем та їх опис

Раніше розглядалися регламенти на роботу установки з пневмотранспортування борошна. Забезпечення такого регламенту можливо за рахунок логіко-динамічного управління. Розробка функціонально-логічної схеми що відображає роботу логічної частини системи можливо на основі блок-схеми алгоритму управління. Алгоритм управління дає чітку послідовність управляючих дій для реалізації технологічного процесу відповідно до регламенту на функціонування, включаючи як підключення контурів регулювання до роботи та і їх вимкнення. Регламент на функціонування – це чітка послідовність технологічних операцій що необхідні забезпечити технологічний процес перевантаження борошна з силосах до виробничих бункерів. Спочатку був розроблений регламент на функціонування за пуском представлений на рисунку 4.2, де представлені все етапи та операції які необхідні виконати до транспортування борошна.

Згідно з цим регламентом для початку роботи установки по зберіганню та перевантаженню борошна необхідно перевірити наявність умов

необхідних до пуску. Потім необхідно забезпечити передпускову звукову сигналізацію. Далі технологічний процес повинен включати такі операції: - як забезпечення належного тиску в пневмотранспортної системи А, забезпечення пересипання у секції Г, забезпечення перевантаження борошна з силосах та т.п.

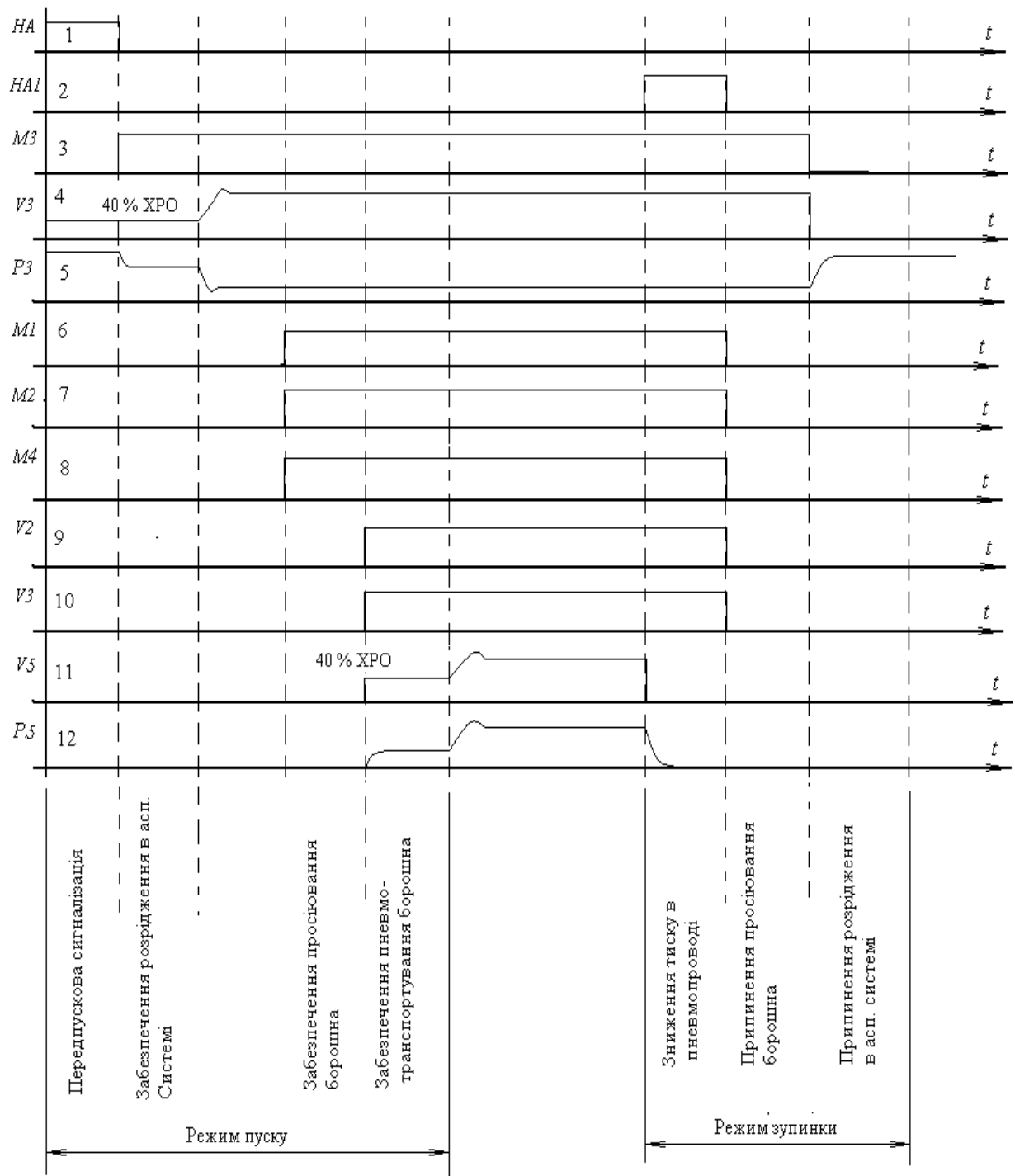


Рис. 4.1 (б) – Діаграма роботи функціонально - логічної схеми процесу керування перевантаження борошна

Регламенти на функціонування за штатною зупинкою та з аварійною зупинкою схожі, та представлені на рисунках 4,3 і 4,4. Згідно з регламентом за штатною зупинкою необхідно виконати такі операції як забезпечення розрідження в аспіраційній системі, забезпечення просіювання борошна, забезпечення просіювання борошна, забезпечення пневмотранспортування борошна. Регламент на функціонування за аварійною зупинкою відрізняється від регламенту на функціонування за штатною зупинкою тільки наявністю перевірки умов аварійної зупинки та забезпечення аварійної сигналізації. Після розробки регламентів на функціонування можливо представити блок-схеми алгоритмів управління.

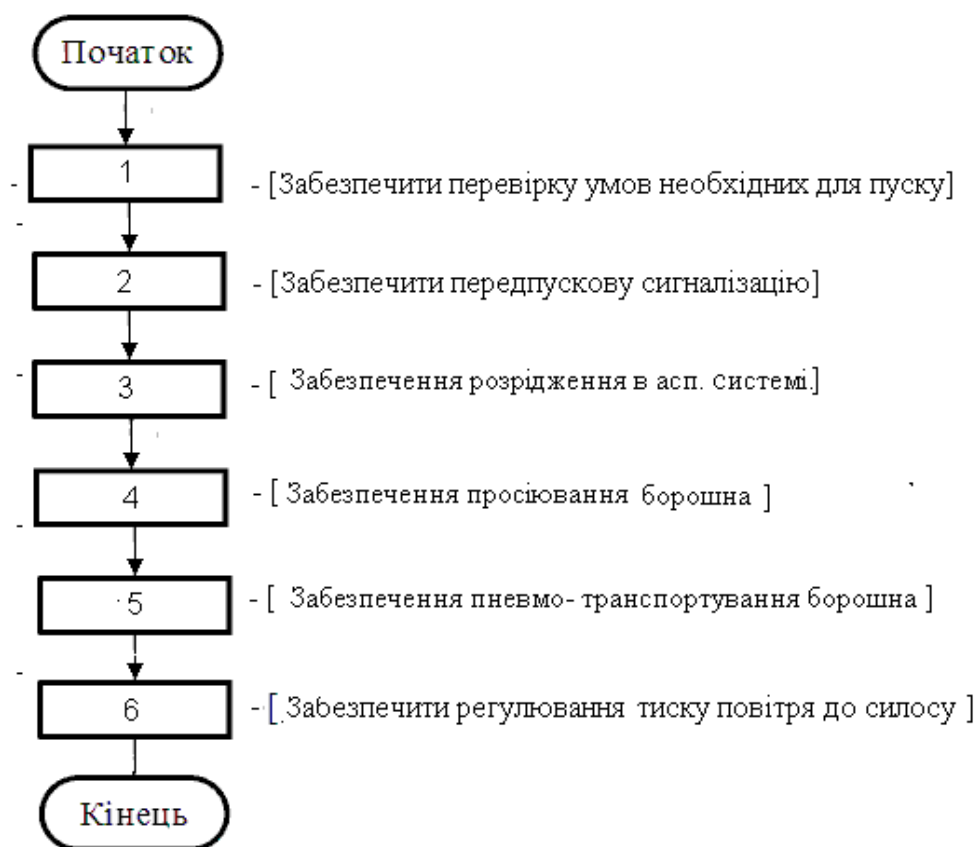


Рис 4.2. Блок-схема регламенту пуску процесу первантаження борошна до виробничих бункерів

4.3. Розробка алгоритмів автоматичного керування: технологічним пуском та зупинкою та аварійної зупинки технологічного агрегату у вигляді блоксхем та їх опис

Згідно з регламентами на функціонування представимо блок-схеми алгоритмів управління. На рисунку 4.5 представлена блок-схема алгоритму логічного управління процесом пуску до включення контурів регулювання для переходу до штатного режиму роботи установки. Як видно з рисунку 4.5 спочатку ідуть перевірки необхідні для пуску, це перевірка наявності борошна в силосах, перевірка тиску повітря до пневмопроводу, перевірка відсутності борошна у пересіпальній лінії. Потім йде включення звукової сигналізації на 10 секунд і так далі як показано на рисунку 4.5.

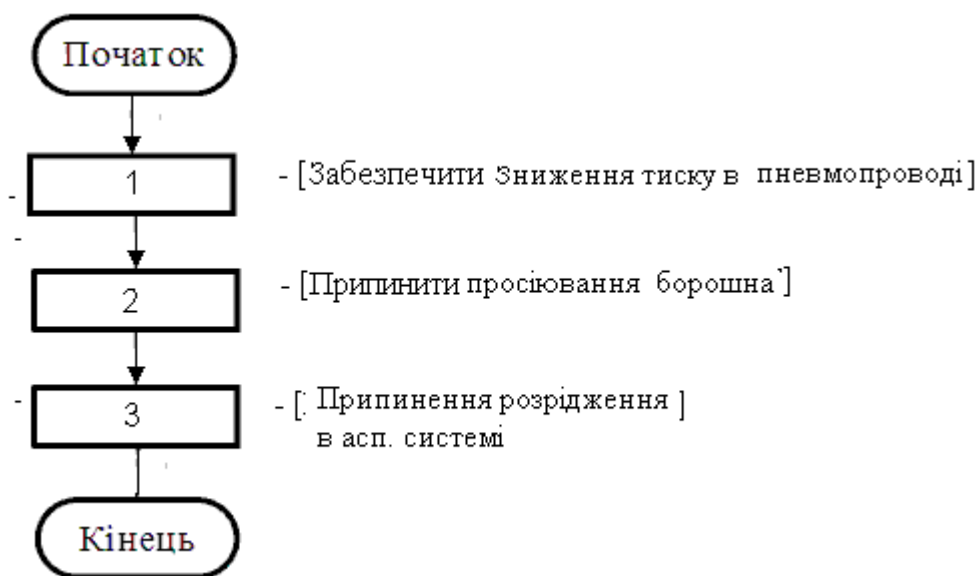


Рис. 4.3 – Блок-схема регламенту штатної зупинки

На рисунку 4,6 представлена блок-схема алгоритму управління аварійною зупинкою яка включає наступні дії це перевірка наявності борошна в силосах, перевірку тиску повітря до пневмопроводу та розрідження в аспіраційній системі. Потім це відключення контуру регулювання тиску повітря до силосах та перемикання заслінок до пневмопроводів. А також відключення двигунів циклона шнеків. Після

витримки часу 30 сек., вимкнення звукової сигналізації, вимкнення двигуна M1 та вимкнення контуру регулювання розрідження в аспіраційній системі.

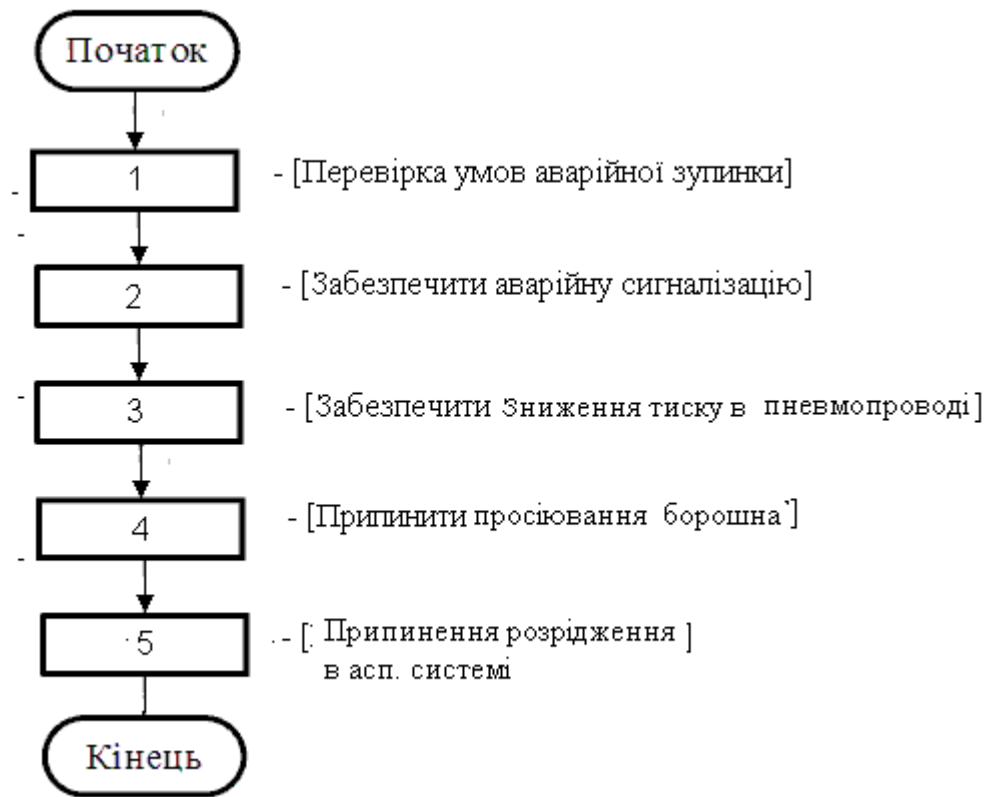


Рис. 4.4 – Блок-схема регламенту функціонування САК установки по зберіганню та перевантаженню борошна за аварійною зупинкою

Якщо розглянути блок-схему алгоритму управління за штатною зупинкою то можливо побачите деяку різницю від алгоритму управління за аварійною зупинкою. Блок-схема алгоритму управління за штатною зупинкою представлена на рисунку 4.7. Як видно з рисунку 4,7 в алгоритмі управління відсутні перевірки температури борошна та вологості борошна у виробничих бункерів а інші дії схожі з алгоритмом аварійної зупинки.

Після розробки блок-схем алгоритмів управління можливо на їх основі розробити функціонально-логічну схему управління процесом перевантаження борошна до виробничих бункерів.

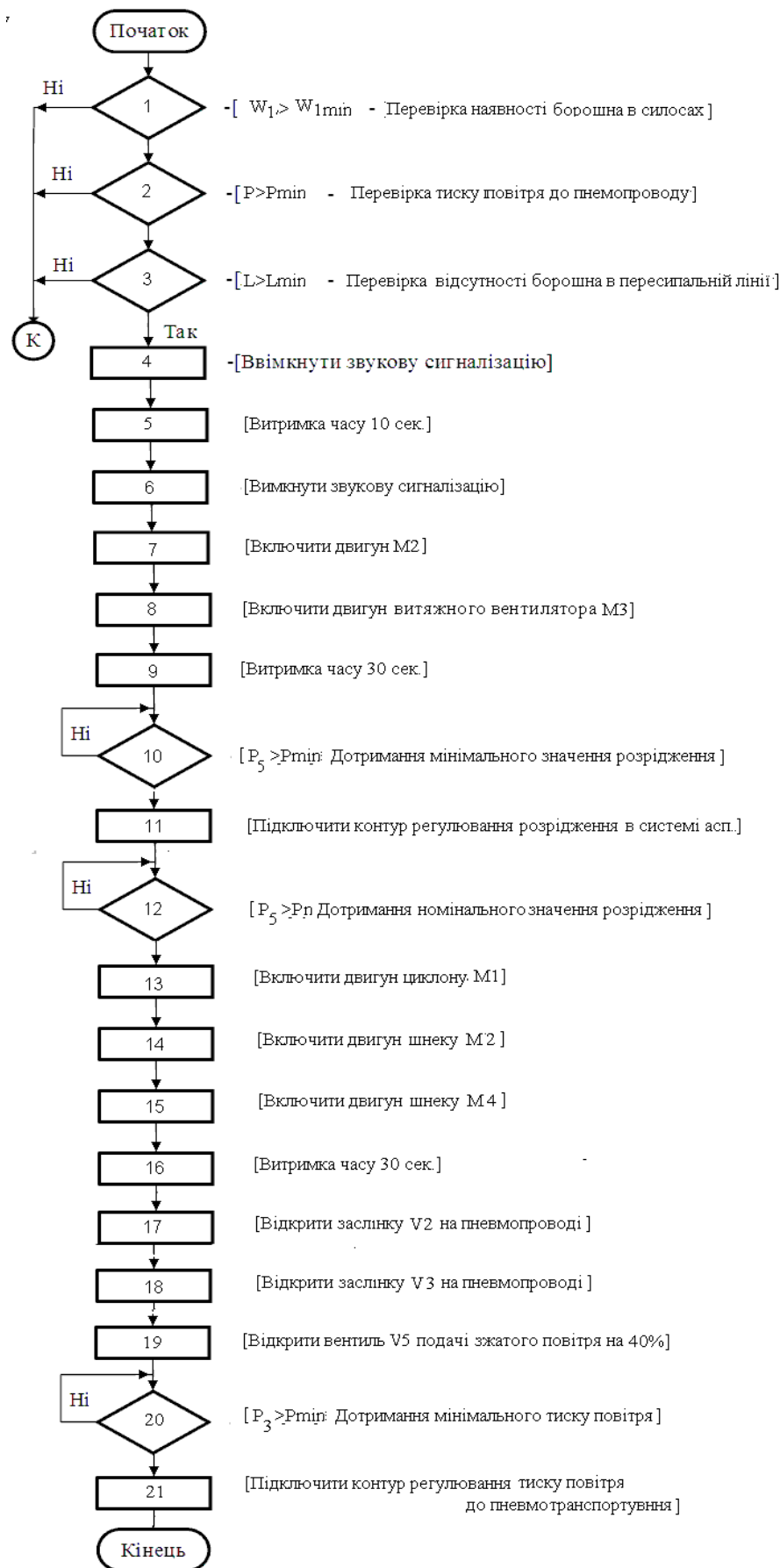


Рис. 4.5 – Блок-схема алгоритму управління процесом пуску перевантаження борошна з силосу

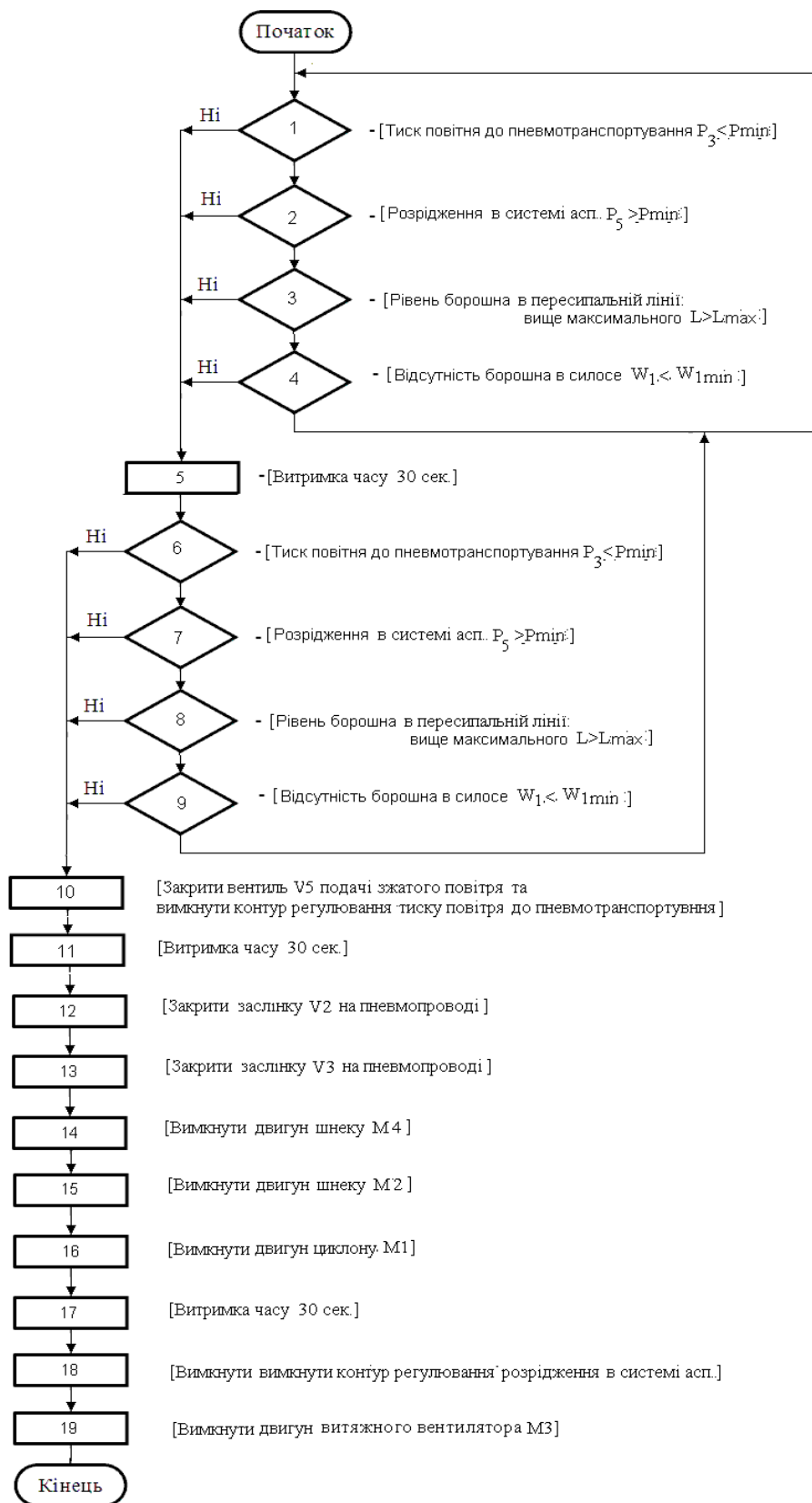


Рис. 4.6 – Блок-схема алгоритму управління за аварійною зупинкою перевантаження борошна з силосу

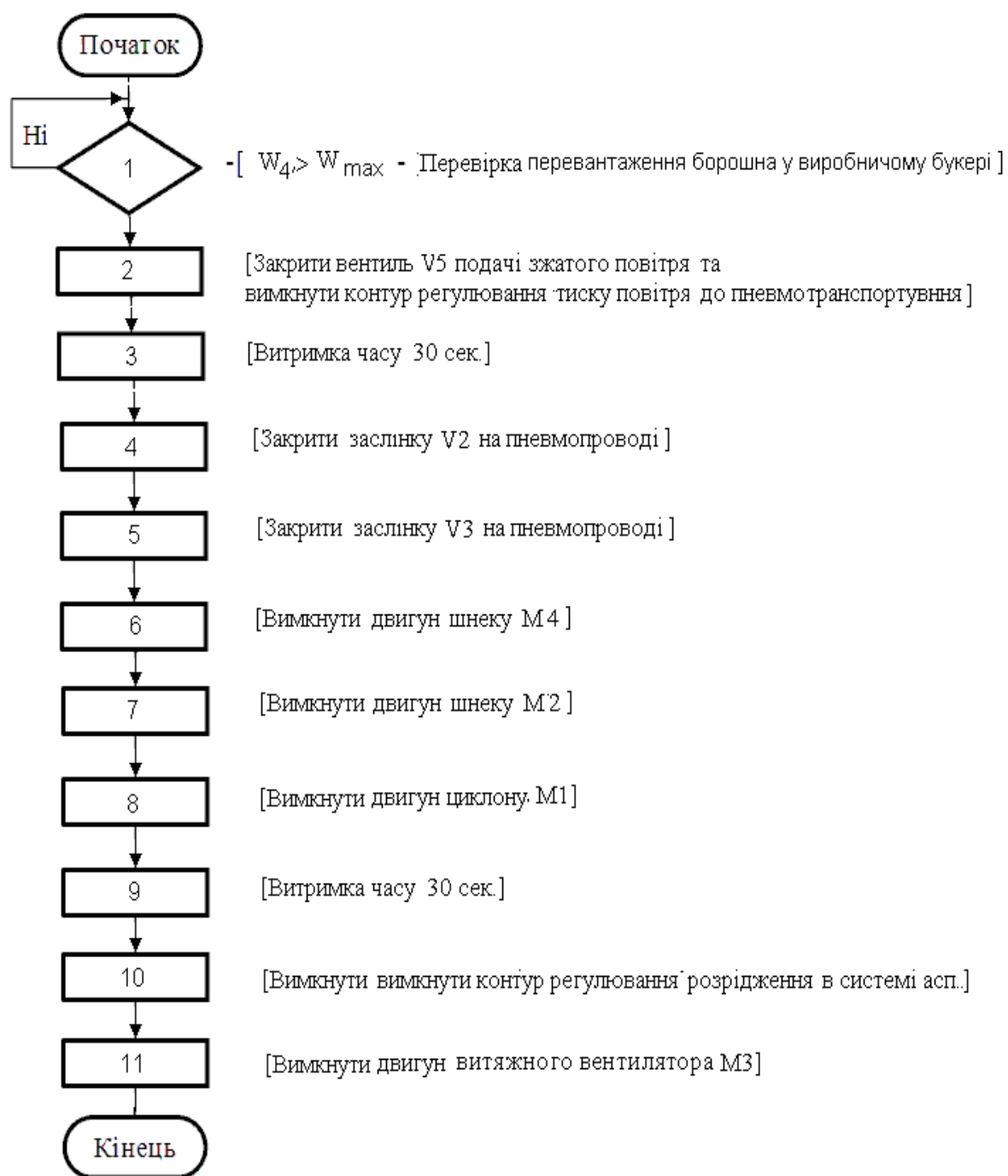


Рис. 4.7– Блок-схема алгоритму управління за штатною зупинкою перевантаження борошна з силосу

4.4. Розробка функціональної логічної схеми процесу керування технологічним агрегатом, з використанням типових символічних позначень логічних елементів, та її детальний опис

Для розробки функціонально логічної схеми (ФЛС) керування процесом транспортування борошна до виробничих бункерів необхідні розроблені блок-схеми алгоритмів автоматичного керування пуску установки і її зупинкою. Була розроблена відповідна функціонально-логічна схема що представлена на рисунку 4.8.

Згідно зі схемою представленою на рисунку 4.8, перевірку умов, необхідних для пуску виконують за допомогою послідовної перевірки сигналу від датчиків ваги борошна в силосу 2, тиску повітря до силосу 11, рівня борошна у пересіпальній лінії 17.

Формування умов, необхідних для запуску установки по перевантаженню борошна до виробничих бункерів елемент 4 за сигналами від датчиків 2, 11 та 17, які надходять в схему через АЦП 8, 12, та 18, а також сигналу пуск через ДЦП 3. Підхоплення сигналу пуску і утримання його після відпускання кнопки «Пуск» здійснює RS - тригер 5. З появою логічної 1 на виході RS - тригера 5 починає спрацьовувати передпускова звукова сигналізація (ППЗС). Витримка часу на ППЗС забезпечує таймер 10. Формує сигнал на ППЗС елемент НА через ЦДП 7. По завершенню ППЗС, сигнал після таймера 10, надходить в RS - тригер 14. RS - тригер 14 у свою чергу через ЦДП запускає двигун М3 витяжного вентилятора. Також сигнал поступає до RS – тригеру 22 та відкриває вентиль V1 на 40% ходу регулюючого органу. Коли розрідження в аспіраційній системі встановиться на завчені вище за мінімального $>P_{min}$ то з'явиться сигнал «1» після реле 30. Цей сигнал через логічний елемент 31 поступає на перемикач для підключення регулятора 25 до роботи. Коли розрідження в аспіраційній системі досягне номінального значення то з'явиться сигнал логічної одиниці після ланки 33 до RS – тригерів 35, 43 та RS – тригеру 52, а далі через ДЦП запускається двигун М1 циклону, М2 та М4.

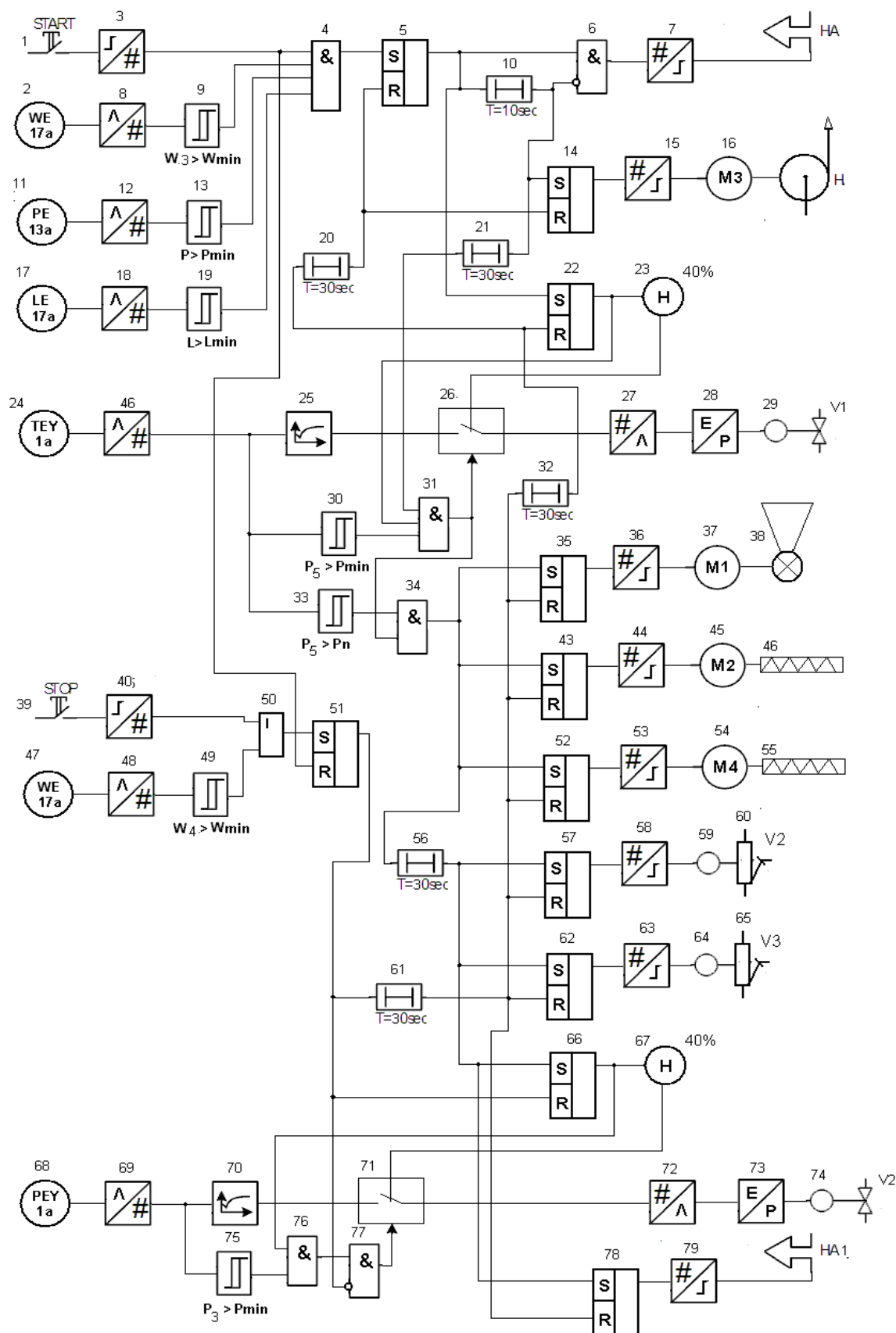


Рис.4.8-Функціонально-логічна схема процесу управління перевантаження борошна з силосу

Після витримки часу 30 секунд встановленого у таймері 56 сигнал логічний «1» надходить до RS – тригерів 57, 62 для переключення заслінок до положення транспортування борошна до виробничого букера. Також логічної одиниці поступає до RS – тригеру 65 для встановлення вентилу V2 на 40% ходу регулюючого органу. Коли тиск повітря у трубопроводі до силосу досягне мінімально встановленого значення замикається контур регулювання тиску повітря і регулятор 70 підключається до роботи. Через 30 сек. що встановлене у таймері 61 після підключення контурів регулювання, здійснюється перевірка штатного режиму функціонування за рахунок реле 49, та інших що відповідають за аварійну зупинку. Якщо одне із цих реле спрацьовує це означає що контури регулювання з регуляторами 25 і 71 не справляються з роботою і необхідно переходити до режиму аварійної зупинки. При режимі аварійної зупинки або при нажатій кнопки STOP з'являється сигнал «1» після логічного елементу 50 а далі цей сигнал послідовно приходить на вхід R RS-тригерів 37, 30 для повернення борошна до накопичувачів у силосах, а також сигнал «1» надходить на вхід R RS-тригерів 5, 66, 62, 57 і тим самим послідовно відключаються двигуни M4, M2, M3. Після витримки часу 30 секунд що встановлено у таймері 61, приходить сигнал на вхід R RS-тригера 78 і звуковий аварійний сигнал відключається.

Представлена схема на рисунки 4,8 включає алгоритми логічного та логіко-динамічного управління процесами пуску, зупинкою та аварійною зупинкою що представлені в попередньому підрозділі 4.3.

4.5 Висновки за розділом

В даному розділі була складена схема логічного керування установкою по перевантаженню борошна з силосу до виробничих бункерів і визначена часова діаграма для встановлення принципової придатності розроблених алгоритмів логічного керування.. Далі дані алгоритми будуть використовуватися для програмування контролера.

5. ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ЗМІННИ ПРОЦЕСУ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ КЕРУЮЧИХ ВПЛИВІВ, РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ СТРУКТУРИ КОНТРОЛЕРНО-КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ

В попередніх розділах були розглянуті алгоритми регулювання та логіко-програмного керування. Мета даного розділу – обрати технічні засоби для реалізації цих алгоритмів керування. Самі засоби повинні задовольняти багатьом вимогам, зокрема: надійність, точність, безпека, ремонтпридатність, простота обслуговування, можливість тиражування і розвитку, екологічна безпека, вартість.

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

5.1.1 Технічні засоби знаходяться в виробничих приміщеннях, тому при їх виборі слід зважати на характеристики середовищ, з якими вони контактують. Технологічне обладнання та технічні засоби автоматизації ділянки пневмотранспортування муки знаходяться опалювальному приміщенні цеху. Цю ділянку можна віднести до пожежо- та вибухонебезпечної, оскільки органічний пил у повітрі на обладнанні може викликати вибух або пожежу.

Датчики, регулюючі органи та виконавчі механізми системи керування розміщуються безпосередньо на обладнанні і матеріалопроводах, по яким подається мука та стиснене повітря. Інше технічне обладнання системи керування та АРМ оператора-технолога доцільно розмістити в окремому приміщенні з температурою 18 - 25 °С та вологістю 60 - 80%.

Визначимо класифікацію приміщення, де розміщується обладнання для пневмотранспортування муки. У відповідності з «Правилами улаштування електроустановок» це приміщення можна віднести до категорії «нормальне приміщення, в якому відносна вологість повітря не більше ніж 60 %.

Щодо небезпеки ураження людей електричним струмом розрізняють:

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

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

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.

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де розміщене обладнання для пневмотранспортування муки, слід віднести до приміщення з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом, оскільки наявні пункти 2 і 4.

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 22 — простір, у якому вибухонебезпечне середовище за нормальних умов експлуатації відсутнє, а якщо воно виникає, то рідко і триває недовго.

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де розміщене обладнання для пневмотранспортування муки, слід віднести до вибухонебезпечної зони класу 2.

«Правила будови електроустановок. електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» встановлюють рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних машин, електричних апаратів і приладів (табл. 5.1, 5.2).

Табл. 5.1 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

Табл. 5.2 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 приміщення, де розміщене обладнання для пневмотранспортування муки, слід вибирати ступінь захисту оболонки електричних машин та ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів - «Підвищеної надійності проти вибуху».

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

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

Відповідно до введеної класифікації приміщення, де встановлений котел, слід віднести до пожежонебезпечної зони класу П-П.

«Правила будови електроустановок електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» встановлюють ступінь захисту оболонок електричних машин, електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів (табл. 5.3, 5.4).

Табл. 5.3 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

Табл. 5.4 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 пожежонебезпечних 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 приміщення, де розміщене обладнання для пневмотранспортування муки, слід вибрати мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин, електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів не менше IP54.

Оскільки датчики рівня муки та тиску повітря монтуються безпосередньо на корпусі силосів (бункерів) та матеріалопроводів, то їх виконання повинно передбачати степінь захисту не менше IP54, степінь вибухозахисту - підвищеної надійності проти вибуху.

5.1.2 Датчики САР контактують з наступними речовинами:

- стиснене повітря з температурою до 35 °та тискові до 6 бар;
- мука з температурою до 35 °С.

Регулюючі клапани контактують з наступними речовинами:

- стиснене повітря з температурою до 35 °та тискові до 6 бар.

Виконавчі механізми, які встановлені на клапанах, контактують з наступними речовинами:

- з матеріалами клапанів та навколишнім повітрям цеху з температурою 25...35 °С.

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

5.2.1 Для виміру тиску повітря в трубах застосований датчик DMP 331



Технічні характеристики:
Від -1...0 до 0...40 бар
0,1/0,2/0,25/0,35/0,5% FSO
Вихідний сигнал 2-х пров. вик.
4...20 мА; 3-х пров.
вик. 0 ... 20 мА, 0 ... 10 В
Опції Іскробезпечне виконання II
1G EEx іа ІІС Т4, польове
виконання у корпусі з
нержавіючої сталі
(IP 67), цифровий індикатор

а)

б)

Рис.- 5.1. Датчик тиску DMP 331 а) зовнішній вигляд;

б) технічні характеристики

5.2.2 Для виміру рівня муки в бункерах застосований ємкісний датчик рівня Denil CLM 36-10.



а)

Технічні характеристики:
 напруга живлення 9 ... 36 В DC
 двопровідне підключення (вар. - I) 4 ... 20 мА
 з'єднання з дротом (вар. – U) 0 ... 10 В
 точність (по всьому діапазону) 1%
 діапазон робочих температур -40...+85°C
 клас захисту IP68

б)

Рис.- 5.2. Датчик рівня Denil CLM 36-10:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

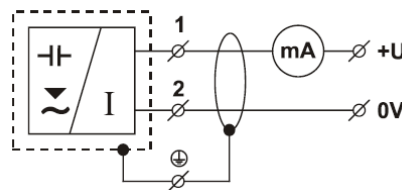


Рис.5.3.- Схема зовнішніх підключень датчика рівня Denil CLM 36-10

5.3. Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу

5.3.1. Для зміни витрат стисненого повітря використаємо повітряну заслінку АЗД 134 000 02 з електроприводом Belimo SM24A-SR-TR, сигнал керування 0...10 V DC.



Технічні характеристики:
 вхідний сигнал 0...10 V DC;
 перестановочне зусилля 2 kN;
 живлення 24 V DC
 степінь захисту IP 54;

Рис. 5.4 Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики
 клапану АЗД 134 000 02/ SM24A-SR-TR

5.4. Вибір технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі

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

Для визначення кількості і типів сигналів, які обробляються в контролері, базуючись на основі аналізу системи автоматизації за розділами 1...4, складемо таблицю зі списком параметрів.

Табл. 5.1 Список параметрів на входах та виходах контролера

№ пп	Найменування параметру	Вид A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході або виході контролера
1	Тиск повітря на вході	A	I	4...20 mA DC
2	Тиск повітря на виході	A	I	4...20 mA DC
3	Сигнал стану авт.вимикача M1	D	I	24 V DC
4	Сигнал стану контактора M1	D	I	24 V DC
5	Сигнал перемикача режиму M1	D	I	24 V DC
6	Сигнал стану авт.вимикача M2	D	I	24 V DC
7	Сигнал стану контактора M2	D	I	24 V DC
8	Сигнал перемикача режиму M2	D	I	24 V DC
9	Сигнал стану авт.вимикача M3	D	I	24 V DC
10	Сигнал стану контактора M3	D	I	24 V DC
11	Сигнал перемикача режиму M3	D	I	24 V DC
12	Сигнал стану авт.вимикача M4	D	I	24 V DC
13	Сигнал стану контактора M4	D	I	24 V DC
14	Сигнал перемикача режиму M4	D	I	24 V DC
15	Сигнал верх. рівня муки в букері	D	I	24 V DC
16	Сигнал ниж. рівня муки в бункері	D	I	24 V DC
17	Сигнал ниж. рівня муки в силосі	D	I	24 V DC
18	Сигнал ниж. рівня муки в силосі	D	I	24 V DC
19	Сигнал керування M1	D	O	24 V DC
20	Сигнал керування M2	D	O	24 V DC
21	Сигнал керування M3	D	O	24 V DC
22	Сигнал керування M4	D	O	24 V DC
23	Сигнал керування регулюючим клапаном гріючої пари	A	O	0...10 V DC
24	Сигнал керування регулюючим клапаном охолоджуючої води	A	O	0...10 V DC

Таким чином кількість каналів вводу\виводу наступна:

AI – 2, AO – 2, DI – 16, DO – 4

5.4.2. Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.

Виберемо централізовану схему розміщення модулів системи керування, оскільки технологічне обладнання та допоміжне устаткування розташовуються в одному приміщенні компактно.

Систему керування будемо розробляти на базі контролера S7-1500 фірми Siemens. Враховуючи, що центральний процесор і модулі системи мають виконання IP20, доцільно розмістити їх у настінній шафі зі ступенем захисту не менш IP54 в окремому від технологічного устаткування приміщенні.

Приміщення цеху опалювальне, що дозволяє використовувати модулі звичайного виконання, а не з розширеним температурним діапазоном, які дорожче.

Враховуючи список змінних, які необхідно вводити та виводити з контролеру, схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування приймає наступний вигляд (рис. 5.12).

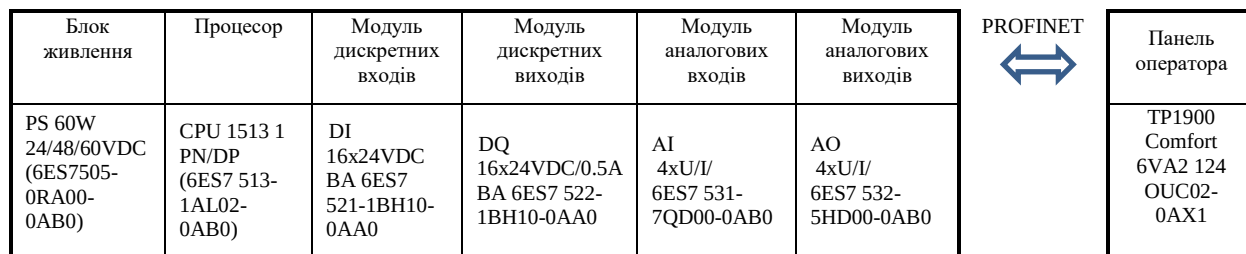


Рис. 5.5 Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування

Центральний процесор CPU 1513 1 PN без вбудованих каналів вводу-виводу, орієнтований на рішення стандартних завдань автоматичного керування. Дозволяє використовувати в системі локального вводу-виводу весь спектр сигнальних, технологічних та комунікаційних модулів S7-1500.

Article number	6ES7513-1AL02-0AB0
General information	
Product type designation	CPU 1513-1 PN
HW functional status	FS01
Firmware version	V2.5
Engineering with	
• STEP 7 TIA Portal configurable/integrated as of version	V15
Configuration control	
via dataset	Yes
Display	
Screen diagonal [cm]	3.45 cm
Control elements	
Number of keys	8
Mode buttons	2
Supply voltage	
Type of supply voltage	24 V DC
permissible range, lower limit (DC)	19.2 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Reverse polarity protection	Yes
Mains buffering	
• Mains/voltage failure stored energy time	5 ms
• Repeat rate, min.	1/s
Input current	
Current consumption (rated value)	0.7 A
Current consumption, max.	0.95 A
Inrush current, max.	1.9 A; Rated value
I _{It}	0.02 A ² ·s
Power	
Infeed power to the backplane bus	10 W
Power consumption from the backplane bus (balanced)	5.5 W
Power loss	
Power loss, typ.	5.7 W
Memory	
Number of slots for SIMATIC memory card	1
SIMATIC memory card required	Yes

Work memory	
• integrated (for program)	300 kbyte
• integrated (for data)	1.5 Mbyte
Load memory	
• Plug-in (SIMATIC Memory Card), max.	32 Gbyte
Backup	
• maintenance-free	Yes
CPU processing times	
for bit operations, typ.	40 ns
for word operations, typ.	48 ns
for fixed point arithmetic, typ.	64 ns
for floating point arithmetic, typ.	256 ns
CPU-blocks	
Number of elements (total)	2 000; Blocks (OB, FB, FC, DB) and UDTs
DB	
• Number range	1 ... 60 999; subdivided into: number range that can be used by the user: 1 ... 59 999, and number range of DBs created via SFC 66: 60 000 ... 60 999
• Size, max.	1.5 Mbyte; For non-optimized block accesses, the max. size of the DB is 64 KB
FB	
• Number range	0 ... 65 535
• Size, max.	300 kbyte
FC	
• Number range	0 ... 65 535
• Size, max.	300 kbyte
OB	
• Size, max.	300 kbyte
• Number of free cycle OBs	100
• Number of time alarm OBs	20
• Number of delay alarm OBs	20
• Number of cyclic interrupt OBs	20; With minimum OB 3x cycle of 500 µs
• Number of process alarm OBs	50
• Number of DPV1 alarm OBs	3
• Number of isochronous mode OBs	1
• Number of technology synchronous alarm OBs	2
• Number of startup OBs	100

Рис. 5.6 Технічні дані CPU 1513 1 PN

Для вводу дискретних сигналів обраний модуль DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0)

Digital inputs	
Number of inputs	16
Configurable digital inputs	No
Sinking/sourcing input	Sinking input
Input characteristic curve acc. to IEC 61131, type	Yes
3	
Input voltage	
Type of input voltage	DC
Rated value (DC)	24 V
for signal "0"	-30 to +5 V
for signal "1"	+11 to +30 V

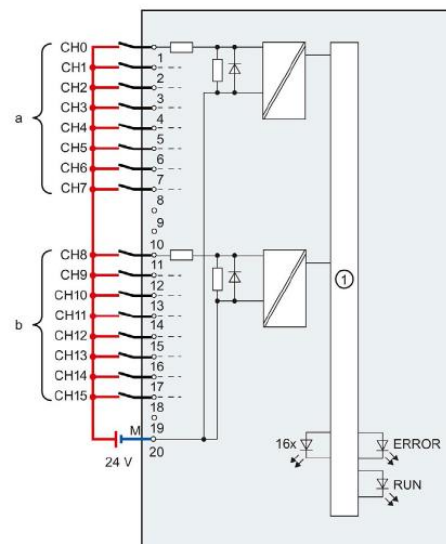


Рис. 5.7 Технічні характеристики та схема підключень DI 16x24VDC BA

Для виводу дискретних сигналів обраний модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0)

Digital outputs	
Type of digital output	Transistor
Number of digital outputs	16
Current-sourcing	Yes
Short-circuit protection	Yes; Clocked electronically
• Response threshold, typ.	1 A
Limitation of inductive shutdown voltage to	L+ (-53 V)
Controlling a digital input	Yes
Switching capacity of the outputs	
• with resistive load, max.	0.5 A
• on lamp load, max.	5 W

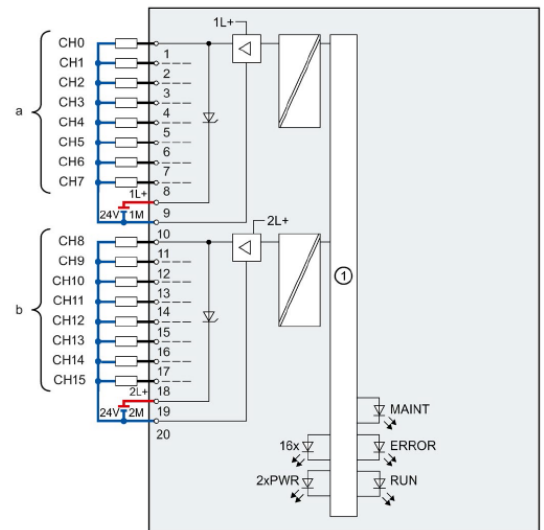


Рис. 5.8 Технічні характеристики та схема підключень
DQ 16x24VDC/0.5A BA

Для вводу аналогових сигналів обраний модуль AI 4xU/I (6ES7 531-7QD00-0AB0).

Analog inputs	
Number of analog inputs	4
Number of analog inputs with current measurement	4
Number of analog inputs for voltage measurement	4
Number of analog inputs for resistance/resistance thermometer measurement	2
Number of analog inputs with thermocouple measurement	4
Permissible input voltage for voltage input (destruction limit), max.	28.8 V
Permissible input current for current input (destruction limit), max.	40 mA
Technical unit for temperature measurement adjustable	Yes

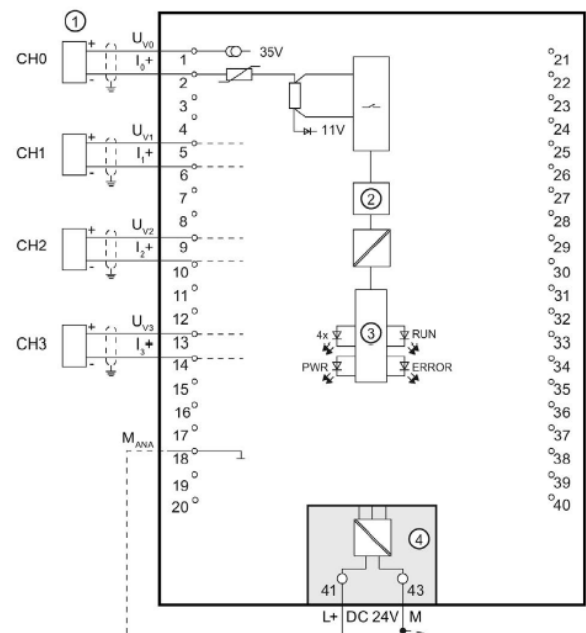


Рис. 5.9 Технічні характеристики та схема підключень
датчиків сили струму до входів 6ES7 531-7QD00-0AB0

Для виводу аналогових сигналів обраний модуль AO 4xU/I/6ES7 532-5HD00-0AB0

Analog outputs	
Number of analog outputs	4
Voltage output, short-circuit protection	Yes
Voltage output, short-circuit current, max.	24 mA
Current output, no-load voltage, max.	22 V
Cycle time (all channels), min.	3.2 ms; independent of number of activated channels

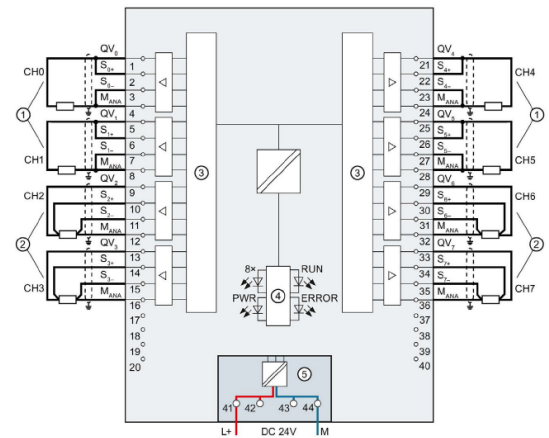


Рис. 5.10 Технічні характеристики та схема формування уніфікованої напруги на виходах 6ES7 532-5HD00-0AB0

5.4. Вибір альтернативних варіантів технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі

Оскільки лінія перевантаження борошна пневмотранспортом це розподілена система, але ми розглядаємо окрему невеличку ділянку яка відносно компактно розташована, то відповідно датчики та виконавчі пристрої, які встановлені на неї, також розміщуються на невеликих відстанях одні від інших. Тому шафу з ПЛК та допоміжним устаткування доцільно розташувати в приміщенні цеху, що скоротить довжини кабелів при підключенні. Виходячи з цих обставин та досвіду реалізації таких систем, виберемо централізовану контролерно-комп'ютерну мережу з реалізацією АРМ на панелі оператора, яка може бути встановлена на передній панелі шафи або в окремому приміщенні. Для реалізації розроблених алгоритмів керування ділянкою лінії перевантаження борошна оберемо ПЛК SIMATIC S7-1500 із середовищем програмування TIA Portal.

Виконавши аналіз системи автоматизації лінії перевантаження борошна за розділами 1...4, складемо таблицю зі списком параметрів, які повинні оброблятися в керуючому пристрої - контролері.

Табл. 5.5 – Список параметрів на входах або виходах контролера

№ пп	Найменування параметру	Вид A/D	Тип сигнал у I/O	Діапазон сигналу на вході або виході контролера
1	Тиск повітря в пневмосистемі	A	I	4...20 mA DC
2	Розрідження повітря в аспіраційній системі	A	I	4...20 mA DC
3	Вага борошна у Силосі 1	A	I	4...20 mA DC
4	Вага борошна у Силосі 2	A	I	4...20 mA DC
5	Вага борошна у Силосі 3	A	I	4...20 mA DC
6	Вага борошна у Бункері 1	A	I	4...20 mA DC
7	Вага борошна у Бункері 2	A	I	4...20 mA DC
8	Керуюча дія - положення РО, що змінює витрати повітря	A	O	0...10 V DC
9	Керуюча дія - положення РО, що змінює витрати повітря до втяжного вентилятору	A	O	0...10 V DC
10	Сигнал датчика верхнього рівня приймальному бункері	D	I	24 V DC
11	Сигнал датчика верхнього рівня в перевантажувальному бункері	D	I	24 V DC
12	Сигнал датчика верхнього рівня в приймальному бункері шнекового живильника	D	I	24 V DC
13	Сигнал стану авт. вимикача приводу шлюзового живильника	D	I	24 V DC

	M1			
14	Сигнал стану контактора M1	D	I	24 V DC
15	Сигнал перемикача режиму (лок./дистанц.) M1	D	I	24 V DC
16	Сигнал стану авт. вимикача приводу шнекового транспортеру M2	D	I	24 V DC
17	Сигнал стану контактора M2	D	I	24 V DC
18	Сигнал перемикача режиму (лок./дистанц.) M2	D	I	24 V DC
19	Сигнал стану авт. вимикача двигуна шнекового живильника M3	D	I	24 V DC
20	Сигнал стану контактора M3	D	I	24 V DC
21	Сигнал перемикача режиму (лок./дистанц.) M3	D	I	24 V DC
22	Сигнал стану авт. вимикача двигуна вентилятору аспіраційної системи M4	D	I	24 V DC
23	Сигнал стану контактора M4	D	I	24 V DC
24	Сигнал перемикача режиму (лок./дистанц.) M4	D	I	24 V DC
25	Сигнал стану «відкритий» відсічного клапану подачі повітря силос1	D	I	24 V DC
26	Сигнал стану «закритий» відсічного клапану подачі повітря силос1	D	I	24 V DC
27	Сигнал стану «відкритий»	D	I	24 V DC

	відсічного клапану подачі повітря силос2			
28	Сигнал стану «закритий» відсічного клапану подачі повітря силос2	D	I	24 V DC
29	Сигнал стану «відкритий» відсічного клапану подачі повітря силос3	D	I	24 V DC
30	Сигнал стану «закритий» відсічного клапану подачі повітря силос3	D	I	24 V DC
31	Сигнал стану «відкритий» відсічного клапану подачі повітря бункер1	D	I	24 V DC
32	Сигнал стану «закритий» відсічного клапану подачі повітря бункер 1	D	I	24 V DC
33	Сигнал стану «відкритий» відсічного клапану подачі повітря бункер 2	D	I	24 V DC
34	Сигнал стану «закритий» відсічного клапану подачі повітря бункер 2	D	I	24 V DC
35	Сигнал стану «відкритий» перекидного клапану 1 суміші повітря та борошна	D	I	24 V DC
36	Сигнал стану «закритий» перекидного клапану 1 суміші повітря та борошна	D	I	24 V DC

37	Сигнал стану «відкритий» перекидного клапану 2 суміші повітря та борошна	D	I	24 V DC
38	Сигнал стану «закритий» перекидного клапану 2 суміші повітря та борошна	D	I	24 V DC
39	Сигнал керування приводу M1	D	O	24 V DC
40	Сигнал керування приводу M2	D	O	24 V DC
41	Сигнал керування двигуном M3	D	O	24 V DC
42	Сигнал керування двигуном вентилятора M4	D	O	24 V DC
43	Сигнал керування відсічним клапаном подачі повітря силос 1	D	O	24 V DC
44	Сигнал керування відсічним клапаном подачі повітря силос 2	D	O	24 V DC
45	Сигнал керування відсічним клапаном подачі повітря силос 3	D	O	24 V DC
46	Сигнал керування відсічним клапаном подачі повітря бункер 1	D	O	24 V DC
47	Сигнал керування відсічним клапаном подачі повітря бункер 2	D	O	24 V DC
48	Сигнал керування перекидним клапаном 1	D	O	24 V DC
49	Сигнал керування перекидним клапаном 2	D	O	24 V DC
50	Сигнал керування звук.сигн.	D	O	24 V DC

Таким чином кількість каналів вводу\виводу наступна:

AI – 7, AO – 2, DI – 29, DO – 12

Враховуючи, що центральний процесор і модулі системи мають виконання IP20, доцільно розмістити їх у настінній шафі зі ступенем захисту не менш IP54.

На наступних рисунках наведені рекомендації з монтажу Simatic S7-1500 у шафі з урахуванням зазорів, можливості розсіювання тепла, а також схема заземлення.

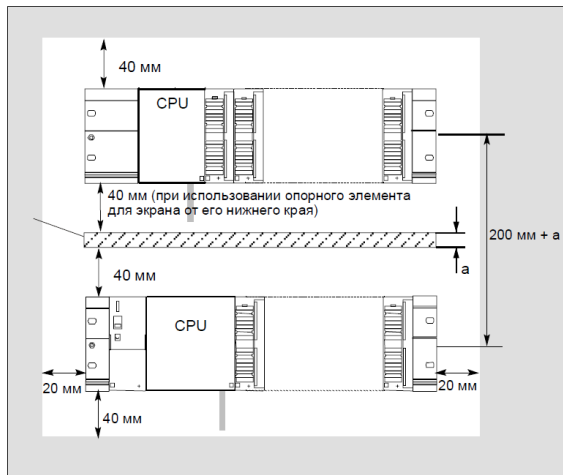


Рис. 5.15 – Зазори при встановленні S7-1500 у шафі.

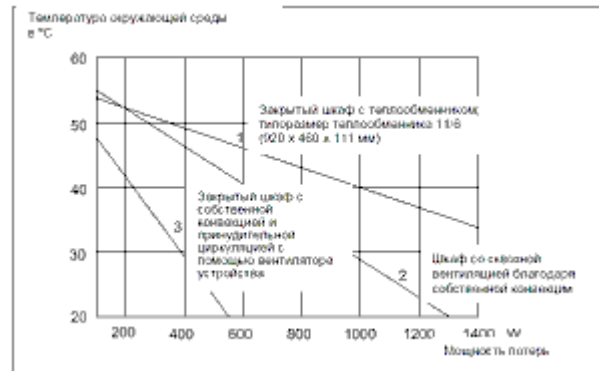


Рис. 5.16 – Діаграма припустимих потужностей розсіювання.

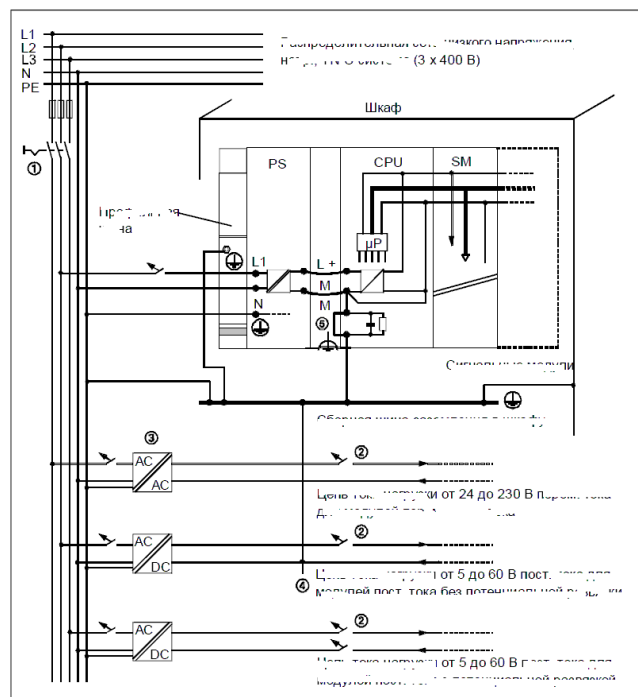


Рис. 5.16 – Схема заземлення в шафі.

Приміщення цеху опалювальне, що дозволяє використовувати модулі звичайного виконання.

Враховуючи список змінних, які необхідно вводити та виводити з контролеру, схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування лінією перевантаження борошна пневмотранспортом приймає наступний вигляд.

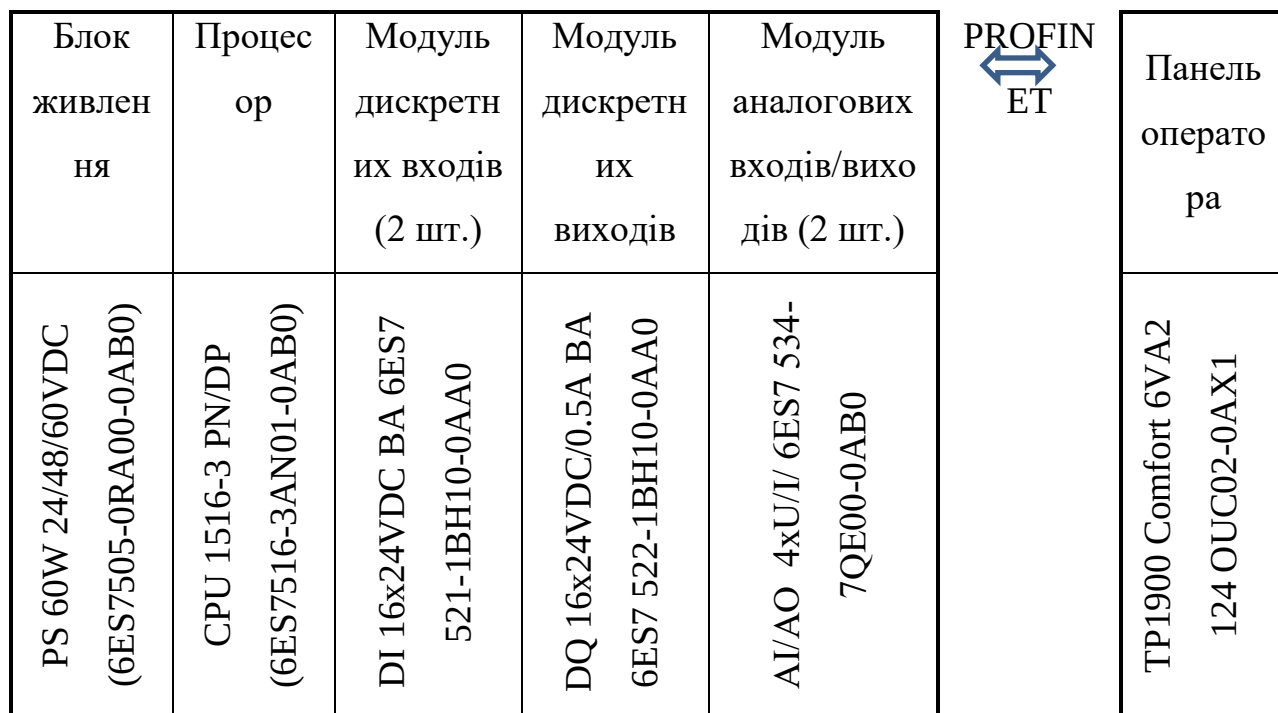


Рис. 5.17 – Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування лінією перевантаження борошна пневмотранспортом.

Центральний процесор CPU 1516-3 PN / DP призначений для побудови систем керування, що вимагають виконання програм великого об'єму, високій швидкості оброблення даних і обслуговування систем розподіленого введення-виведення на основі мереж PROFINET IO і PROFIBUS DP. Оснащений інтерфейсами PROFINET, а також PROFIBUS. Це дає можливість застосувати його при подальшій розбудові системи на інші ділянки виробництва.

6ES7516-3AN01-0AB0	
General information	
Product type designation	CPU 1516-3 PN/DP
Hardware function version	FS03
Firmware version	V2.0
Engineering with STEP 7 TIA Portal can be configured/integrated as of version	V14
Configuration control	
Via data record	Yes
Display	
Screen diagonal (cm)	6.1 cm
Operator controls	
Number of buttons	6
Mode selector	1
Supply voltage	
Type of supply voltage	24 V DC
Low limit of permitted range (DC)	19.2 V
High limit of permitted range (DC)	28.8 V
Reverse polarity protection	Yes
Power and voltage failure buffering	
Power/voltage failure buffer time	5 ms

Input current	
Current consumption (rated value)	0.85 A
Inrush current, max.	2.4 A; rated value
I_t	0.02 A²s
Power	
Power consumption from the backplane bus (balanced)	6.7 W
Incoming power to the backplane bus	12 W
Power loss	
Power loss, typ.	7 W
Memory	
Number of slots for SIMATIC memory card	1
SIMATIC memory card required	Yes
Work memory	
Integrated (for program)	1 MB
Integrated (for data)	5 MB

Рис. 5.18 – Технічні дані CPU

Для вводу дискретних сигналів обраний модуль DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0). Обрано дві штуки. Він здатен сприймати до 16 сигналів від датчиків, на виходах яких є сигнали -3...+5 VDC (рівні логічного нуля) або +11...30 VDC (рівні логічної одиниці).

Digital Inputs	
Number of inputs	16
Configurable digital inputs	No
Sinking/sourcing input	Sinking input
Input characteristic curve acc. to IEC 61131, type 3	Yes
Input voltage	
Type of input voltage	DC
Rated value (DC)	24 V
for signal "0"	-30 to +5 V
for signal "1"	+11 to +30 V
Input current	
for signal "1", typ.	2.7 mA
Input delay (for rated value of input voltage)	
For standard inputs	
• Configurable	No
• with "0" to "1", min.	3 ms
• with "0" to "1", max.	4 ms
• with "1" to "0", min.	3 ms
• with "1" to "0", max.	4 ms
For interrupt inputs	
• Configurable	No
for technological functions	
• Configurable	No
Cable length	
shielded, max.	1000 m
unshielded, max.	600 m

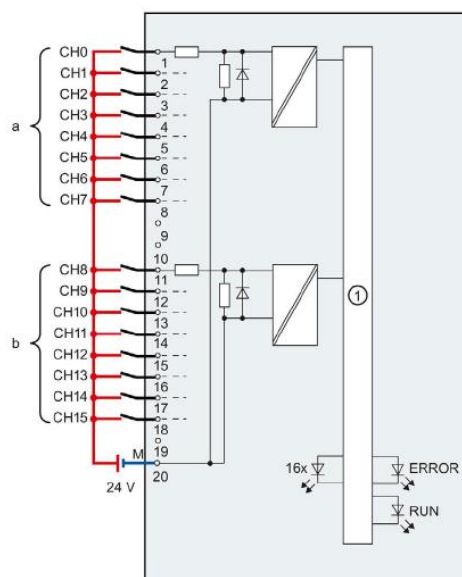


Рис. 5.19 – Технічні характеристики та схема підключень DI 16x24VDC BA

Для виводу дискретних сигналів обраний модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0). При виводі керуючих сигналів на його виходах з'являється напруга 24 VDC, вихідні транзистори здатні продукувати струм на навантаження до 0,5 А.

Digital outputs	
Type of digital output	Transistor
Number of outputs	16
Sourcing output	Yes
Digital outputs, configurable	No
Short-circuit protection	Yes
• Response threshold, typ.	1 A
Limitation of inductive shutdown voltage to	L+ (-53 V)
Activation of a digital input	Yes
6ES7522-1BH10-0AA0	
Switching capacity of the outputs	
With resistive load, max.	0.5 A
With lamp load, max.	5 W
Load resistance range	
Low limit	48 Ω
High limit	12 kΩ
Output voltage	
Type of output voltage	DC
for signal "1", min.	L+ (-0.8 V)
Output current	
For signal "1" rated value	0.5 A
For signal "1" permitted range, max.	0.5 A
For signal "0" residual current, max.	0.5 mA
Output delay with resistive load	
"0" to "1", max.	100 μs
"1" to "0", max.	500 μs

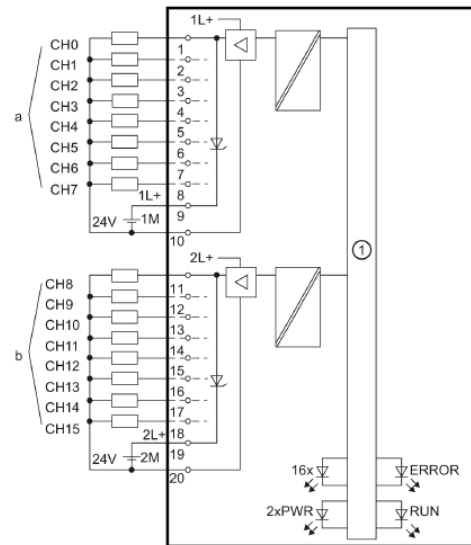


Рис. 5.20 – Технічні характеристики та схема підключень
DQ 16x24VDC/0.5A BA

Для вводу/виводу аналогових сигналів обраний модуль AI 4xU/I AQ 2x4xU/I (6ES7534-7QE00-0AB0). Обрано дві штуки. Він здатен сприймати аналоговий сигнал струму 4...20 mA DC від датчиків з 4-х провідною або 2-х провідною схемами підключення.

6ES7534-7QE00-0AB0	
Analog Inputs	
Number of analog inputs	4
Number of analog inputs with current measurement	4
Number of analog inputs with voltage measurement	4
Number of analog inputs with resistance/resistance thermometer measurement	2
Number of analog inputs with thermocouple measurement	4
Permissible input voltage for voltage input (destruction limit), max.	28.8 V
Permissible input current for current input (destruction limit), max.	40 mA
Technical unit for temperature measurement adjustable	Yes
Input ranges (rated values), currents	
0 mA to 20 mA	Yes
Input resistance (0 mA to 20 mA)	25 Ω; plus approx. 42 ohm for overvoltage protection by PTC
-20 mA to +20 mA	Yes
Input resistance (-20 mA to +20 mA)	25 Ω; plus approx. 42 ohm for overvoltage protection by PTC
4 mA to 20 mA	Yes
Input resistance (4 mA to 20 mA)	25 Ω; plus approx. 42 ohm for overvoltage protection by PTC

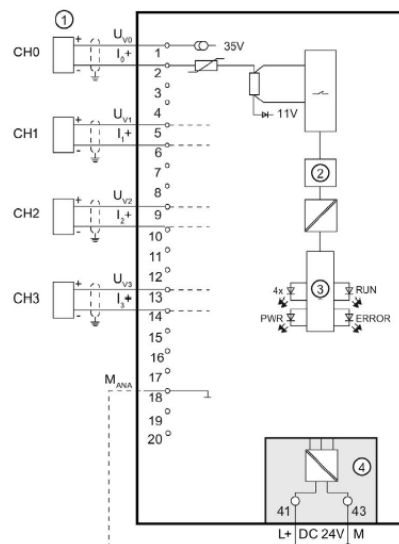


Рис. 5.21 – Технічні характеристики та схема підключень
датчиків сили струму до входів 6ES7534-7QE00-0AB0

Analog outputs	
Number of analog outputs	2
Voltage output, short-circuit protection	Yes
Voltage output, short-circuit current, max.	24 mA
Current output, open-circuit voltage, max.	22 V
Cycle time (all channels) min.	3.2 ms; +/- 0.5ms, regardless of the number of activated channels
Output ranges, voltage	
0 V to 10 V	Yes
1 V to 5 V	Yes
-10 V to +10 V	Yes
Output ranges, current	
0 mA to 20 mA	Yes
-20 mA to +20 mA	Yes
4 mA to 20 mA	Yes
Connection of actuators	
for voltage output two-wire connection	Yes
for voltage output four-wire connection	Yes
for current output two-wire connection	Yes
Load resistance (in the rated output range)	
for voltage outputs, min.	1 k Ω ; 0.5 kilohm at 1 V to 5 V
for voltage outputs, capacitive load, max.	1 μ F
for current outputs, max.	750 Ω
for current outputs, inductive load, max.	10 mH
Cable length	
Shielded cable length, max.	800 m; for current, 200 m for voltage

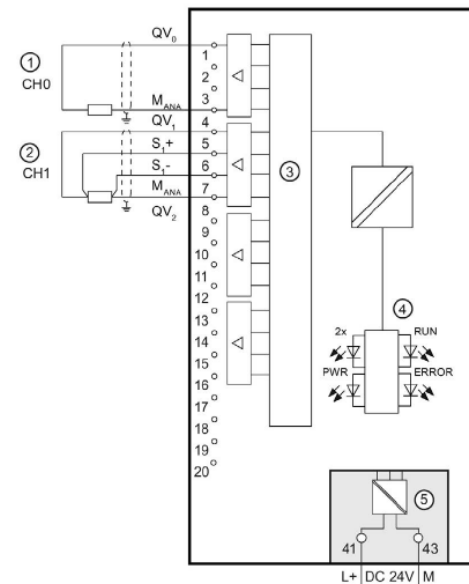


Рис. 5.22 – Технічні характеристики та схема формування уніфікованої напруги на виходах 6ES7534-7QE00-0AB0

До виходів цього модуля можна підключати виконавчі механізми, які сприймають керуючий сигнал із діапазону 0...10 V DC по 2-х провідній або 4-х провідній схемі підключення. Виходи мають захист від короткого замикання.

5.5 Висновки за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити керування лінією перевантаження борошна пневмотранспортом. Класи точності, ступінь захисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Виходи датчиків та входи виконавчих механізмів сумісні з входами/виходами ПЛК. Мікропроцесорне ядро системи керування побудоване за централізованою схемою із використанням ПЛК SIMATIC S7-1500 та панелі оператора TP1900 Comfort, об'єднаних по мережі Profinet, що забезпечує можливість подальшого розвитку системи.

Висновки за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом переміщення муки пневмотранспортом. Класи точності, ступінь захисту та ступінь вибухозахисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Виходи датчиків та входи виконавчих механізмів сумісні з входами/виходами ПЛК. Система керування побудована за централізованою схемою із використанням ПЛК SIMATIC S7-1500 та панелі оператора TP1900 Comfort, об'єднаних по мережі Profinet, що забезпечує можливість її подальшого розвитку. Також було виконано вибір технічних засобів для отримання інформації про параметри технологічного процесу та реалізації керуючих впливів. Проведено аналіз вимог до системи автоматизації, на основі якого обґрунтовано застосування відповідних датчиків, виконавчих механізмів і засобів збору даних, що забезпечують необхідну точність, надійність та оперативність контролю технологічних параметрів.

Розроблено технічну структуру контролерно-комп'ютерної мережі, яка забезпечує ефективну взаємодію між польовим рівнем, програмованим логічним контролером та операторською станцією. Запропонована структура дозволяє здійснювати централізований моніторинг, обробку інформації та керування технологічним процесом у режимі реального часу.

Обрані технічні рішення відповідають сучасним вимогам до промислових систем автоматизації, забезпечують можливість подальшого розширення функціональних можливостей системи та створюють основу для реалізації ефективного й надійного керування процесом безтарного зберігання борошна у силосах.

6. ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ, КОНТРОЛЕРА І МЕРЕЖ, ПРОГРАМУВАННЯ АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ САК

6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж

Для програмної реалізації САК лінією перевантаження борошна пневмотранспортом створюємо у середовищі TIA Portal проект і додаємо до його складу контролер CPU 1516-3 PN / DP та панель оператора TP1900 Comfort, які за своїми технічними характеристиками відповідають поставленій задачі автоматизації.

Конфігурування обраного контролера та панелі оператора проводимо шляхом налаштування мережеских зв'язків між ними, для чого вказуємо IP адреси. В якості типу з'єднання обираємо HMI connection.

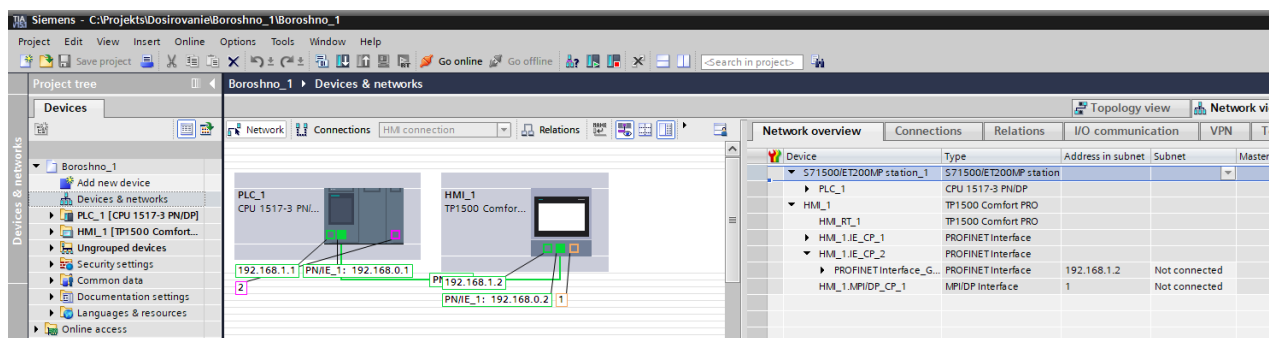


Рис. 6.1 Визначення складу технічних засобів проекту та налаштування мережеских зв'язків.

На вкладці Properties контролера (CPU) встановлюємо можливість користуватися байтами системної пам'яті та байтами часової пам'яті (рис. 6.2).

Далі обираємо з каталогу необхідні модулі вводу/виводу, перетягуємо їх за допомогою миші в поле редагування з бібліотеки (рис. 6.3) Присвоюємо імена фізичним входам і виходам і виконуємо конфігурування модулів ПЗО,

для чого обираємо тип і діапазони зміни вхідних та вихідних сигналів (рис. 6.4)

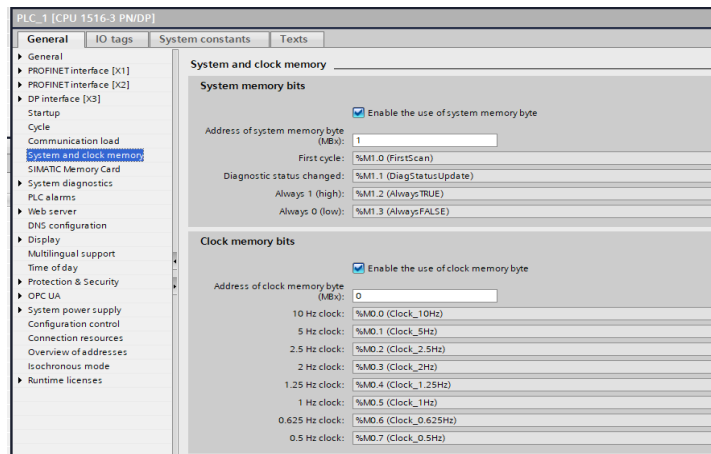


Рис. 6.2 Конфігурування системних областей пам'яті CPU.

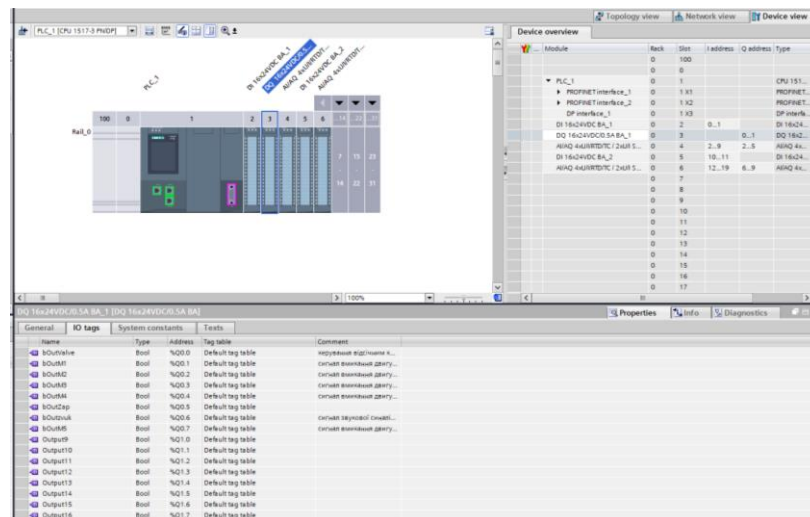


Рис. 6.3 Приклад визначення модулів ПЗО.

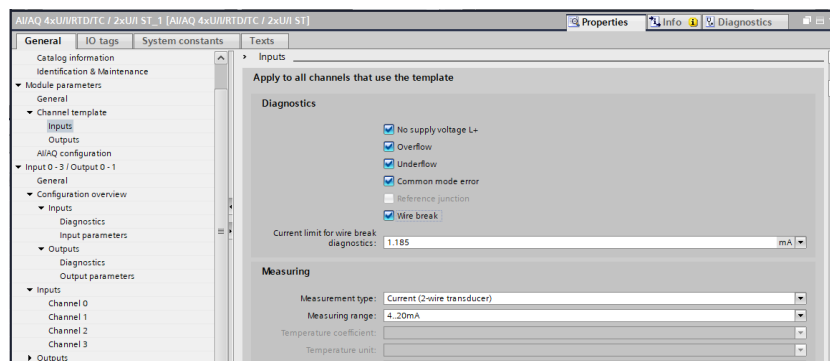


Рис. 6.4 Приклад визначення виду вхідного сигналу і діапазону його зміни для аналогового модуля.

Відповідно до табл. 5.5 проводимо остаточне редагування імен виходів/виходів в таблиці тегів програми.

	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Supervis...	Comment
28	bAVM4	Bool	%I1.5						
29	bAVM5	Bool	%I1.6						
30	bLL_ZS1	Bool	%I1.7						
31	bOutValve	Bool	%Q0.0						Сигнал керування відсічним клапаном ...
32	bOutM1	Bool	%Q0.1						сигнал вмикання двигуна M1
33	bOutM2	Bool	%Q0.2						сигнал вмикання двигуна M2
34	bOutM3	Bool	%Q0.3						сигнал вмикання двигуна M3
35	bOutM4	Bool	%Q0.4						сигнал вмикання двигуна M4
36	bOutZap	Bool	%Q0.5						
37	bOutzvuk	Bool	%Q0.6						сигнал звукової сигналізації
38	bOutM5	Bool	%Q0.7						
39	bOutValve_1	Bool	%Q1.0						Сигнал керування відсічним клапаном ...
40	Output10	Bool	%Q1.1						Сигнал керування відсічним клапаном ...
41	Output11	Bool	%Q1.2						Сигнал керування відсічним клапаном ...
42	Output12	Bool	%Q1.3						Сигнал керування відсічним клапаном ...
43	Output13	Bool	%Q1.4						Сигнал керування перекидним клапаном...
44	Output14	Bool	%Q1.5						Сигнал керування перекидним клапаном...
45	Output15	Bool	%Q1.6						
46	Output16	Bool	%Q1.7						
47	winM	Int	%IW2						Тиск повітря в пневмосистемі
48	winT2_z	Int	%IW4						Розрідження повітря в аспіраційній си...
49	winFB1	Int	%IW6						Вага борошна у Силосі 1
50	winFB2	Int	%IW8						Вага борошна у Силосі 2
51	wOutOil	Int	%QW2						Керуюча дія - положення РО, що змін...
52	wOutGm	Int	%QW4						Керуюча дія - положення РО, що змін...
53	bLH_ZS1	Bool	%I10.0						Сигнал датчика верхнього рівня прий...
54	bLL_ZS2	Bool	%I10.1						Сигнал датчика верхнього рівня в пер...
55	bLS_b	Bool	%I10.7						Сигнал датчика верхнього рівня в при...
56	bSS_Q5	Bool	%I11.0						Сигнал стану авт. вимикача приводу шп...
57	iwT1_wg	Int	%IW12						Вага борошна у Силосі 3
58	iwT2_wg	Int	%IW14						Вага борошна у Бункері 1
59	iwT1_wg(1)	Int	%IW16						Вага борошна у Бункері 2
60	bHomeValve_1	Bool	%I10.2						
61	bHomeValve_2	Bool	%I10.3						

Рис. 6.5 Приклад вікна таблиці тегів САК лінією перевантаженням борошна пневмотранспортом.

6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування

В дереві каталогу проекту створюємо дві папки: Cyclic, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи регулювання тиску повітря та розрідження, та Logic, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи логічного керування.

У вкладці Libraries відкриваємо бібліотеку SOL і за допомогою миші перетягуємо в проект теги з бібліотеки SOL та необхідні функціональні блоки для керування електроприводами, аналоговими та відсічним клапанами.

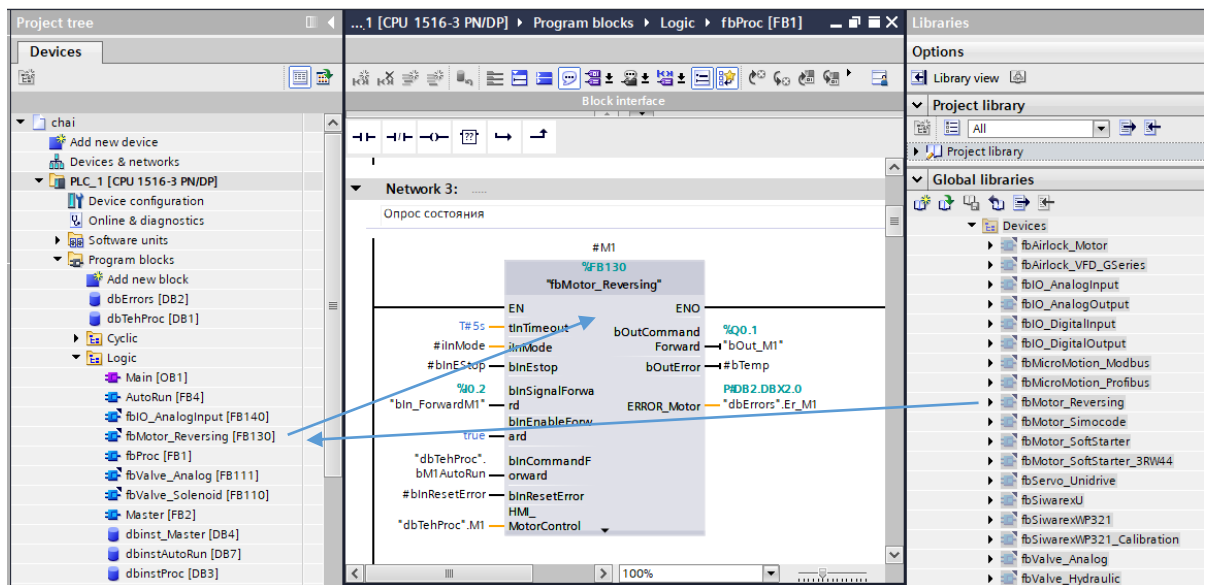


Рис. 6.6 Приклад додавання функціонального блоку FB Motor.

Основні функціональні можливості цих блоків:

- формування керуючих впливів;
- - аналіз зворотного зв'язку про результати виконання;
- - формування структур даних для обміну з НМІ програмами.

Використовуючи бібліотечні типи даних, які розміщені в дереві каталогу проекту PLC data types, створюємо два глобальних блоки даних dbTehProc, dbErrors.

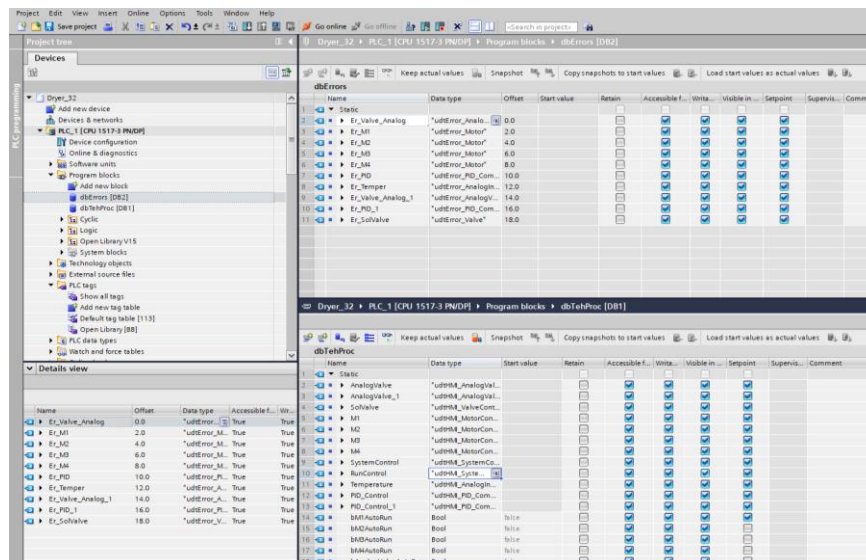


Рис. 6.7 Створення глобальних блоків даних dbTehProc, dbErrors при реалізації САК лінією перевантаження борошна пневмотранспортом.

Створення підпрограм логічного керування.

Спочатку розробляємо підпрограму fbProc опитування стану обладнання, а саме електроприводів обладнання для перевантаження борошна М1 – М3 та витяжного вентилятору М4, аналогових та відсічного клапанів. Створюємо інтерфейс цього функціонального блоку, в якому в розділах Input, Output, Static, Temp вказуємо імена змінних та їх типи.

Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Supervis...	Comment
1	Input								
2	binMode	Int	0	Non-ret...					
3	binEStop	Bool	false	Non-retain					
4	binResetError	Bool	false	Non-retain					
5	binSimulate	Bool	false	Non-retain					
6	Output								
7	bOutAuto	Bool	false	Non-retain					
8	bOutError	Bool	false	Non-retain					
9	InOut								
10	<Add new>								
11	Static								
12	M1	"fbMotor_Reversing"							
13	M2	"fbMotor_Reversing"							
14	M3	"fbMotor_Reversing"							
15	M4	"fbMotor_Reversing"							
16	AnalogValve	"fbValve_Analog"							
17	AnalogValve_1	"fbValve_Analog"							
18	Temperature	"fbIO_AnalogInput"							
19	SolValve	"fbValve_Solenoid"							
20	rOutAnalogValve	Real	0.0	Non-retain					
21	rOutAnalogValve_1	Real	0.0	Non-retain					
22	rinAnalogValve	Real	0.0	Non-retain					
23	rinAnalogValve_1	Real	0.0	Non-retain					
24	iTemper	Int	0	Non-retain					
25	wTempRez	Word	16#0	Non-retain					
26	wTemp	Word	16#0	Non-retain					
27	unipolar	Bool	false	Non-retain					
28	fbValve_Solenoid1	"fbValve_Solenoid"							
29	Temp								
30	bTemp	Bool							

Рис. 6.8 Інтерфейс функціонального блоку fbProc.

Підпрограма fbProc створена на мові LD. Для кожного електроприводу викликається екземпляр бібліотечного функціонального блоку fbMotor_Reversing та попередньо пишеться строчка програми, яка імітує зворотній зв'язок з виходу цього блоку на його вхід, тобто спрацювання контактора електропривода. До входів/виходів fbMotor_Reversing підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors (рис. 6.9).

Аналогічно здійснюється опит стану відсічних (рис. 6.10) та аналогових клапанів (рис. 6.11). Для цього викликаються екземпляри бібліотечних функціональних блоків fbValve_Solenoid, fbValve_Analog, до входів/виходів яких підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors.

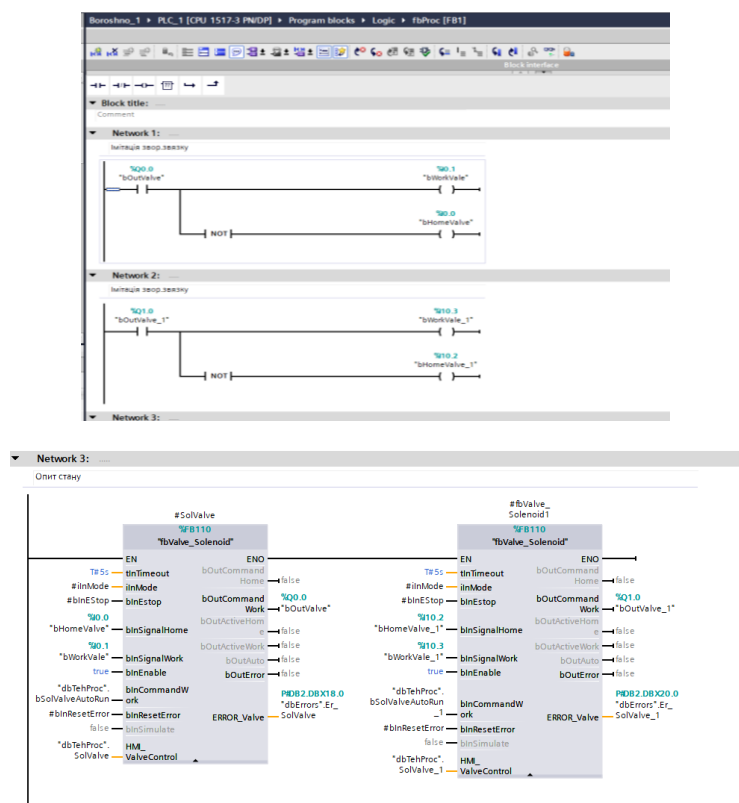


Рис. 6.9 Фрагмент підпрограми fbProc

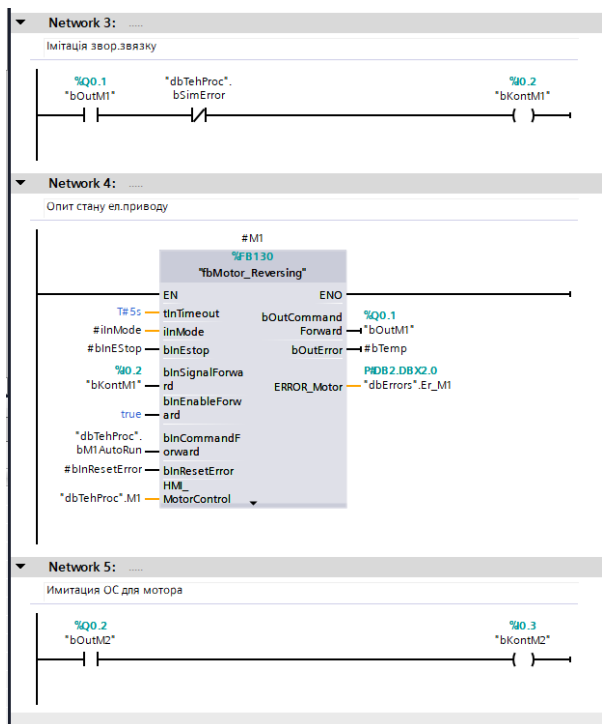


Рис. 6.10 Фрагмент підпрограми fbProc

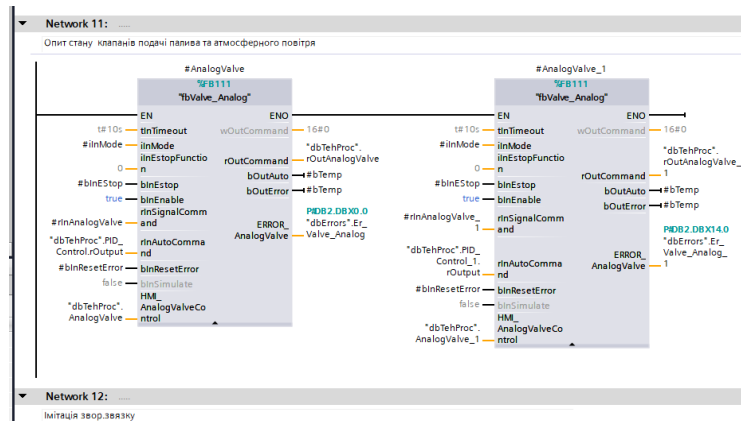


Рис. 6.11 Фрагмент підпрограми fbProc

В кінці програми проводяться перевірки режиму роботи та похибок обладнання.

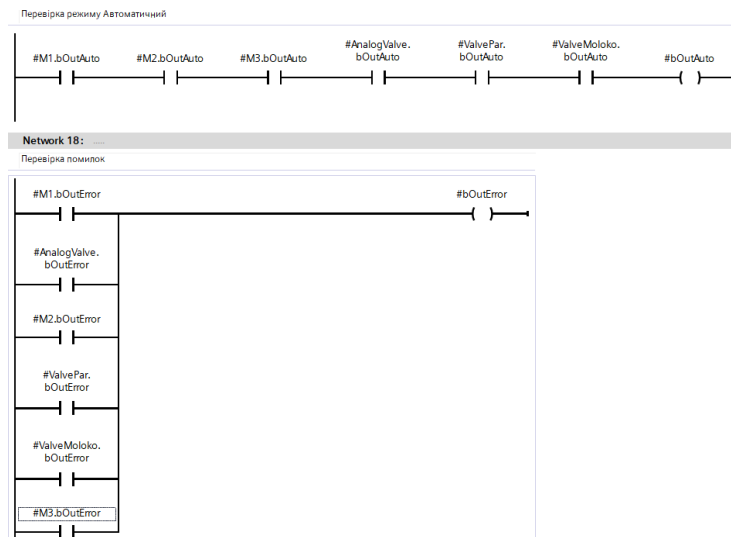


Рис. 6.12 Фрагмент підпрограми fbProc

Далі складаємо підпрограму пуску та зупинки обладнання лінією перевантаженням борошна пневмотранспортом fbAutoRun, яка базується на алгоритмах, розроблених у розділі 4.

Спочатку створюється інтерфейс функціонального блоку fbAutoRun, в якому вказуються змінні та їх типи.

fbAutoRun									
	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Write...	Visible in ...	Setpoint	Supervis...
4	Output								
5	bOutAutoRunning	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
6	InOut								
7	<Add new>								
8	Static								
9	bAutoRun	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
10	bAutoStop	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
11	bZvuk	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
12	bM1	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
13	bSV	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
14	bM4	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
15	bAV	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
16	Timer1	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
17	Timer2	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
18	Timer3	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
19	Timer4	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
20	Timer5	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
21	Timer6	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
22	Timer7	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
23	Timer8	IEC_TIMER		Non-ret...	☒	☒	☒	☐	☐

Рис. 6.13 Інтерфейс функціонального блоку fbAutoRun.

А далі на мові LD пишуться строки цього блоку (рис. 6.14), які забезпечують почерговий запуск та зупинку електроприводів та клапанів. Інтервали затримок встановлюються у відповідних таймерах типу TON, які відносяться до базових інструкцій мови, так само як і SR-тригери.

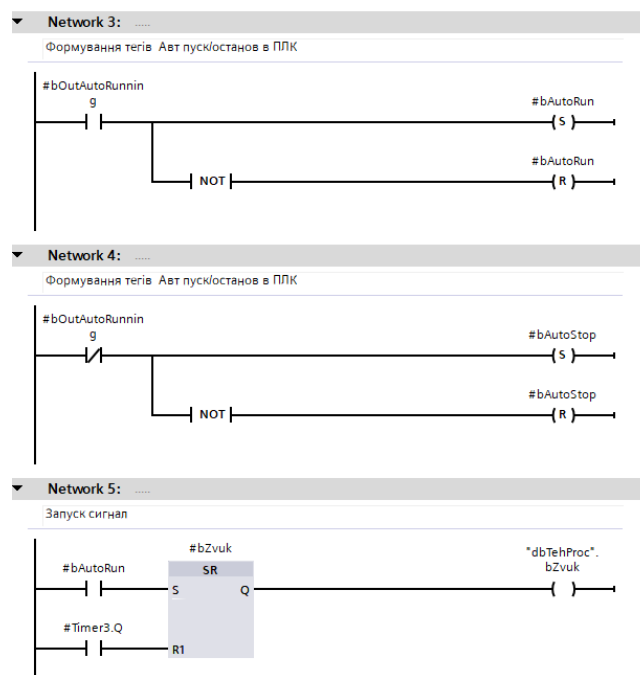


Рис. 6.14 Фрагмент підпрограми fbAutoRun.

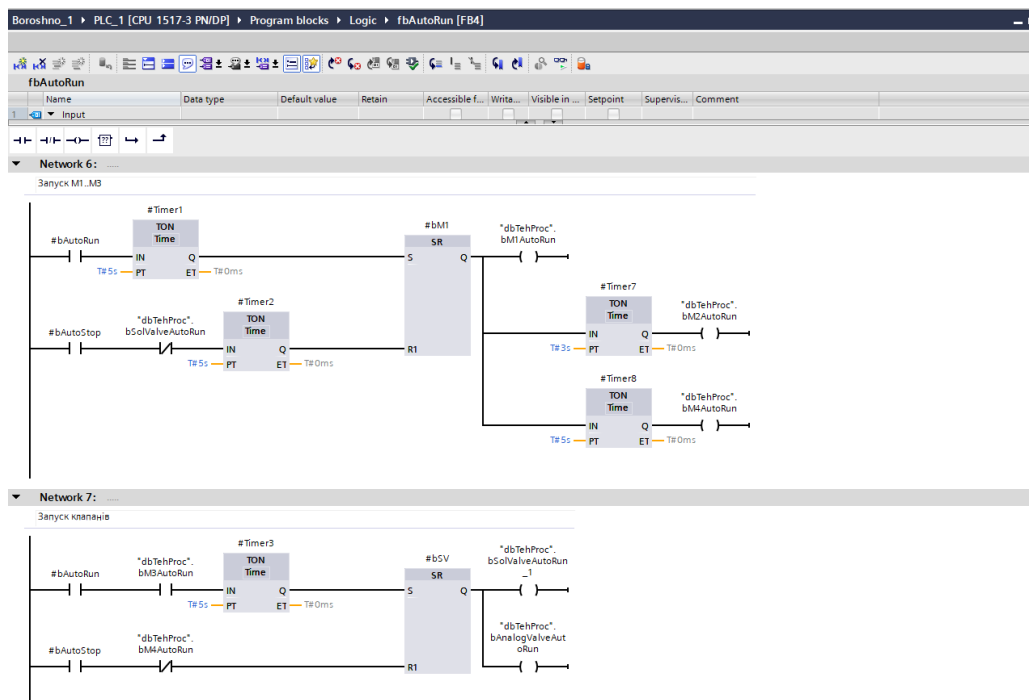


Рис. 6.15 Фрагмент підпрограми fbAutoRun.

Завершують підпрограму строки із визначенням режиму роботи «ручний-автоматичний» ПД-регулятора (рис. 6.16).

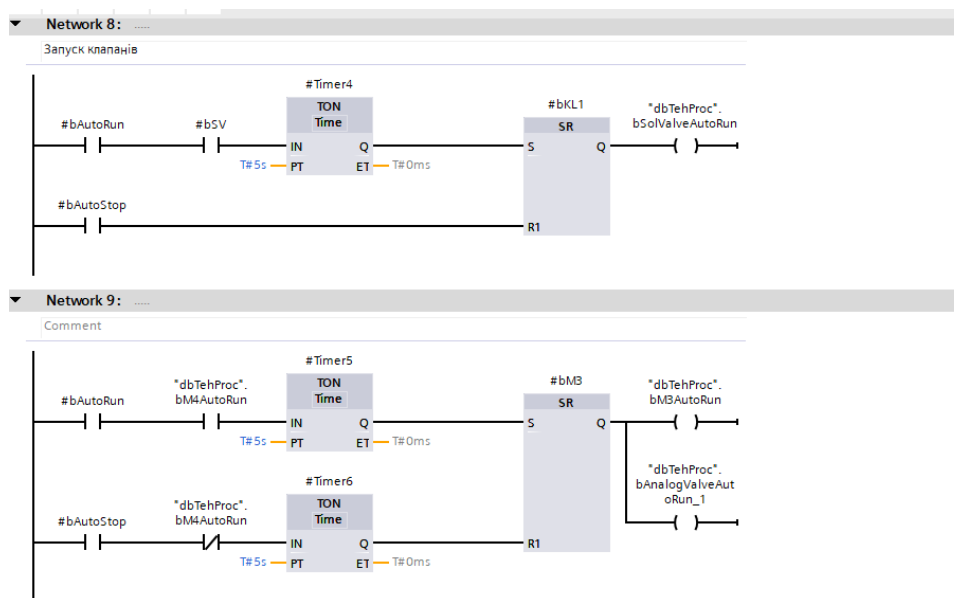


Рис. 6.16 Фрагмент підпрограми fbAutoRun.

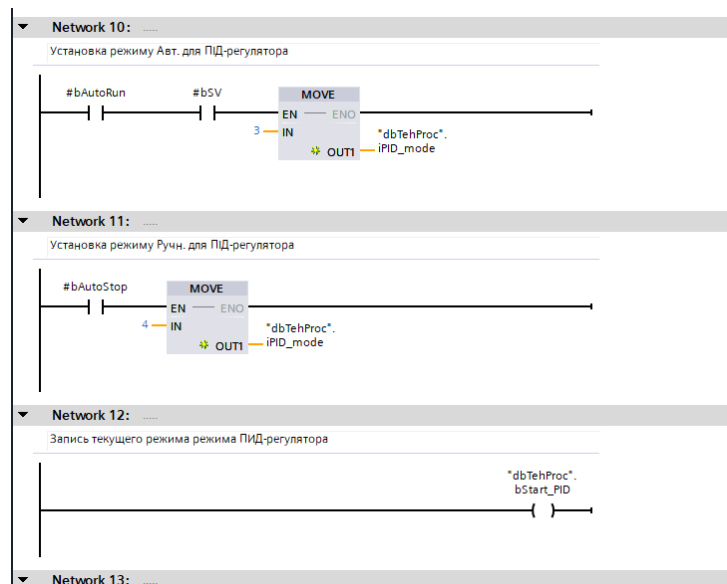


Рис. 6.17 Фрагмент підпрограми fbAutoRun.

Виклик на виконання підпрограм fbProc та fbAutoRun здійснюється в підпрограмі Master (рис. 6.18), яка в свою чергу викликається на виконання в головній програмі Main (OB1).

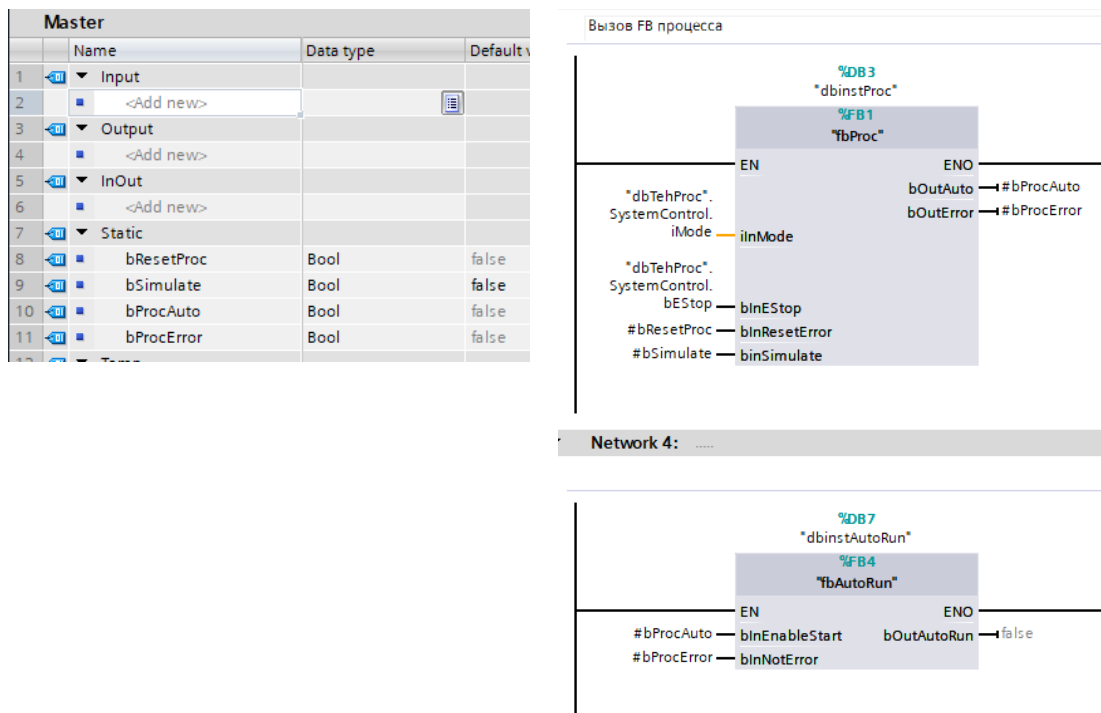


Рис. 6.18 Інтерфейс та текст підпрограми Master.

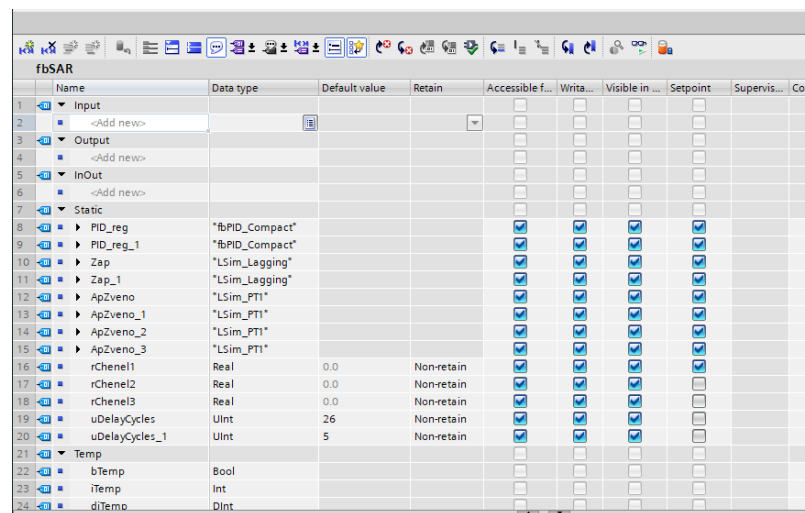
Циклічне виконання цих підпрограм забезпечує опит стану обладнання, його автоматичний пуск і зупинку.

6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання

Алгоритми регулювання тиску повітря та розрідження були розроблені і протестовані в розділах 1..3, де були визначені параметри моделі об'єкту керування і параметри ПІД-регуляторів.

В середовищі TIA Portal модель САР тиску повітря та розрідження реалізована у функціональному блоці FB SAR, розрахунок якого виконується кожну 0,1 сек в організаційному блоці Cyclic interrupt (OB30). Необхідність використання саме організаційного блока OB30 зумовлена вимогою до точного визначення кроку квантування при розрахунках керуючого впливу.

Модель САР запрограмована з використанням функціональних блоків типового регулятора fbPID_Compact та типових динамічних ланок з бібліотеки LSim (FB LSim_Lagging і FB LSim_PT1), що формують модель ОК. Інтерфейс підпрограми САР представлений на рис. 6.19, в якому вказані змінні підпрограми та їх типи.



	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Supervis...	Com
1	Input									
2	<Add new>									
3	Output									
4	<Add new>									
5	InOut									
6	<Add new>									
7	Static									
8	PID_reg	"fbPID_Compact"			☒	☒	☒	☒	☒	
9	PID_reg_1	"fbPID_Compact"			☒	☒	☒	☒	☒	
10	Zap	"LSim_Lagging"			☒	☒	☒	☒	☒	
11	Zap_1	"LSim_Lagging"			☒	☒	☒	☒	☒	
12	ApZveno	"LSim_PT1"			☒	☒	☒	☒	☒	
13	ApZveno_1	"LSim_PT1"			☒	☒	☒	☒	☒	
14	ApZveno_2	"LSim_PT1"			☒	☒	☒	☒	☒	
15	ApZveno_3	"LSim_PT1"			☒	☒	☒	☒	☒	
16	rChene1	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☒	☒	
17	rChene2	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☒	☒	
18	rChene3	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☒	☒	
19	uDelayCycles	UInt	26	Non-retain	☒	☒	☒	☒	☒	
20	uDelayCycles_1	UInt	5	Non-retain	☒	☒	☒	☒	☒	
21	Temp									
22	bTemp	Bool			☒	☒	☒	☒	☒	
23	iTemp	Int			☒	☒	☒	☒	☒	
24	diTemp	DInt			☒	☒	☒	☒	☒	

Рис. 6.19 Інтерфейс функціонального блоку fbSAR.

Перша строчка підпрограми fbSAR містить виклик функціональних блоків ПІД-регулятора fbPID_Compact, до входів/виходів яких підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors.

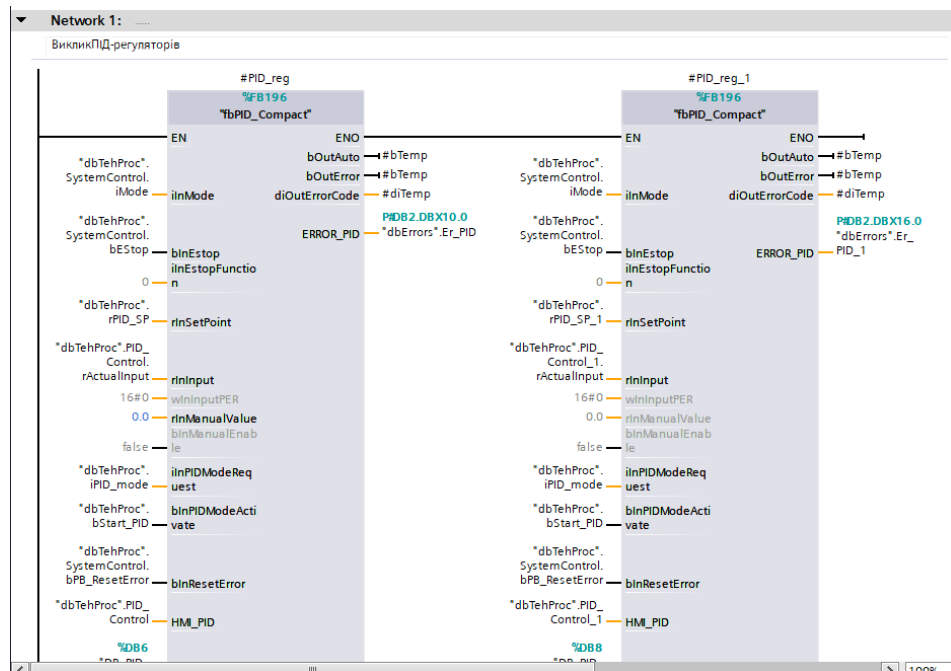


Рис. 6.20 – Фрагмент функціональних блоків fbSAR, що реалізує ПІД-регулятори тиску повітря та розрідження.

Налаштування параметрів ПІД-регуляторів проводимо через їх блоки даних, що знаходяться в розділі Technology objects в дереві каталогу проекту.

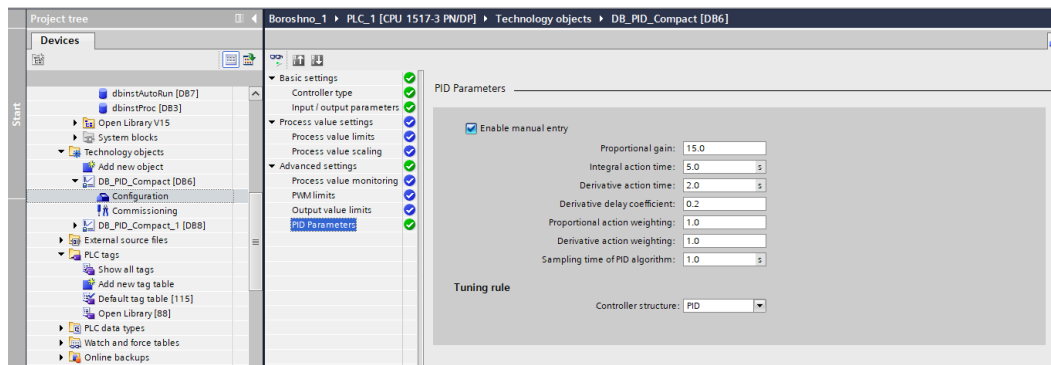


Рис. 6.21 Приклад налаштування параметрів ПІД-регулятора тиску повітря в пневмосистемі.

Вихідні сигнали ПІД-регуляторів підключаються до входів функціональних блоків аналогових клапанів (див. рис. 6.22).

Далі за допомогою екземплярів типових ланок: запізнення LSim_Lagging та інерційної ланки першого порядку LSim_PT1, викликається

на виконання модель ОК (рис. 6.23). Параметри моделі відповідають значенням, отриманим при ідентифікації моделі ОК.

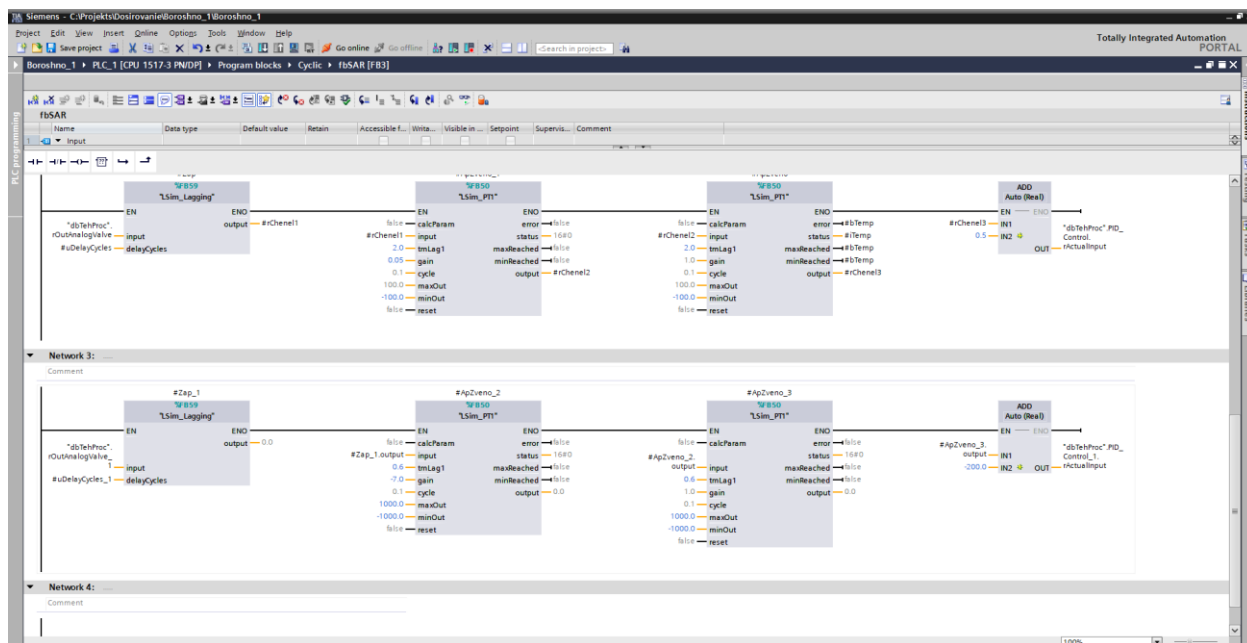


Рис. 6.22 Фрагмент функціонального блоку fbSAR, що реалізує модель ОК процесу перевантаження борошна пневмотранспортом

Тестування проекту проводиться в режимі емуляції контролера з використанням програми S7 PLCSIM. На рисунку 6.23 представлений загальний вигляд вікна емулятора контролера з працюючою в ньому програмою.



Рис. 6.23 Вигляд вікна програми PLCSIM

Результати тестування підтвердили правильність роботи програми, відповідно до вимог алгоритму керування.

6.4 Висновки за розділом

В результаті виконання даного розділу були отримано навички використання документації виробника контролерів Siemens. Виконано обґрунтований вибір необхідних модулів контролерів і ПЗО сімейства S7-1500. Виконано параметризацію технічних засобів контролера та промислової мережі, що забезпечує коректну взаємодію всіх елементів системи автоматизації. Обґрунтовано вибір основних налаштувань програмованого логічного контролера, інтерфейсів зв'язку та мережевих параметрів, які гарантують стабільну та надійну передачу даних між рівнями системи керування.

Отримано практичний досвід програмного конфігурування контролерів сімейства S7-1500 в середовищі TIA Portal та розробки програм логічного керування та регулювання для процесу перевантаження борошна пневмотранспортом. Також розроблено та реалізовано алгоритми логічного керування і регулювання автоматизованої системи керування (САК). Програмна частина системи побудована з урахуванням вимог до швидкодії, точності та відмовостійкості, що дозволяє забезпечити ефективне функціонування технологічного процесу в різних режимах роботи. Отримані результати дозволяють забезпечити узгоджену роботу апаратної та програмної частин системи, підвищують надійність керування та створюють основу для подальшої модернізації та розширення функціональних можливостей САК.

РОЗДІЛ 7. РОЗРОБКА SCADA ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГА І НАЛАДЧИКА САК

7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панеллю оператора, її конфігурування

Для організації зв'язку вибираємо тип сполучення «HMI connection» та встановлюємо унікальні адреси технічних засобів в мережі PROFINET. Результати конфігурування наведено на рис. 7.1.

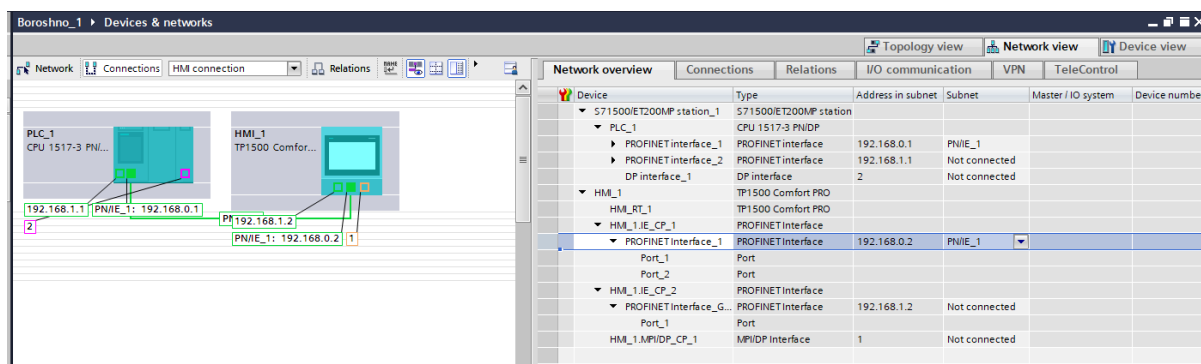


Рис. 7.1 Встановлення IP-адрес технічних засобів проекту та типу їх сполучення в мережі

Конфігурування панелі оператора TP 1900 Comfort виконуємо в розділі Runtime settings дерева каталогу проекту.

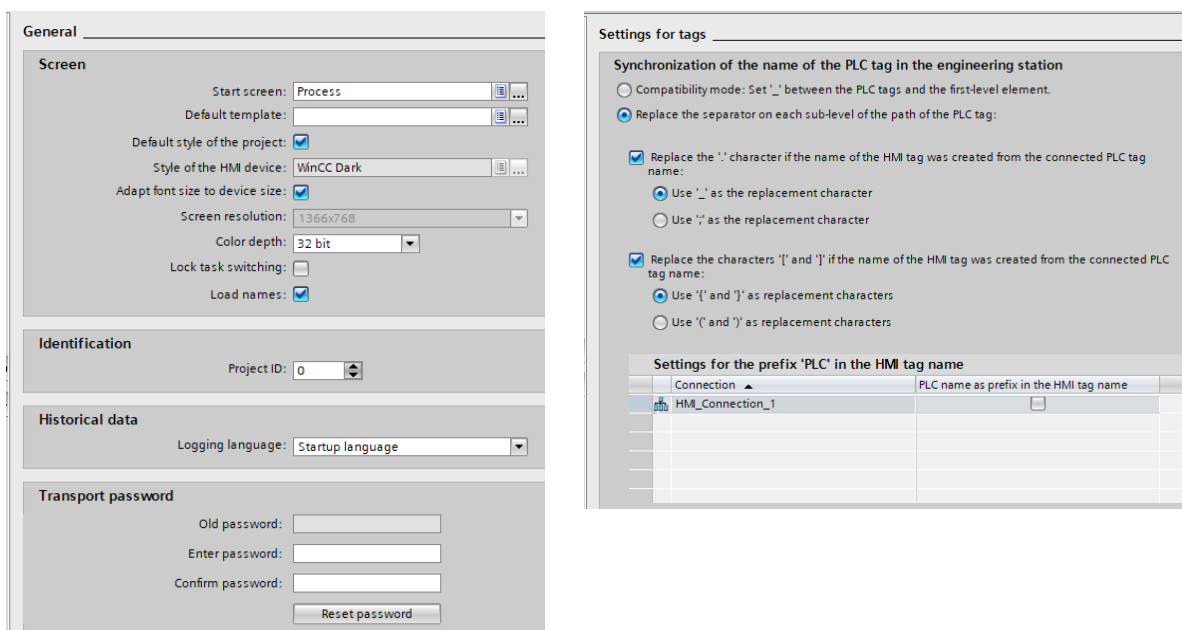


Рис. 7.2 Конфігурування TP 1900 Comfort

Щоб пов'язати між собою теги ПЛС та НМІ, створюємо таблицю НМІ-тегів Default tag table, куди за допомогою миші перетаскуємо складові блоку даних ПЛК dbTechProc.

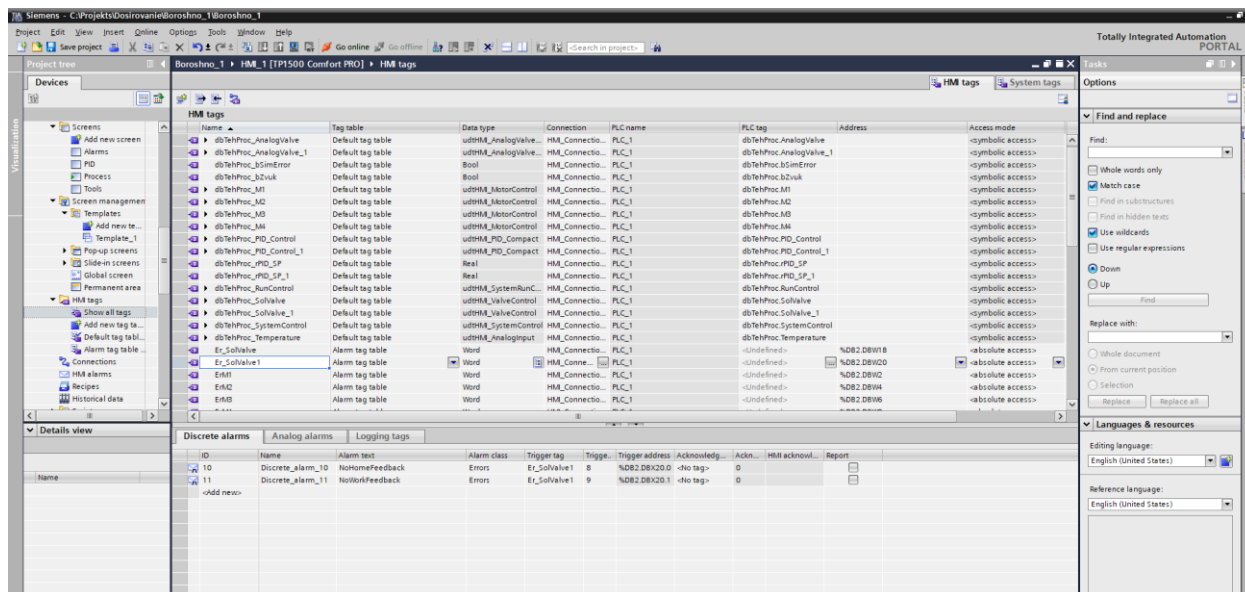


Рис. 7.3 Приклад створення таблиці НМІ-тегів

В подальшому завдяки цьому взаємозв'язку зміни в змінних ПЛС будуть відображатися в елементах НМІ.

7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога.

Структура екранів АРМ оператора-технолога повинна містити в собі екрани для керування лінією перевантаження борошна:

екран схеми установки для управління технологічним процесом перевантаження борошна;

екран для спостереження за регульованими змінними (тиск та розрідження);

екран для відтворення діагностичних повідомлень про роботу технологічних агрегатів.

Функції екранів АРМ оператора-технолога:

екран схеми установки надає функції управління усіма клапанами та електродвигунами, як в автоматичному режимі, так і в ручному;

екран для спостерігання за регульованими змінними надає можливість спостерігати за графіками в реальному часі, змінювати задане значення та налаштування регуляторів тиску та розрідження;

екран для відтворення діагностичних повідомлень надає можливість бачити повідомлення про несправності, а також перегляду повідомлень, які зберігаються в архіві.

7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.

Шаблон екранів.

Шаблон екранів Template_1 створюється в розділі Screen Management дерева каталогу проекту в розділі НМІ. Графічні елементи розташовані у вікні шаблону будуть присутні на всіх екранах, які входять в проект.

Шаблон екранів включає заголовок екрану і меню перемикавання екранів АРМ. Він включає логотипи академії, елемент відображення поточної дати і часу, назву проекту, прізвище розробника проекту.

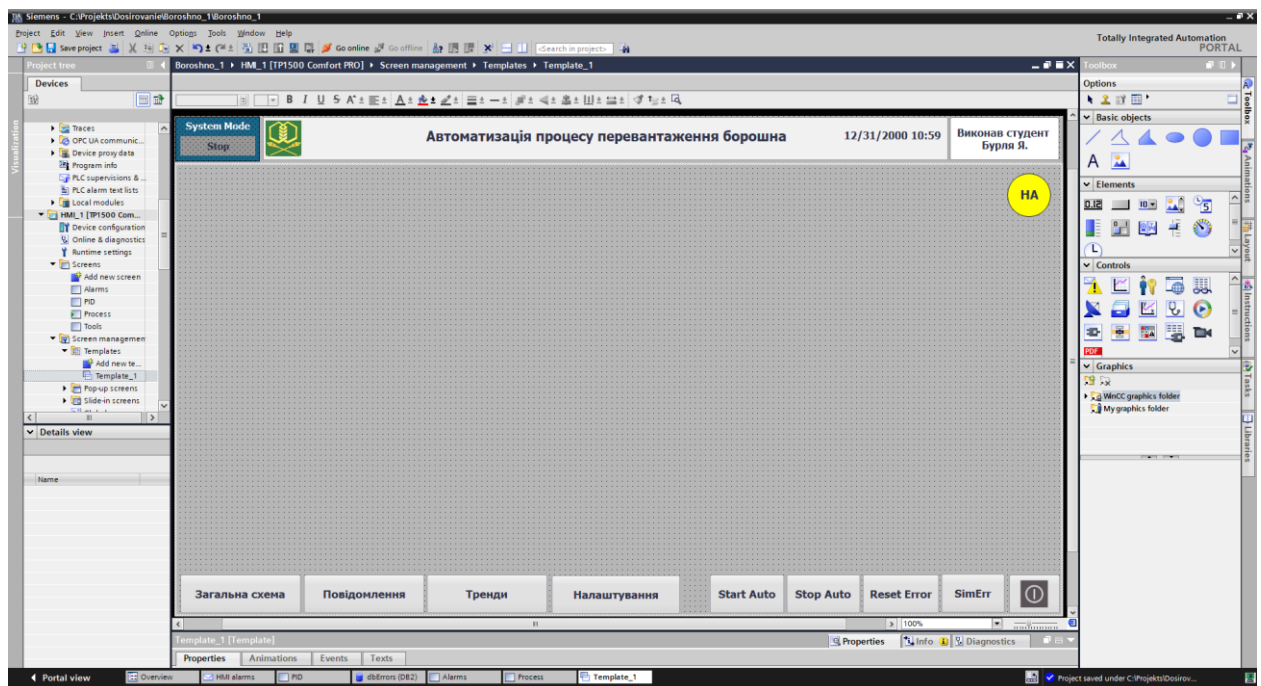


Рис. 7.4 – Загальний вигляд шаблону екранів

Меню переключення екранів складається з набору кнопок, що дозволяють виконувати перемикання між різними графічними вікнами. Для

перемикання вікон використовуються спеціальні системні функції «ActivateScreen» (рис. 7.5).

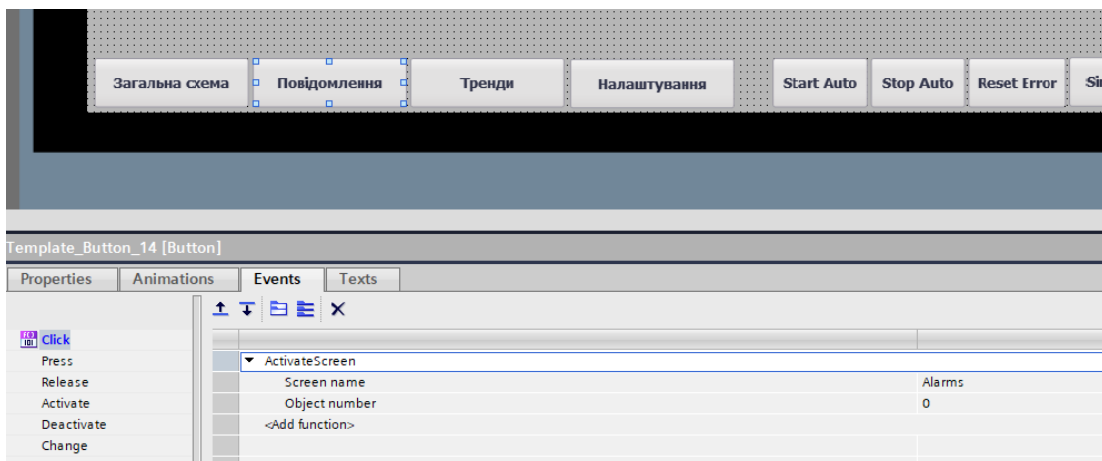


Рис. 7.5 – Приклад використання системної функції «Activate Screen» для перемикання екранів графічного інтерфейсу

Для кожної одиниці обладнання створюємо спливаючі вікна Pop-up screens і заповнюємо їх з відповідного розділу бібліотеки SOL.

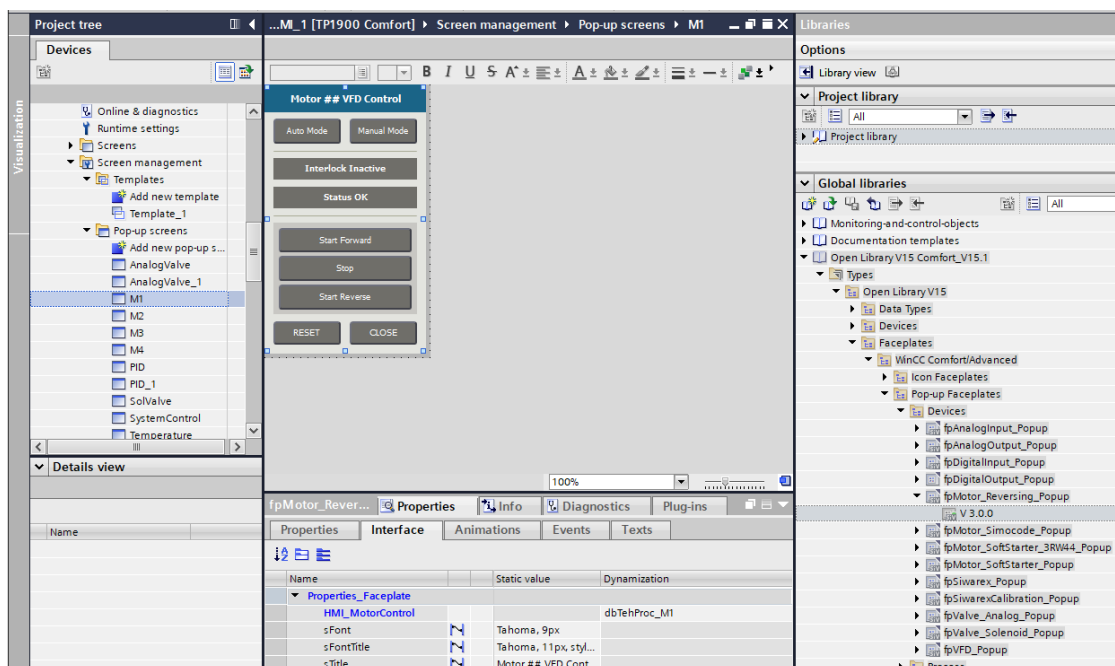


Рис. 7.6 Приклад створення спливаючих вікон для керування окремим обладнанням

У властивостях Properties кожного спливаючого вікна на вкладці Interface встановлюємо взаємозв'язок із тегом HMI, який буде забезпечувати

динамізацію зображення вікна та можливість керування оператором станом електроприводів та клапанів.

Основний екран «Загальна схема» містить схематичне зображення лінії перевантаження борошна з нанесеними на неї елементами відображення і керування. Зображення створено в графічному редакторі TIA Portal з використанням стандартних елементів графічної бібліотеки цього редактора. Встановлені на схемі графічні елементи відображення і керування дозволять оператору контролювати стан обладнання системи і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням системи.

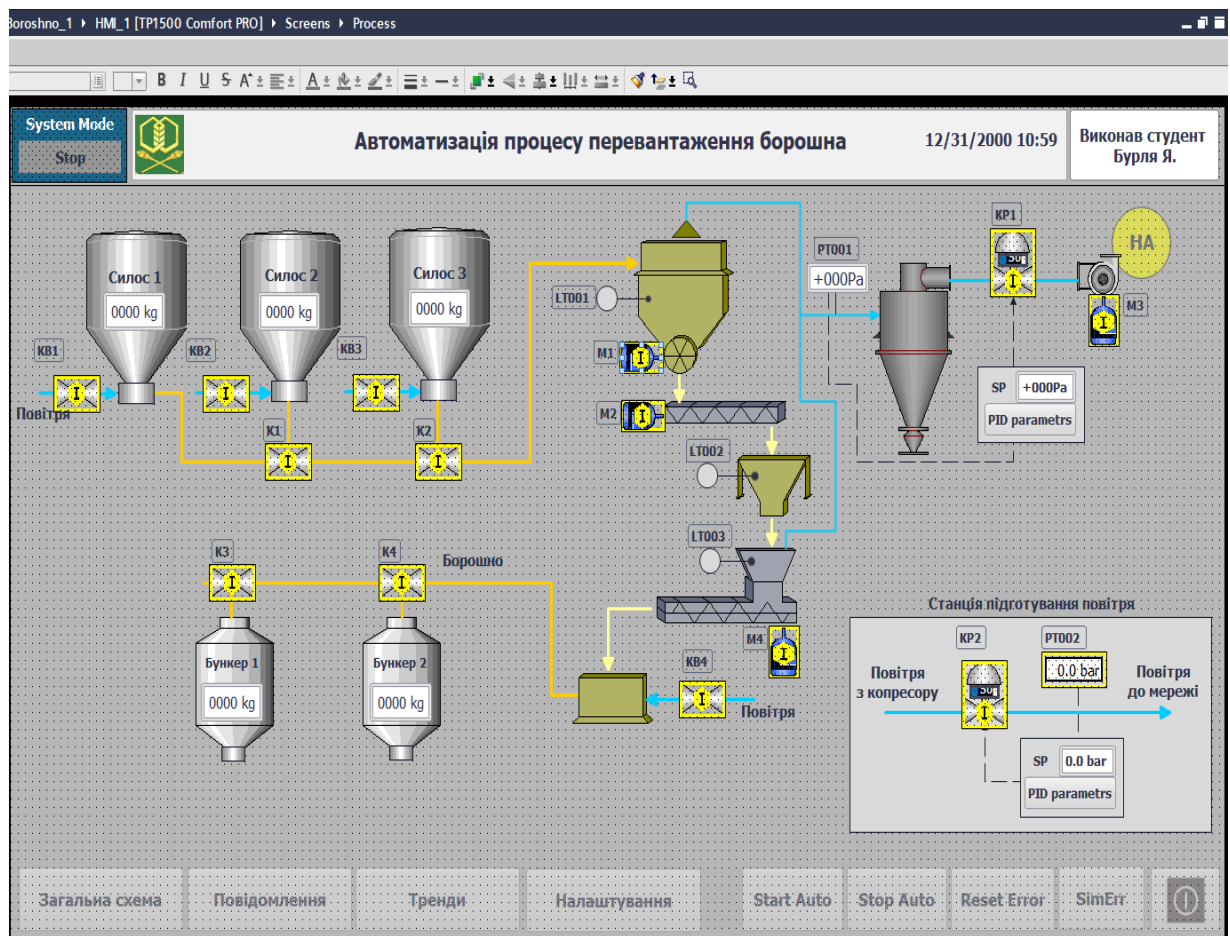


Рис. 7.7 Екран схеми установки

Для цього на проекцію екрану переносимо за допомогою миші з відповідного розділу бібліотеки SOL піктограми обладнання.

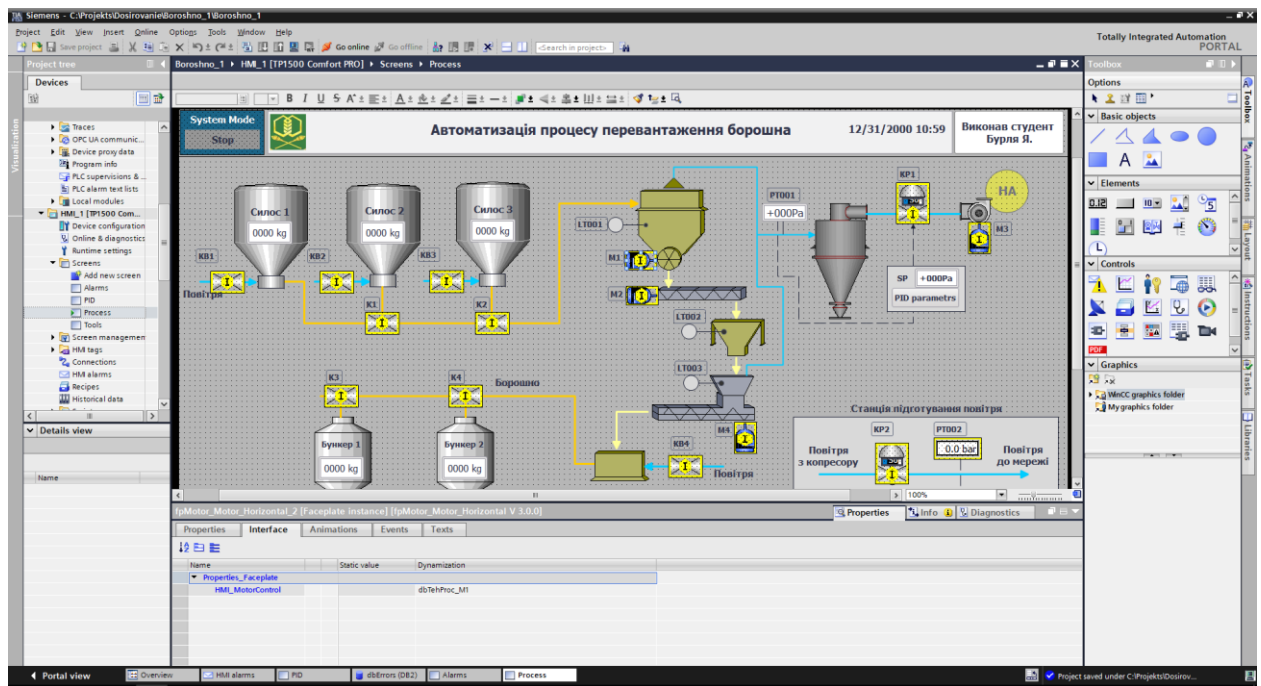


Рис. 7.8 Приклад налаштування піктограми електроприводу

Натискання на зображення піктограми забезпечить відкривання зображення відповідного спливаючого вікна конкретної одиниці обладнання, оскільки у властивості Events піктограми вписано виконання системної функції ShowPopupMenu.

Для реєстрації змін основних технологічних параметрів та налаштування параметрів ПІД-регуляторів в проекті передбачений екран PID (рис. 7.9).

Для побудови графіків зміни тиску повітря та розрідження використовується елемент Trend View із стандартної бібліотеки. Приклад його налаштування наведений на рис. 7.10.

Виклик спливаючого вікна налаштування параметрів ПІД-регулятора тиску або розрідження здійснюється натисканням відповідної кнопки на екрані.

Змінити задане значення контуру регулювання можна за допомогою вікна вводу/виводу.

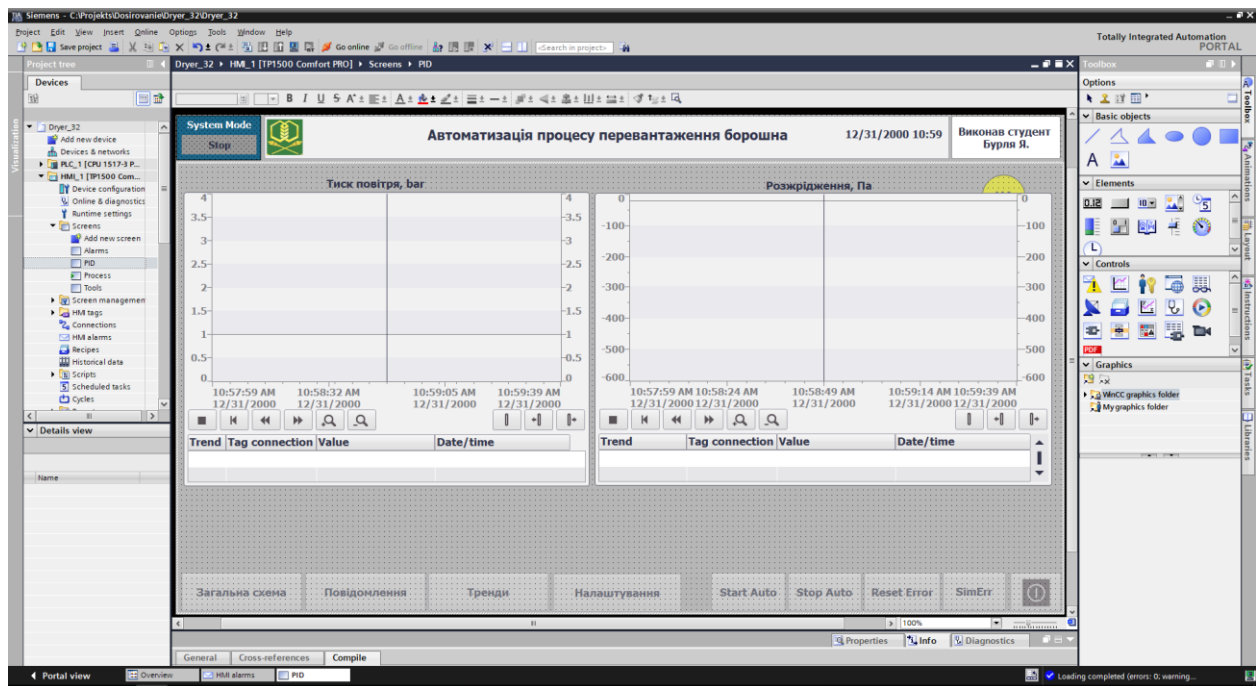


Рис. 7.9 Екран графіків

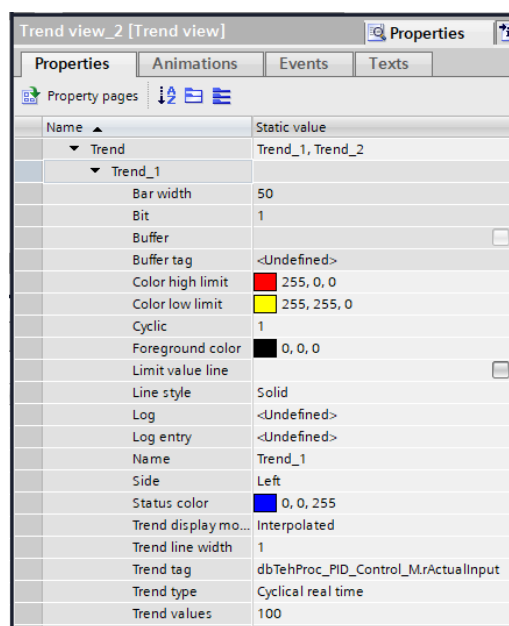


Рис. 7.10 Вікно налаштування елементу Trend

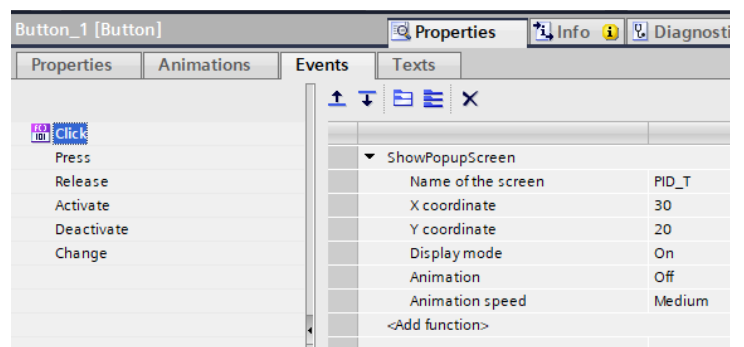
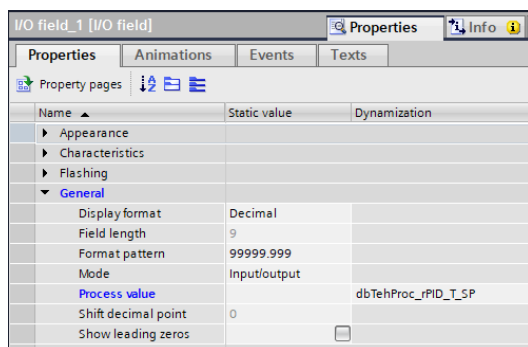


Рис. 7.11 Налаштування вікна вводу/виводу та кнопки

Для інформування оператора про стан технологічного процесу перевантаження борошна і виникнення подій (Alarm) з обладнанням лінії перевантаження борошна в проекті створена система повідомлень. Вона включає повідомлення від програми користувача і системні повідомлення ОС ПЛК. Повідомлення від програми, розділяються на дискретні і аналогові і належать класам «Warnings» (попередження) і «Errors» (помилки). Повідомлення класу «Errors» інформують про критичні або небезпечні робочі стани та заносяться в архів.

В програмі користувача в ПЛК функціональні блоки, які обслуговують одиницю обладнання, формують інформацію про події в 16-бітному слові (тип Word). Кожному виду несправності відповідає певний біт. Ці слова потім збираються в програмі ПЛК в окремий блок даних dbErrors.

Далі теги з цього блоку даних пов'язуємо з 16-бітними тегами HMI.

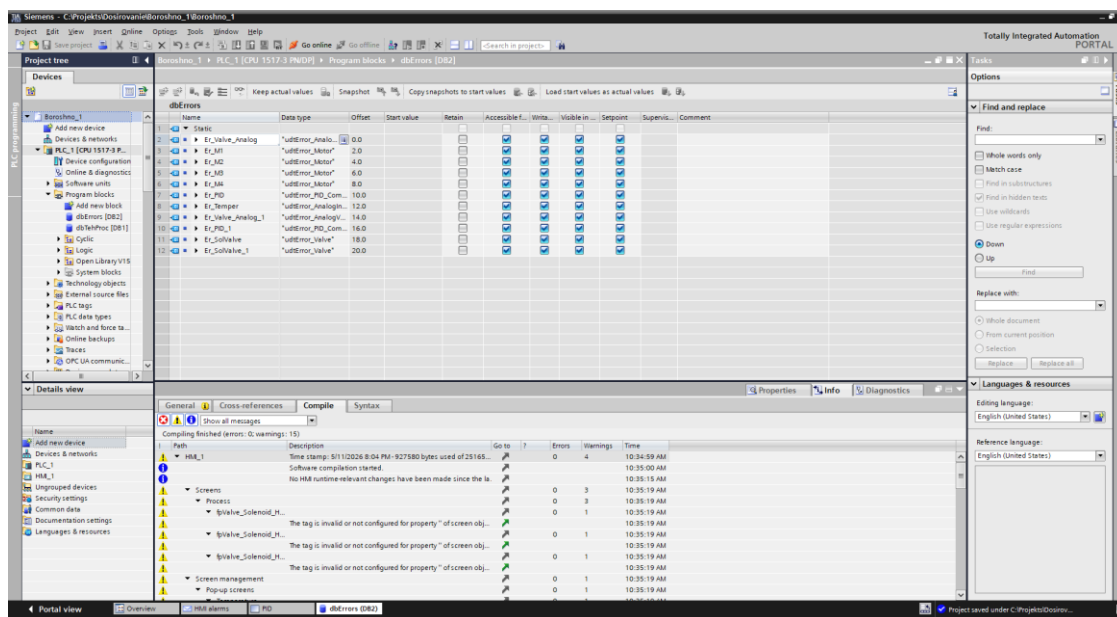


Рис. 7.12 Приклад привязки тегів dbErrors з HMI-тегами

Кожний біт HMI-тега з Alarm tag table сортуємо по типам та по класам Errors або Warnings (див. рис. 7.12). Кожному з цих бітів відповідає своє повідомлення (Alarm text).

Для відображення цих повідомлень для оператора створюємо екран Alarms.

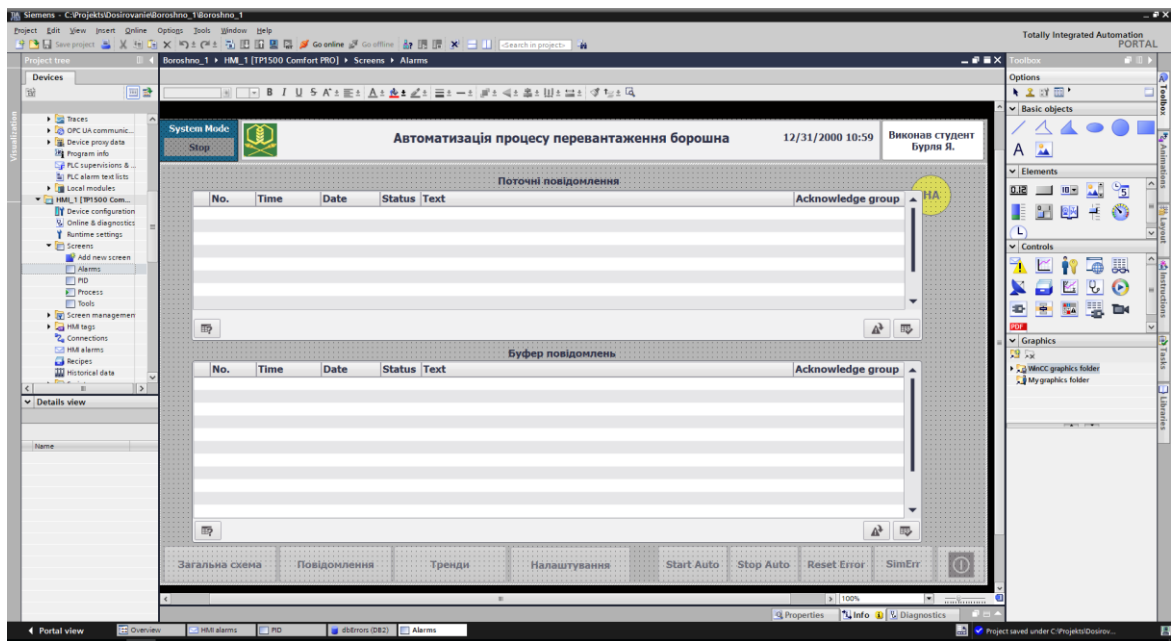


Рис. 7.13 Екран Alarms повідомлень про несправності

Вивід повідомлень на екран виконується за допомогою елемента «Alarm View», який може бути налаштований на виведення поточних активних повідомлень, вмісту буфера повідомлень, вмісту архіву повідомлень.

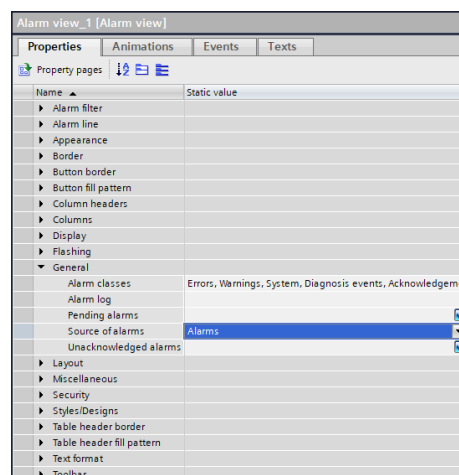


Рис. 7.14 Налаштування властивостей елемента Alarm View

При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів.

7.5 Тестування системи керування.

Тестування системи керування процесом перевантаження борошна пневмотранспортом проведемо в режимі емуляції контролера з

використанням програми S7-PLCSIM, в середовище якої завантажуюмо проект ПЛК після його компіляції.

Відображення екранів виконується в режимі симуляції в середовищі Win CC Runtime Advanced, куди після компіляції завантажуюмо проект HMI.

В залежності від вимог виробництва оператор лінії перевантаження борошна пневмотранспортом має змогу налаштувати систему на режими: стоп, ручний, автоматичний, індивідуальний.



Рис. 7.15 Схема установки в ручному режимі.



Рис. 7.16 Схема установки в автоматичному режимі.

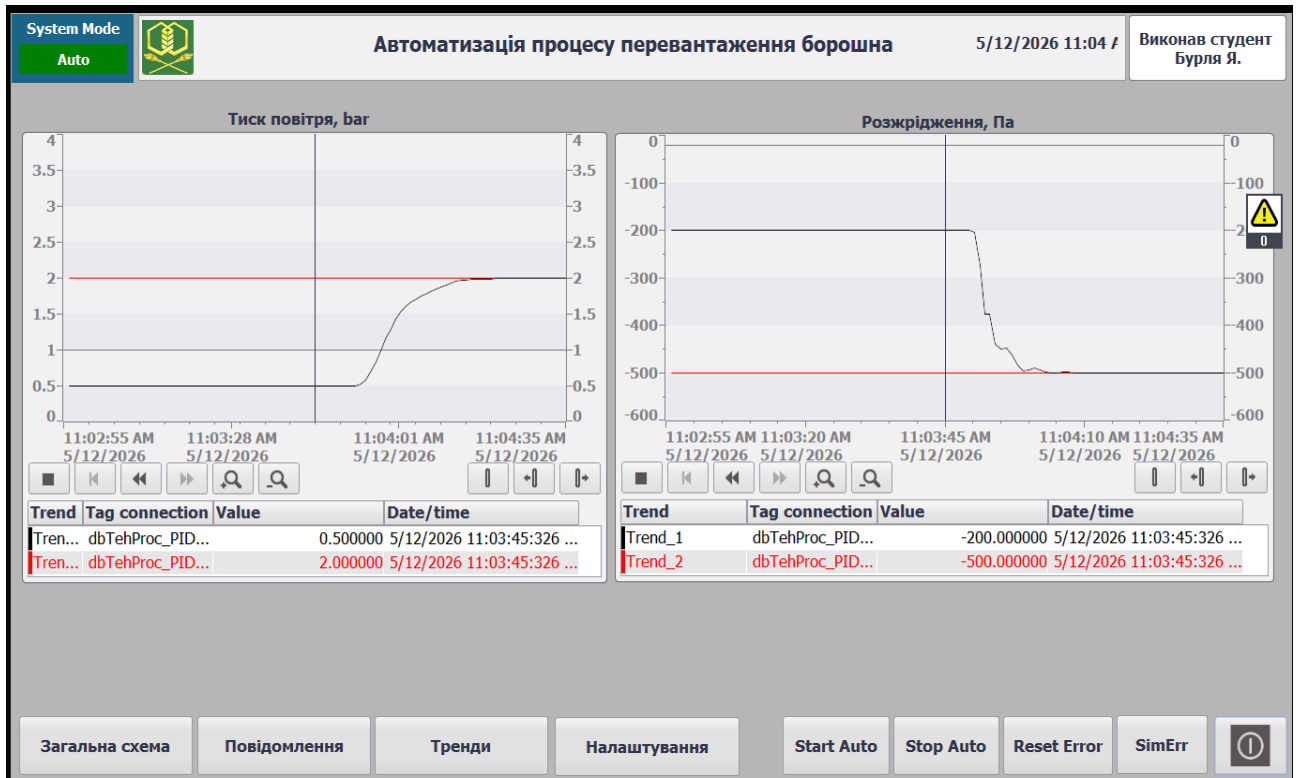


Рис. 7.17 Екран PID в тестовому режимі

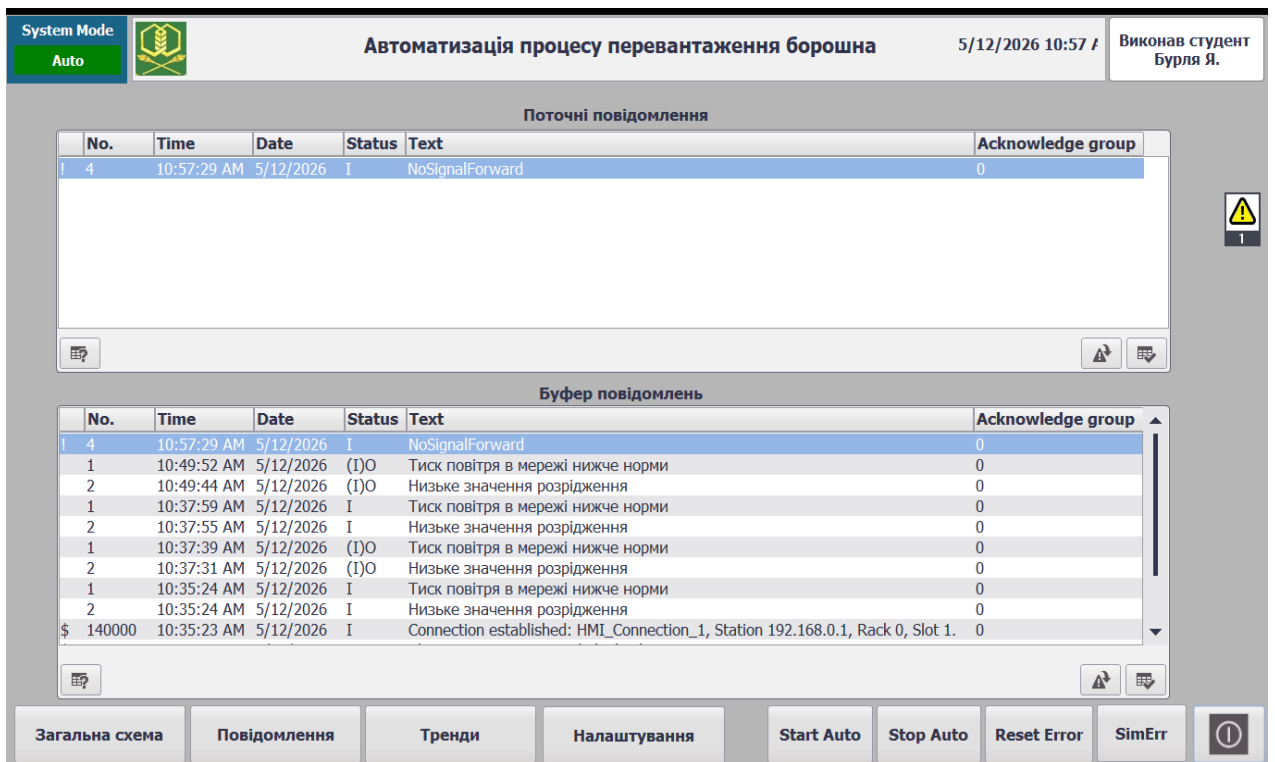


Рис. 7.18 ЕкранAlarms в тестовому режимі
при імітації несправності.

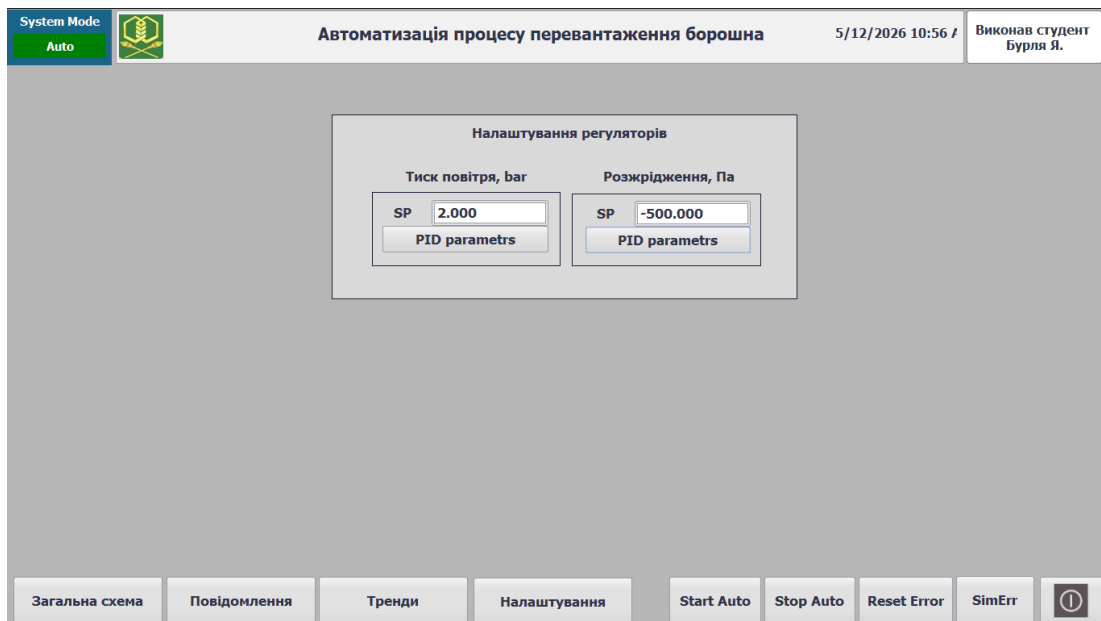


Рис. 7.19 Екран Налаштування в тестовому режимі.

Висновок: у цій частині роботи розроблений інтерфейс для SCADA системи керування лінією перевантаження борошна пневмотранспортом. Створені екран для відображення схеми лінії перевантаження борошна для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу (тиск повітря та розрідження) та налагодження САР, екран реєстрації подій в системі керування.

Тестування системи в цілому продемонструвало її роботоспроможність у всіх режимах роботи лінії перевантаження борошна пневмотранспортом.

8. РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ САК, ВКЛЮЧАЮЧИ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ

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

При проектуванні системи автоматичного керування пневмотранспортуванням муки слід розрахувати діаметр трубопроводу та пропускну здатність клапанів, щоб уникнути завалів продукту та зменшити можливості аеродинамічний шум.

Щоб покращити завадостійкість системи автоматичного керування (САК) пневмотранспортуванням муки, була запропонована наступна технічна структура, в якій розділена силова і інтелектуальна частини (рис. 8.1).

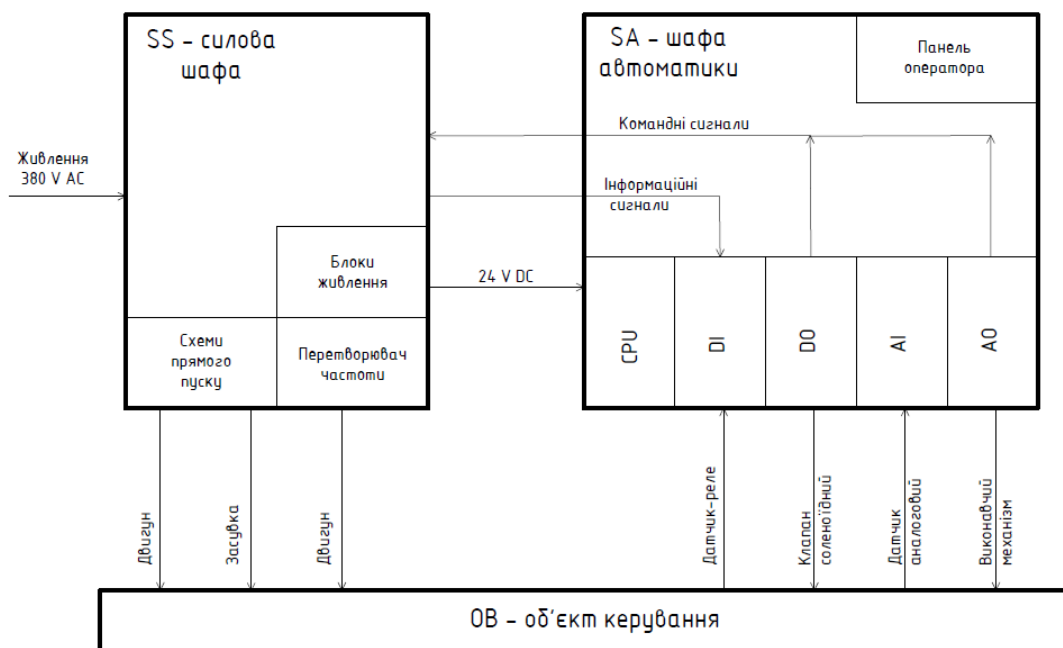


Рис. 8.1 Структура САК

В силовій шафі розміщені технічні засоби для керування електроприводами та блоки живлення. В шафі автоматики розміщені технічні засоби інтелектуальної частини САК. Таке технічне рішення дозволяє

зменшити вплив струмів, які протікають по силовим кабелям, на роботу ПЛК і панелі оператора.

За результатами вибору комплексу технічних засобів (розділ 5) і відповідно до складеної технічної структури системи керування розроблено комплект її проектної документації. Комплект включає наступні документи:

Графічні:

- 1 – схему автоматизації ділянки пневмо-транспортування;
- 2 – принципову електричну схему (ПЕС) керування електроприводу живильника;
- 3 – ПЕС живлення засобів автоматизації;
- 4 – схему зв'язків по мережі Profinet;
- 2 – ПЕС підключення до блоку дискретних входів ПЛК;
- 3 – ПЕС підключення до блоку дискретних виходів ПЛК;
- 4 – ПЕС підключення до блоку аналогових входів ПЛК;
- 5 – ПЕС підключення до блоку аналогових виходів ПЛК.

Елементи керування та живлення електроприводів встановлюються в силовій шафі на DIN-рейку 35 мм. В даному ескізному проекті ця шафа детально не розглядалась.

Шафа оператора знаходиться у спеціальному операторському пункті (ОП). На внутрішній площі шафи оператора встановлюють ПЛК та елементи живлення до нього, а на фасадній двері – панель оператора.

Центральний процесор CPU 1513, що реалізує основні функції контролю та регулювання, оснащений інтерфейсом PROFINET.

Всі модулі вводу/виводу серії SIMATIC S7-1500 та CPU монтуються на DIN-рейку 35 мм в шафі оператора. Вони використовуються для отримання інформації з датчиків безперервних і дискретних сигналів, а також для видачі керуючих сигналів на виконавчі механізми для підтримки регламентних значень регульованих змінних, а також передачі даних на панель оператора. CPU та модулі забезпечують виконання наступних основних функцій:

- прийом і дешифрацію команд по мережам PROFINET;

- введення, фільтрацію й нормалізацію аналогових сигналів входу – модуль AI 4xU/I (6A7 1531-7KF00-7AB0) та формування керуючих впливів на виході - та модуль AO 4xU/I/6ES7 (6AG 1532-5HD00-7AB0);

- опитування стану дискретних входів - модуль DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) та вивід із дискретних виходів сигналів керування - модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0).

Взаємодія контролера і панелі оператора здійснюється по мережі PROFINET. Для керування застосовується панель оператора TP1900 Comfort (6VA2 124 OUC02-0AX1), на якій встановлена система виконання SCADA WinCC Comfort, що призначена для оперативного контролю, сигналізації, реєстрації параметрів.

8.2 Розробка схеми автоматизації

Схема автоматизації технологічного процесу є основним документом, що визначає функціональну структуру, обсяг автоматизації й роз'ясняє процеси, що протікають у функціональних ланцюгах. Вона складена відповідно до сучасного стандарту - ДСТУ ISO 14617-6:2018 «Графічні умовні позначки для схем. Частина 6. Функції вимірювання та керування». Функції автоматичного регулювання й логіко-програмного керування, виконує ПЛК сумісно з панеллю оператора. Всі використані датчики входних сигналів обрані з уніфікованим вихідним сигналом струмовим (4...20mA DC). Вихідні аналогові сигнали напруги (0...10 V DC) сприймаються виконавчими механізмами.

Розглянемо перелік контурів контролю й керування, які наведені на схемі автоматизації по позиційним номерам контурів:

- 1 – 4 - керування та контроль стану електроприводів M1 – M4;
- 5, 6 – контроль і регулювання тиску повітря на вході в ділянку і на її виході;
- 7 - 10 – контроль рівня муки в силосі і бункері;

У контурах 1 – 4 керування приводами передбачені функції місцевого керування, які реалізуються за рахунок технічних засобів, що розміщені у силовій шафі, функції дистанційного керування з панелі оператора та функції автоматичного керування у часі по програмі в ПЛК.

У контурі 5 реалізована система контролю та регулювання тиску повітря на виході ділянки пневмотранспортування муки. Розглянемо дію цього контуру. Від датчика тиску з уніфікованим перетворювачем PY/5 пропорційний тиску сигнал струму 4...20 мА DC подається на регулятор PC/5, який формує керуючий вплив у вигляді 0...10 В DC, що подається виконавчий механізм заслінки PCV5. Регулятор програмно реалізований в ПЛК. В контурі передбачена функції ручного задатчика і індикації регульованої змінної HIC/5, які реалізовані в панелі оператора. Контур 6 працює аналогічно.

В контурах 7 -10 сигнали від датчиків-реле рівня LS/7 -LS/10 з уніфікованим виходом у вигляді напруги 0-24 В DC, подаються на ПЛК, що дозволяє сформувати функції індикації та сигналізації LIS/7 LIS/10 на панелі оператора.

У додатку А наведені схема автоматизації та перелік приладів та засобів, які використані в цій схемі.

8.3. Розробка принципової електричної схеми керуванням електроприводом

Дана ПЕС забезпечує місцеве і дистанційне керування. Всі компоненти схеми розміщуються в силовій шафі SS. Живлення електропривода M1 здійснюється від мережі типу TN через автомат захисту електродвигуна Q1, клеми контактора KM1, кабель W2 та вимикач OB-Q1.

Місьцеве керування електроживленням котушки контактора KM1 здійснюється від фази L1 завдяки використанню автоматичного вимикача Q2, кнопки Стоп S2 та кнопки Пуск S4. Перемикання в дистанційний режим здійснює перемикач S3. Керуючий сигнал від модуля DQ 16x24VDC/0.5A BA

(6ES7522-1BH10-0AA0) контролера формує проміжне реле K2, яке своїм контактом здійснює електроживлення котушки KM1.

Стани KM1, S3, K1 у вигляді сигналів 24 V DC подаються до дискретних входів модуля DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0).

8.4. Розробка принципової електричної схеми живлення

Дана схема забезпечує живлення модулів ПЛК і панелі оператора. Всі її компоненти розміщуються в силовій шафі SS. Живлення здійснюється від фази L1 через автоматичний вимикач Q4 та блок безперебійного живлення UPS. До його виходів через автоматичні вимикачі Q6, Q7 підключені два джерела живлення G1, G2 220 V AC/ 24 V DC, які забезпечують напругу живлення для модулів ПЛК і панелі оператора. Вихідні ланки G1, G2 захищені від режиму «короткого замикання» запобіжниками F2, F3.

Освітлення в шафі забезпечує лампа H2, яка отримує живлення від фази L1 через кнопку S7. В шафі передбачена розетка REC1, яка отримує живлення від фази L1 через диференційний вимикач Q5.

8.5. Розробка принципової схеми мережевих підключень

На даній схемі вказані кола живлення CPU ПЛК 24 V DC від схеми живлення через вимикач з запобіжником F1 та панелі оператора через вимикач з запобіжником F3. Пунктирними лініями показані мережеві зв'язки між ПЛК, панеллю і комп'ютером програмування.

8.6. Розробка принципових електричних схем підключення до модулів ПЛК

До дискретних входів модуля DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) по кабелях W 4, 5, що підключаються до клем SA-X1, подаються сигнали 0 або 24 V DC, які характеризують поточний стан апаратури керування електроприводами M1, M2, що встановлена у силовій шафі і забезпечує локальне (місцеве) керування. Оскільки підключення електроприводів M3, M4 аналогічне, то воно на схемі не показане.

По кабелям W1, W3, W6, W8, що підключається до клем SA-X1, передаються сигнали від датчиків-реле рівня LS/7 – LS/10.

На дискретних виходах модуля DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) формуються сигнали 0 або 24 V DC, які по кабелям W4, 5, 9, 12 що підключаються до клем SA-X1, передаються у силову шафу в схему керування електроприводами M1 – M4.

Модуль аналогових входів AI 4xU/I (6A7 1531-7KF00-7AB0) розміщується на на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора. До його аналогових входів за допомогою екранованих кабелів W10, 11, що під'єднуються до клем SA-X1, підключаються датчики тиску з уніфікованим виходом 4...20 mA DC PY5, PY6.

Модуль аналогових виходів AO 4xU/I/6ES7 (6AG 1532-5HD00-7AB0) розміщується на на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора. Аналогові виходи цього модуля формують сигнали 0...10 V DC, які за допомогою кабелів W24, 25, що підключаються до клем SA-X1, передають сигнали керування на виконавчі механізми PCV5, PCV6.

У додатку Б наведені ПЕС підключення до модулів ПЛК та перелік приладів, що в них використані.

8.7 Охорона праці при монтажі, налагодженні та експлуатації САК пневмотранспортуванням борошна

Даний розділ розроблено з урахуванням специфіки технологічного процесу пневмотранспортування борошна, що характеризується високим рівнем запиленості, ризиком виникнення вибухонебезпечних пилоповітряних сумішей та накопиченням статичної електрики.

8.7.1 Загальні положення

Безпека праці при створенні та експлуатації систем автоматичного керування (САК) пневмотранспортуванням борошна повинна відповідати вимогам:

- Закону України «Про охорону праці» ;
- НПАОП 0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» ;

- НПАОП 0.00-1.32-01 «Правила техніки безпеки під час експлуатації електроустановок»;
- ДБН В.2.5-23:2010 «Електрообладнання будівель і споруд» ;
- ДСТУ EN 60204-1:2018 «Безпечність машин. Електрообладнання машин» ;
- ДСТУ EN 60079 «Вибухонебезпечні середовища»;
- ПУЕ (Правила улаштування електроустановок) .

Цей розділ також поширюється на шафи керування (ПЛК, ПЧ), польове обладнання (датчики тиску, рівня, шлюзові живильники, виконавчі механізми), кабельні мережі та системи живлення .

8.7.2 Вимоги до розміщення обладнання САК

Доступність та обслуговування

- Шафи керування повинні встановлюватися в приміщеннях з вільною доступністю для кваліфікованого персоналу. Ширина проходу повинна бути не менше 0,8 м, а перед самими щитами – не менше 1,0 м [cite: 15].
- Обладнання масою понад 30 кг слід монтувати на несучих конструкціях із передбаченням такелажних пристроїв [cite: 16].
- Для частотних перетворювачів та блоків живлення, що виділяють тепло, необхідно забезпечити примусову вентиляцію з фільтрацією повітря від борошняного пилу [cite: 17].

Захист від зовнішніх впливів та вибухобезпека

- Враховуючи високу концентрацію борошняного пилу, ступінь захисту оболонки шаф та клемних коробок повинен бути не нижче IP65.
- У зонах, класифікованих як вибухонебезпечні (класи В-II, В-IIa), електрообладнання (двигуни шнеків, датчики рівня, соленоїди) повинно мати відповідний рівень вибухозахисту (Ex d, Ex i або Ex t) згідно з ДСТУ EN 60079 .
- Максимальна температура поверхні обладнання не повинна перевищувати температуру самозаймання борошняного пилу .

8.7.3 Вимоги до електрообладнання та заземлення

- Захист від статичної електрики: Всі металеві частини системи пневмотранспорту (трубопроводи, бункери, циклони) та корпуси електрообладнання повинні бути надійно заземлені для запобігання іскрінню від статичної напруги .
- Для зниження завад у ланцюгах сигналізації ПЛК передбачається роздільне заземлення (силове та сигнальне) .
- Електродвигуни повітродувки повинні мати захист від короткого замикання, перевантаження та втрати фази .

8.7.4 Специфічні вимоги до алгоритмів безпеки

- Попереджувальна сигналізація: Перед автоматичним або дистанційним пуском компресорів чи живильників обов'язково передбачається звукова та світлова сигналізація тривалістю не менше 5 с .
- Аварійна зупинка: Біля кожного механізму встановлюється апарат аварійного відключення (червона кнопка-гриб) з фіксацією. Після її натискання пуск блокується до примусового повернення кнопки у вихідний стан .
- Блокування самозапуску: Після зникнення та відновлення напруги повторний пуск системи пневмотранспорту дозволяється лише після ручного підтвердження оператором .

8.7.5 Маркування та інструктаж

- На корпусах апаратів керування та на мнемосхемах SCADA-системи повинні бути чіткі індикатори стану (Включено/Вимкнено/Аварія) .
- Персонал, що обслуговує САК, повинен мати групу допуску з електробезпеки не нижче III до 1000 В та пройти спеціальний інструктаж щодо роботи на об'єктах з вибухонебезпечним органічним пилом .

Висновки за розділом

В ході виконання розділу було розроблено варіант комплекту технічної документації САК на базі контролера фірми Siemens SIMATIC S7-1500.

Розроблений комплект включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування ділянки пневмотранспортування муки. В результаті виконання отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням ПЛК та сучасних пристроїв автоматизації.

Також в рамках цього розділу роботи опрацьовано основні питання, пов'язані з охороною праці при експлуатації системи автоматичного керування процесом.

РОЗДІЛ 9. ПОПЕРЕДНЄ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕРНІЗОВАНОЇ САК

9.1. Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації

У даному розділі буде розглянуто поліпшення системи автоматизації на основі засобів фірми «Siemens». Дані засоби обрані з тієї причини, що вони забезпечують високу швидкість передачі даних, надійність в експлуатації та належне обслуговування. У даній дипломній роботі пропонується не впровадження нової системи автоматизації, а модернізація вже існуючої за рахунок включення допоміжного інформаційного каналу в системі керування.

Спочатку визначимо вартість комплексів засобів автоматизації, необхідних для модернізації системи керування.

Для визначення інвестиційних витрат, необхідних для впровадження розробленої системи, необхідно визначити вартість усіх додатних засобів автоматизації. У нашому випадку будуть враховуватися:

- вартість складових частин контролерів;
- вартість промислового комп'ютера;
- кабельна продукція.

Вартість виконавчих механізмів та первинних засобів вимірювання враховуватися не буде, тому що при розробці системи використовувався існуючий набір технічних засобів.

Кошторис витрат на придбання засобів автоматизації без ПДВ наведений в табл. 9.1.

Після зведення даних у таблицю 9.1 можливо визначити величини первинних інвестицій, необхідних для модернізації системи керування.

Спочатку визначимо вартість придбання засобів автоматизації з урахуванням ПДВ (Цпр) за формулою:

$$\text{Цпр} = \text{Цопт} \times (1 + \text{КПДВ}/100), \quad (9.1)$$

де КПДВ = 20 %

$$\text{Цпр} = 5150,00 \times (1 + 20/100) = 6180,00 \text{ грн.}$$

Таблиця 9.1 — Кошторис витрат на придбання засобів автоматизації

№ з/п	Найменування засобів автоматизації	Тип засобів автоматизації	Кількість, шт.	Ціна за 1 шт. без ПДВ, грн.	Сума без ПДВ, грн
1.	Датчик безконтактний Siemens. Клас допуску В. Діапазон виміру 0...180°.	3RG4014-0AG01	1	3460,00	3460,00
9.	Витрати на кабельну продукцію				800,00
2.	DIN-шина 480 мм		1	490,00	890,00
Вартість всього технічного рішення без ПДВ Ц _{опт}					5150,00

Визначимо величину стартових інвестицій (ІС), необхідних для модернізації системи автоматизації за формулою:

$$\text{ІС} = (\text{Цпр} + \text{Цпр} \times \text{Км} + \text{Цпр} \times \text{Нтр}/100 + \text{Цпр} \times \text{Нт}/100) + (\text{Цпр} + \text{Цпр} \times \text{Нтр}/100 + \text{Цпр} \times \text{Нт}/100) \times (\text{Нзс}/100), \quad (9.2)$$

де Км — коефіцієнт відрахувань на монтажні роботи, Км = 0,1;

Нтр — норматив відрахувань на транспортування, Нтр = 5 %;

Нт — норматив відрахувань на тару й упакування, Нт = 0,25 %;

Нзс — норматив відрахувань на заготівельно-складські роботи, Нзс = 1,2 %.

У формулі 9.2. винесемо Цпр за дужки n_f підставимо значення коефіцієнтів, тоді одержимо наступне:

$$\begin{aligned} IC &= ((1+0,1+0,0025+0,05)+(1+0,0025+0,05) \times 0,012) \times Цпр = \\ &= 1,165 \times Цпр \end{aligned} \quad (9.2)$$

Підставивши значення вартості придбання засобів автоматизації з урахуванням ПДВ у формулу 9.2 одержимо величину стартових інвестицій (IC):

$$IC = 1,165 \times 6180,00 = 7199,70 \text{ грн.}$$

9.2. Розрахунок показника економічного ефекту від модернізації системи керування

Для розрахунку економічного ефекту спочатку необхідно розрахувати зміни річних поточних витрат при експлуатації базової та модернізованої системи керування.

При аварійної зупинки якщо недотримуються регламентовані значення тиску у пневмотранспортної системи, повертається до силосу 140 кг борошна. Установка пневмотранспорту потребує 1980 м³ повітря на 1000 кг борошна. Таким чином можливо визначити затрати при зупинки установки за формулою:

$$Зп1 = (Омк / Омс) \times Нрп1 \times Цп = (140 / 10000) \times 2,98 \times 7315 = 305,2 \text{ грн.}$$

Де:

Омк – кількість борошна що повертається до силосу, Омк=140 кг,

Омс – витрата борошна за годину, Омс=10000кг,

N_{p1} – норма витрати повітря на 1000 кг борошна, $N_{p1}=2,98$,

C_p – вартість 1000 м³ стислого повітря, $C_p=7315,30$ грн.

Визначимо зміну затрат на зупинки з поверненням борошна до силосу за рахунок запровадження САР підвищеною динамічною точністю за формулою:

$$\Delta Z_{пр} = ((Z_{п1} + O_{мк} \times 0,2) \times A_p) \times (1 - (D_k / D_p)) = ((305,2 + 140 \times 0,2) \times 21) \times (1 - 0,75) = 1455 \text{ грн.}$$

де:

A_p – кількість зупинок за рік, $A_p=21$;

D_p – максимальне динамічне відхилення САР базової структури;

D_k – максимальне динамічне відхилення САР підвищеної динамічної якості;

Визначимо зміну затрат на витрату повітря (ΔZ_p) при штатному режиму функціонування установки по перевантаженню борошна за рахунок запровадження САР підвищеною динамічною точністю за формулою:

$$\Delta Z_p = Z_p \times \Delta M \times E_p / \Delta M_{еп} ,$$

де E_p – економія при підвищенні динамічної точності значення тиску на 0,01 МПа, $E_p = 0,03$ МПа;

$\Delta M_{еп}$ – величина зміни тиску повітря у пневмотранспортної системи, яка дає економію затрат на 1 %, $\Delta M_{еп} = 1$ %.

Визначимо зміну амортизаційних відрахувань ($\Delta Z_{ам}$) за рахунок запровадження САР за формулою:

$$\Delta Z_{ам} = IC \times H_a ,$$

IC – величина стартових інвестицій.

де H_a — норма амортизації, $H_a = 0,5$.

$$\Delta Z_{am} = 5150,00 \times 0,5 = 2575,0 \text{ грн.}$$

Визначимо зміну повної собівартості (ΔC_p) за рахунок запровадження САР за формулою:

$$\Delta C_{p1} = -(\Delta Z_p + \Delta Z_{pr}) + \Delta Z_{am},$$

$$\Delta C_{p1} = -(4325 + 1455) + 2575,0 = -3205 \text{ грн.}$$

Даліє розрахуємо додатковий прибуток за рахунок збільшення продуктивності;

Визначимо приріст прибутку підприємства (ΔP) за рахунок запровадження САР за формулою:

$$\Delta P = -\Delta C_p,$$

$$\Delta P = 205 \text{ грн.}$$

Приріст чистого прибутку ($\Delta \text{ЧП}$) визначається за формулою:

$$\Delta \text{ЧП} = (\Delta P - \Delta Z_{am1}) \times (1 - H_p),$$

де H_p — податок на прибуток, $H_p = 0,18$.

$$\Delta \text{ЧП} = (3205 - 2575,0) \times (1 - 0,18) = 516,6 \text{ грн.}$$

На кінцевому випадку розраховуємо економічний ефект від модернізації системи керування.

Чистий грошовий потік (ЧГП), який генерується за рахунок запровадження САР, визначається за формулою:

$$\text{ЧГП} = \Delta \text{ЧП} + \Delta Z_{am},$$

$$\text{ЧГП} = 516,6 + 2575,0 = 3091,6 \text{ грн.}$$

Термін окупності інвестицій (Тіс) в запровадження САР визначається за формулою:

$$Tic = IC / \Delta ЧП \quad (9.11)$$

$$Tic = 5150,00 / 3091,6 = 1,66$$

тобто приблизно за 1,5 роки переробки продукту.

Оцінка показників інвестиційної привабливості модернізації системи автоматизації установки по зберігання та перевантаження борошна показала, що у випадку системи автоматизації, заснованої на контролері фірми «Siemens», чистий грошовий потік підприємства за рік складе 3091,6 гривень, засоби автоматизації окупляться за 2 року.

Висновок за розділом

Пропонована модернізація САУ установки по зберігання та перевантаженню борошна, із застосуванням теоретичних розробок дійсного дослідження є доцільна, тому що строк окупності інвестицій становить трохи більше півтора року, а чистий дохід більше нуля.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі було виконано комплексне дослідження та проєктування системи автоматизованого керування технологічним процесом перевантаження борошна до виробничих бункерів. На основі аналізу існуючої технологічної ділянки визначено рівень автоматизації, виявлено недоліки та обґрунтовано потребу в модернізації САК за для підвищення економічної ефективності та надійності керування.

Розроблено концептуальну модель об'єкта управління, проведено структурну та параметричну ідентифікацію математичних моделей, а також реалізовано їх у середовищі імітаційного моделювання для перевірки адекватності. Виконано параметричний та структурний синтез системи автоматичного регулювання, порівняно різні варіанти САР та обрано оптимальний за динамічними і якісними показниками.

Визначено алгоритми логічного керування технологічними режимами: пуск, зупинка, аварійне відключення, з урахуванням технічних регламентів. Проведено обґрунтований вибір технічних засобів збору даних і реалізації керуючих дій, розроблено структуру контролерно-комп'ютерної мережі. Реалізовано параметризацію обладнання та створено програмне забезпечення для логічного керування і регулювання.

Окрему увагу приділено створенню SCADA-системи для автоматизованого робочого місця технолога. Розроблено екрани візуалізації, організовано обмін даними між контролером і панеллю оператора, протестовано функціонування системи. Розроблений вигляд екрану налагодження системи регулювання.

Завершальним етапом стала підготовка фрагментів ескізної проєктної документації: схема автоматизації, електричні принципові схеми, документація щита керування та інтерфейсів оператора.

У результаті виконання роботи отримано комплексне рішення щодо модернізації системи автоматизації, яке підвищує ефективність, надійність і зручність керування технологічним процесом. Також, згідно з дослідженням, запропонована модернізація САУ установки по зберіганню та

перевантаженню борошна до виробничих бункерів є економічно доцільною, оскільки строк окупності інвестицій становить трохи більше півтора року, а чистий дохід — додатний.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 3008:2015 Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. Київ, ДП УкрНДНЦ, 2016. 31 с.
2. Хобін В. А. Конспект лекцій з курсу "Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів" [Електронний ресурс] : для студентів, які навчаються за спец. 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навчання / В. А. Хобін ; відп. за вип. В. А. Хобін ; Каф. автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем. — Одеса : ОНАХТ, 2016. — Електрон. текст. дан.: 96 с.
3. Хобін В.А., Світий І.М. Теорія автоматичного керування: Посібник до виконання комплексної курсової роботи. Одеська національна академія харчових технологій, 2020. – 277 с.
4. Муратов В. Г. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади [Текст] : навч. посіб./ В. Г. Муратов. — Вид. 2-ге, допов. — Київ : Освіта України, 2016. — 364 с.
5. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студ. напряму 6050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та за-очної форм навчання. — К.: НУХТ, 2011. — 68 с.
6. Автоматизація виробничих процесів [Текст] : підручник / І. В. Ельперін, О. М. Пупена, В. М. Сідлецький, С. М. Швед ; Нац. ун-т харч. технологій. — Вид. 2-ге, випр. — Київ : Ліра-К, 2017. — 378 с. — Бібліогр.:с. 376-377.
7. Трегуб Віктор Григорович Проектування систем автоматизації [Текст] : навч. посіб. / В. Г. Трегуб ; Нац. ун-т харч. технологій.

— Київ :Ліра-К, 2017. – 344 с. : табл., рис. – Бібліогр.: с. 341.

8. Муратов В.Г. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади. Навчальний посібник. Видання 2-е, доповнене. Київ. Освіта України. 2016. 362с.

9. Гармаш І.І. Автоматизація технологічних процесів у м'ясній промисловості. Київ. Техніка. 1985.

10. Муратов В.Г. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з курсу «Метрологія, технологічні вимірювання та прилади» для студентів проф. напрямку підготовки 6.050202 усіх форм навчання. Укладач В.Г. Муратов - Одеса. ОНТУ. 2022 - 22с.

11. Каталоги ЗВТ ТСПА <http://www.ao-tera.com.ua>

12. Каталоги ЗВТ АЛЬТЕРА <http://www.svaltera.ua>

13. Каталоги ЗВТ МІКРОЛ <http://www.microl.ua>

14. Каталоги ЗВТ ОВЕН <http://owen.ua>

15. Каталоги ЗВТ SIEMENS <http://www.siemens.com>

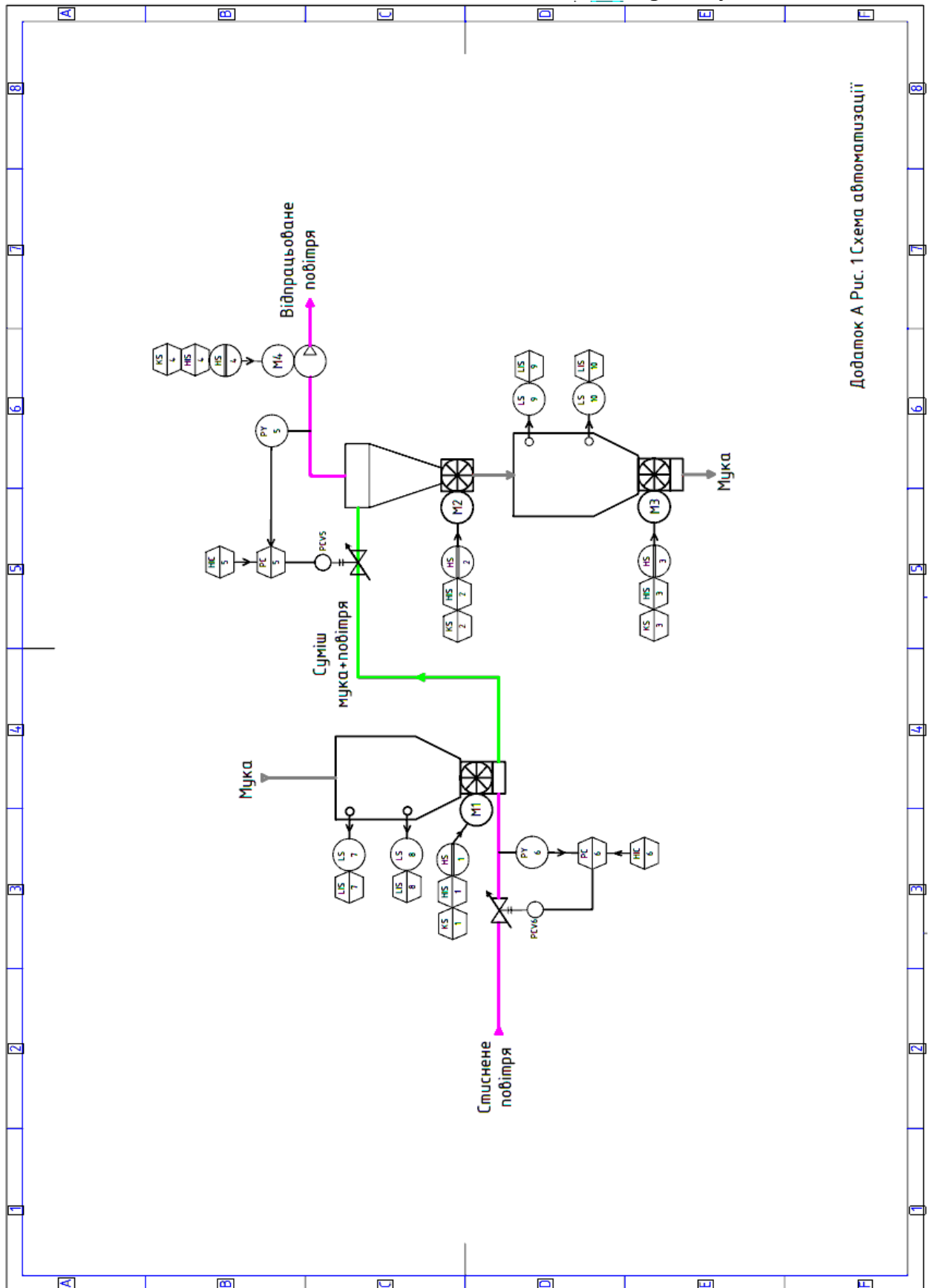
16. Каталоги ЗВТ <http://kraft-plus.com.ua>

17. Каталоги ЗВТ <http://www.electrokom.kiev.ua>

18. Каталоги ЗВТ <http://www.nivelco.com.ua>

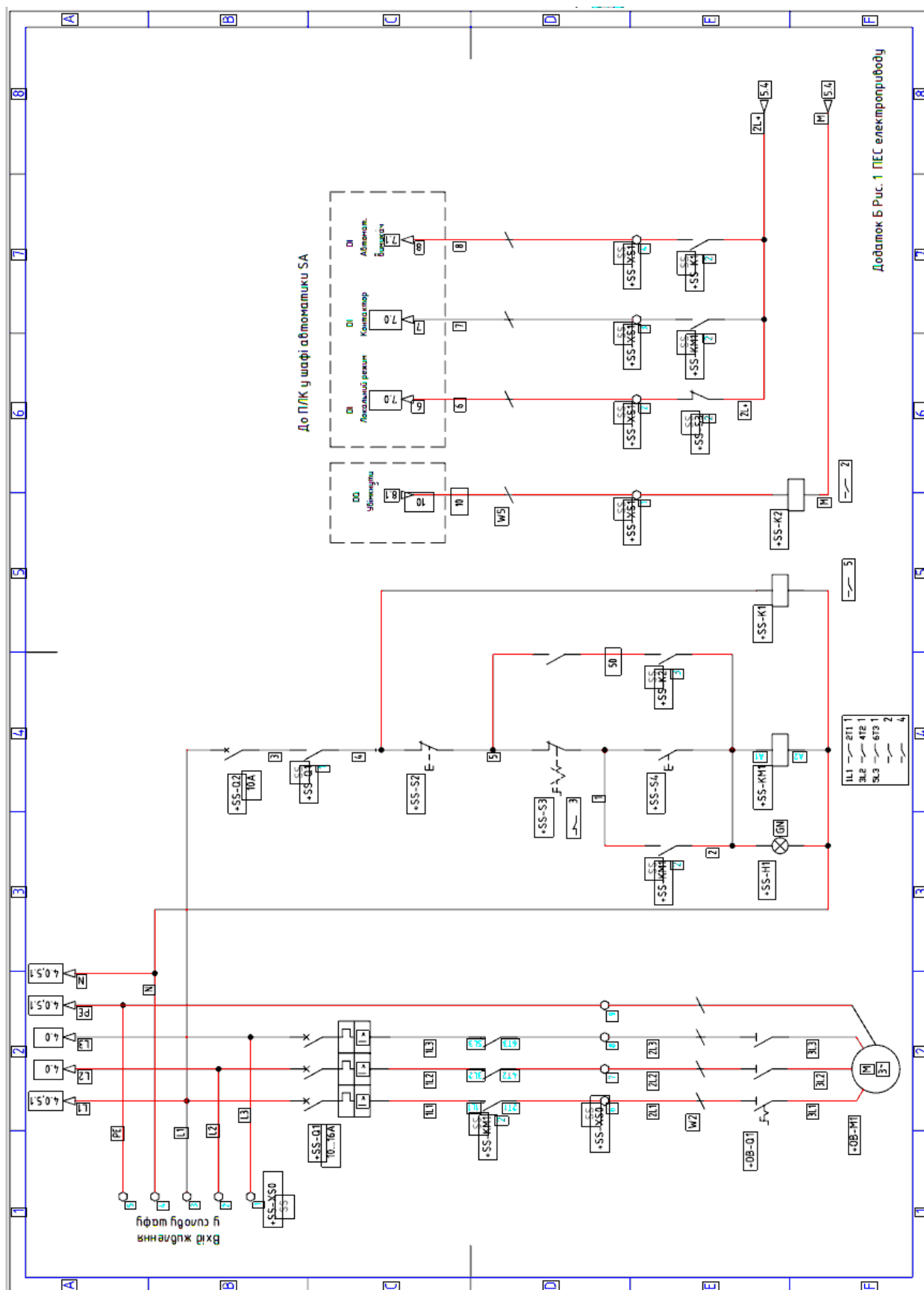
Додаток А

Схема автоматизації технологічного процесу



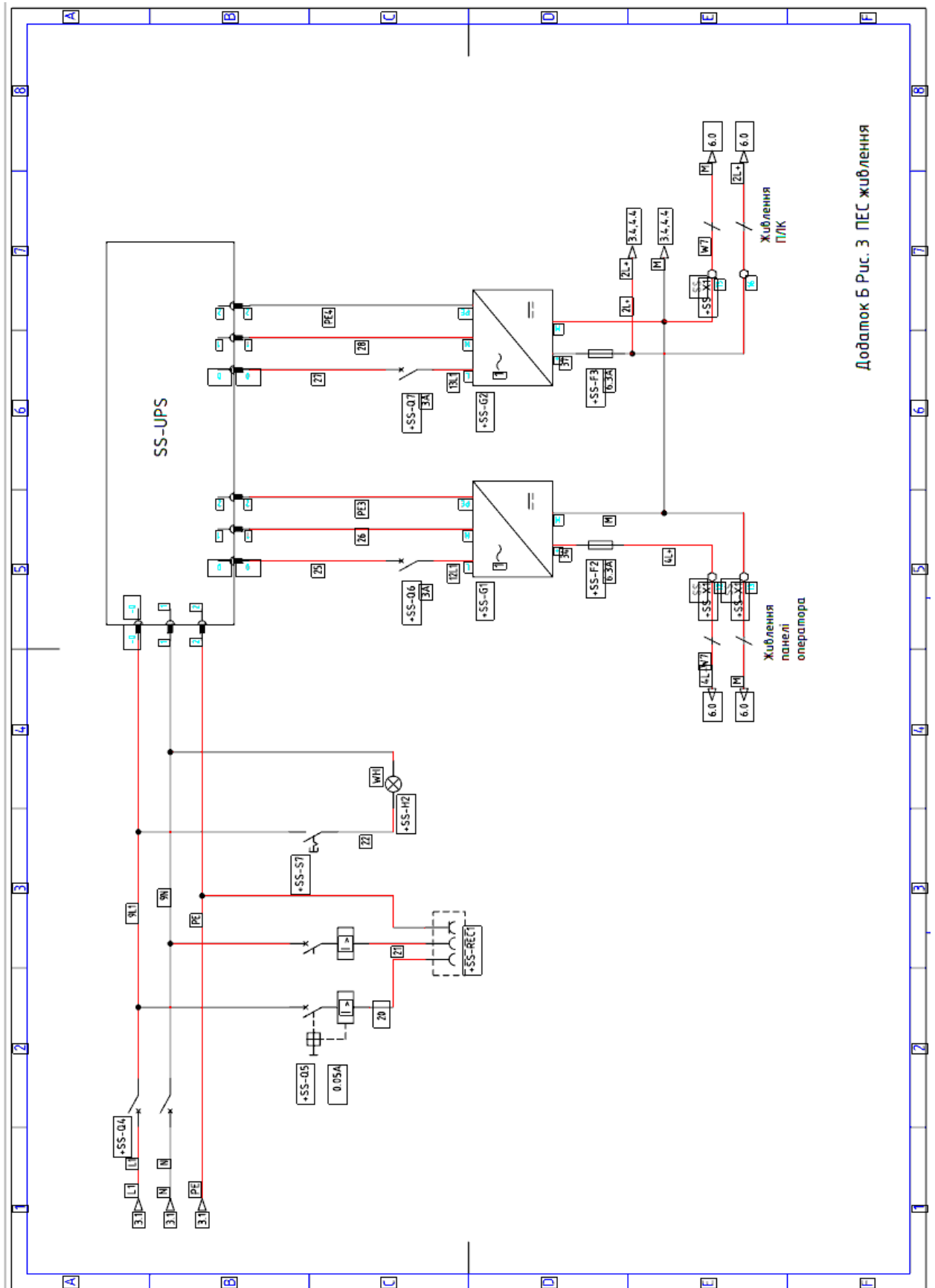
Додаток А Рис. 1 Схема автоматизації

Принципова електрична схема електроприводу



Додаток В

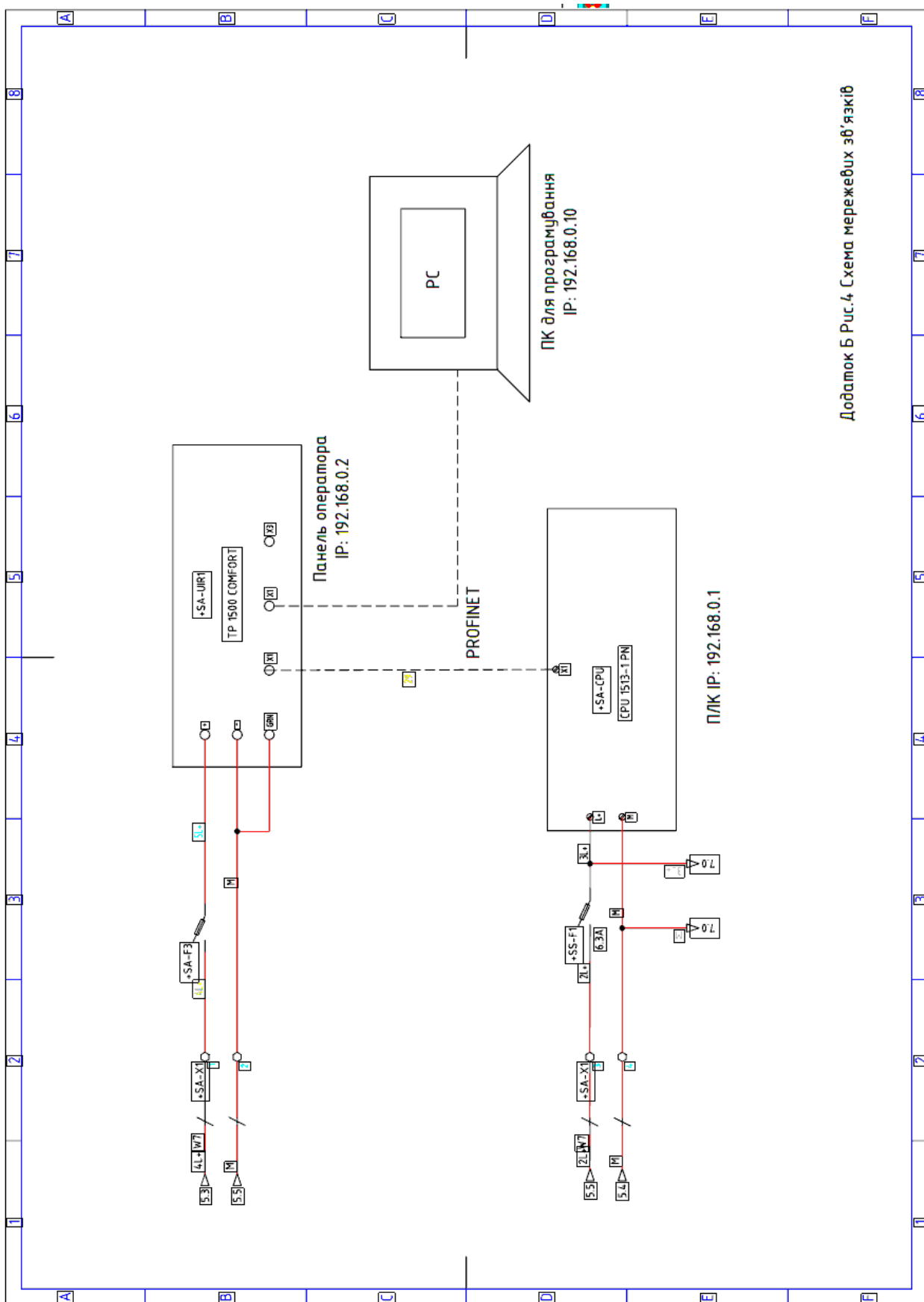
Принципова електрична схема живлення



Додаток Б Рис. 3 ПЕС живлення

Додаток Г

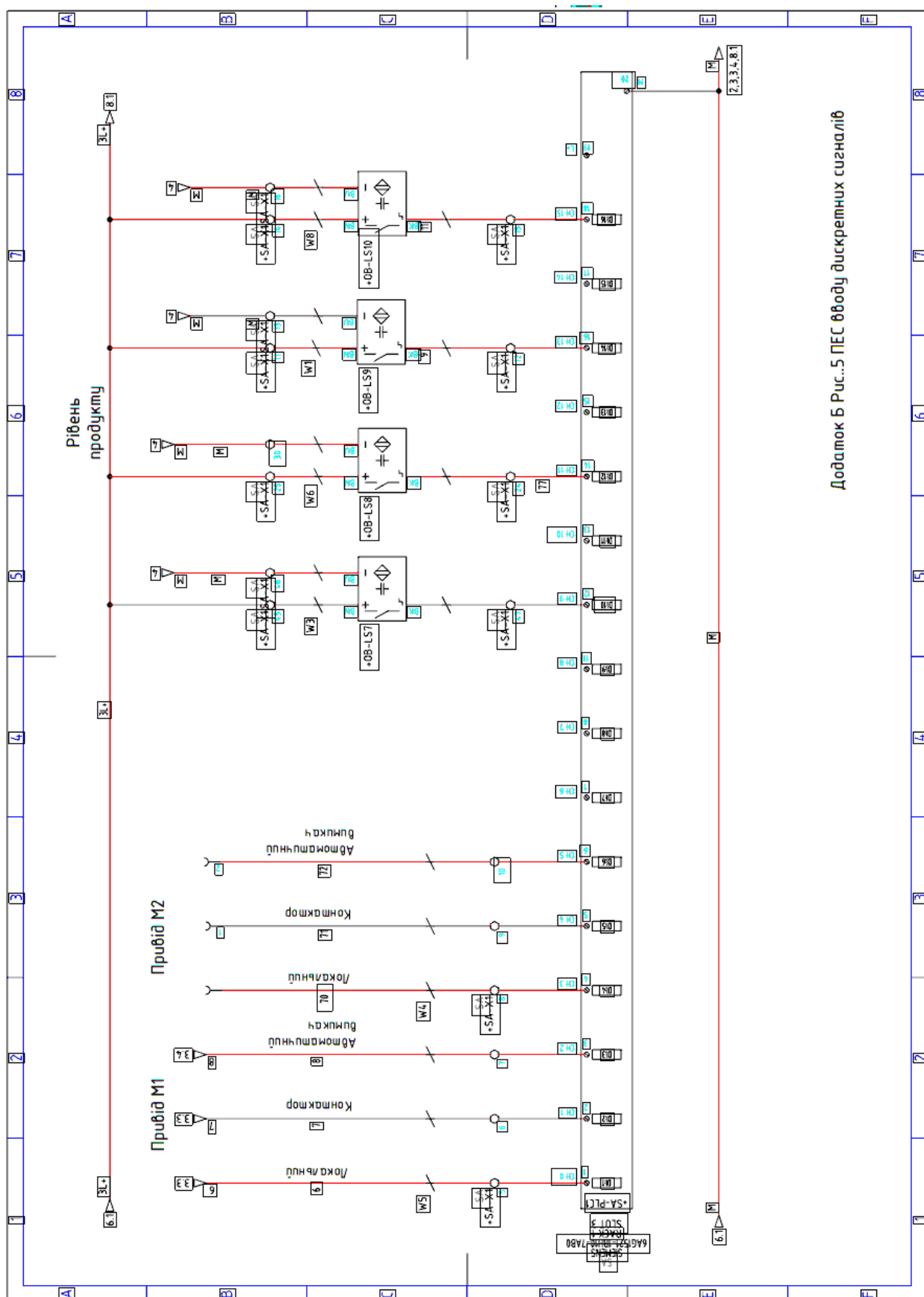
Схема мережєвих зв'язків



Додаток Б Рис.4 Схема мережєвих зв'язків

Додаток Д1

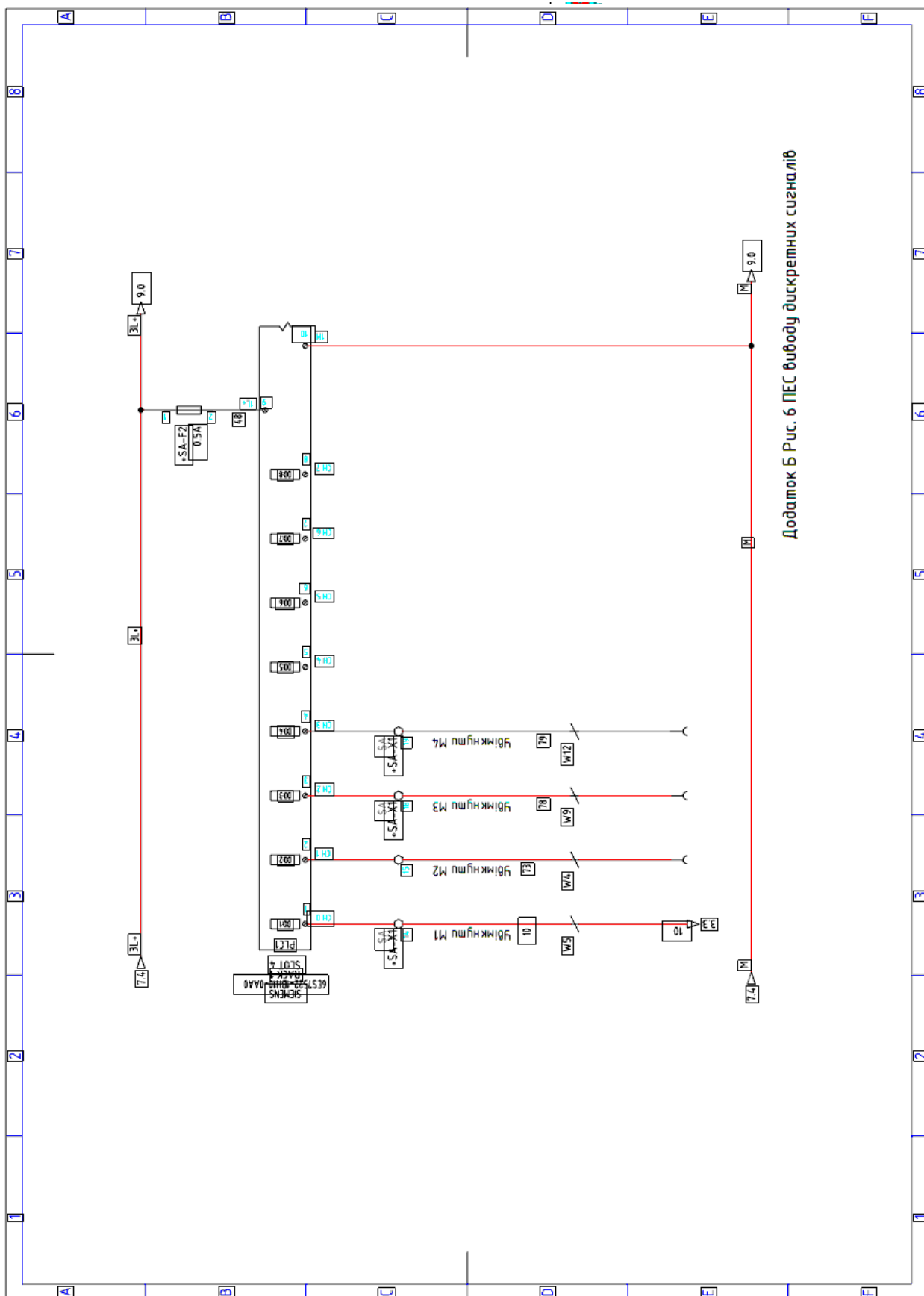
ПЕС вводу дискретних сигналів



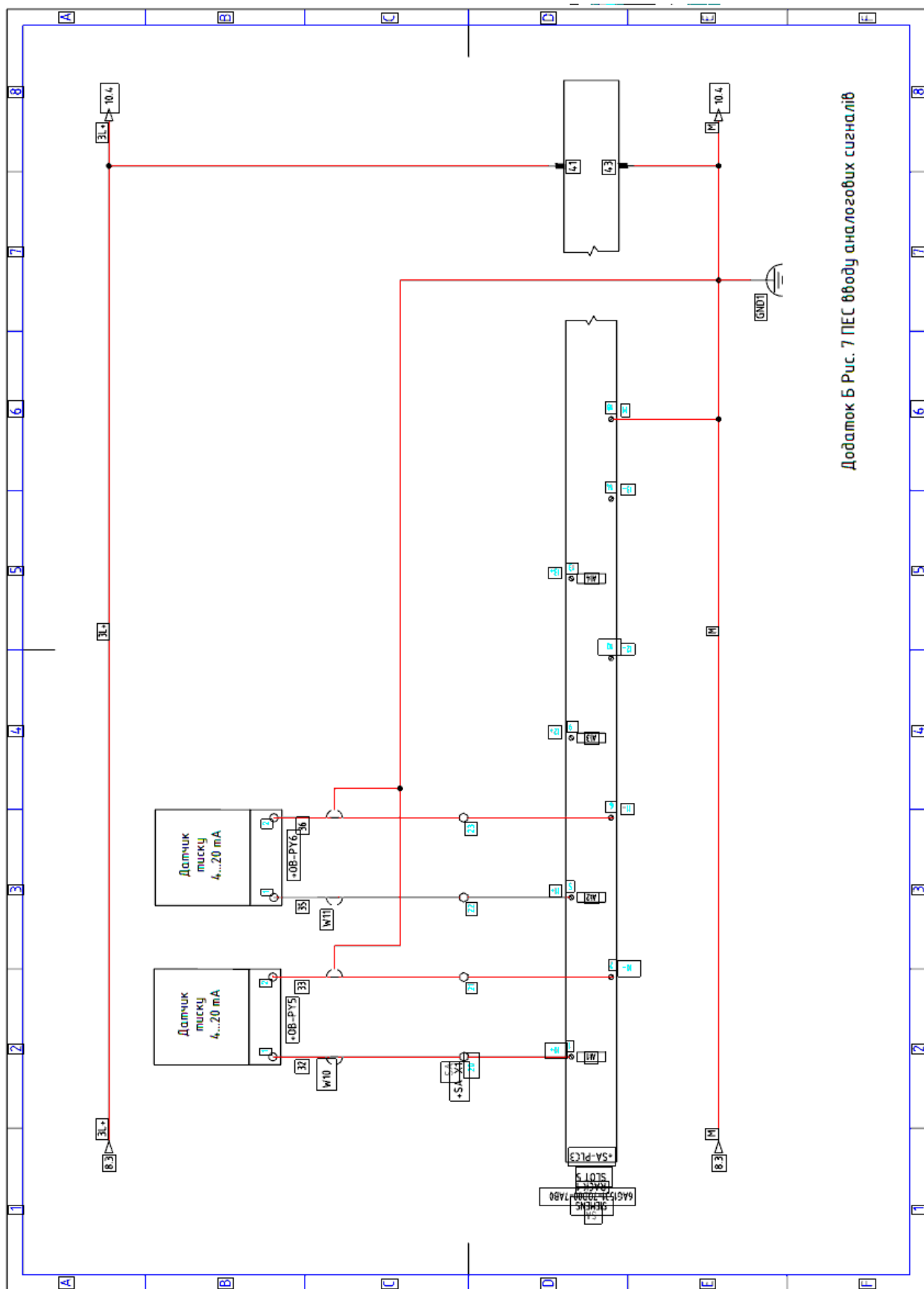
Додаток Б Рис.5 ПЕС вводу дискретних сигналів

Додаток Д2

ПЕС виводу дискретних сигналів



Додаток ДЗ ПЕС вводу аналогових сигналів



Додаток Б Рис. 7 ПЕС вводу аналогових сигналів

Додаток Д4.

ПЕС виводу аналогових сигналів

