

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра _Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних
систем



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
на тему Автоматизація процесу керування витоком зерна з
приймального бункера станції розвантаження автомобілів у ПТС
терміналу

(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача (ки) Вишневський М.О

(прізвище, ініціали)

2 ск курсу АТ-21 групи

Керівник доц. Світий І.М

(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти: доц. Світий І.М

(посада, прізвище та ініціали)

доц. Левінський В.М, доц. Степанов М.Т

(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 04.12.2023р., протокол №2

Завідувач(ка) кафедри АТПіРС

(назва кафедри)

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Одеса - 2023 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	<u>Автоматизації та робототехніки</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>
Освітня програма	<u>Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. зав. Кафедри АТПіРС

_____ В.М. Левінський

«20» 09 23р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Вишневського Максима Олександровича

1. Тема роботи Автоматизація процесу керування витоком зерна з приймального
бункера станції розвантаження автомобілів у ПТС терміналу

Затверджена наказом ОНТУ від 18.09.23 р. _____ наказ №528-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи _____

3. Вихідні дані роботи Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали виконаних індивідуальних завдань (ІЗ) технологічної і переддипломної практик, курсових та самостійних робіт, виконаних у відповідності з ІЗ.

4. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно розробити):

1) Характеристика керування витоком зерна, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керування процесом.

2) Конкретизація задачі дотримання регламентів керування витоком зерна, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.

3) Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР, отримання цифрових аналогів обраних алгоритмів.

4) Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування витоком зерна.

5) Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів.

6) Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК.

7) Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.

8) Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

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

7. Дата видачі завдання 21.09.23 р.

Керівник

Світий І.М.

Завдання прийняв до виконання

Вишневецький М.О

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика керування витоком зерна, обґрунтування доцільності та шляхів підвищення ефективності керуванням процесом	28.09.23	
2	Конкретизація задачі дотримання регламентів керування витоком зерна, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання	5.10.23	
3	Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР	19.10.23	
4	Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування витоком зерна	26.10.23	
5	Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів	2.11.23	
6	Розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК	9.11.23	
7	Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК	16.11.23	
8	Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці	24.11.23	

Здобувач-дипломник Вишневецький М.О Керівник роботи Світий І.М.

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-дипломник Вишневецький М.О.

ПІБ

Підпис

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота на тему: «Автоматизація процесу керування витоком зерна з приймального бункера станції розвантаження автомобілів у ПТС терміналу» викладена на 158 сторінках звіту, складається із вступу, семи розділів і висновків, включає в себе 129 ілюстрацій, 6 таблиць, та 7 джерела за переліком посилань.

Об'єктом дослідження є технологічний процесу керування витоком зерна з приймального бункера станції розвантаження автомобілів у ПТС терміналу. Метою досліджень є синтез і аналіз системи автоматичного регулювання підвищеної динамічної точності. При виконанні роботи використовувалися експериментальні методи отримання моделей об'єкту, оптимальний параметричний синтез для синтезу систем автоматичного регулювання базової структури та підвищеної динамічної точності. Отримано моделі каналів об'єкту, моделі стохастичних складових збурень. Проведено синтез та аналіз САР базової структури. Підвищення динамічної точності проводилося шляхом побудови САР інваріантної до передісторії заданого значення. Аналіз САР проводився за інтегральним показником, деякими прямими показниками якості та за грубістю. Розроблено алгоритми логічного керування. Проведено вибір технічних засобів. Була розроблена технічна структура мікропроцесорного ядра системи керування. Розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САК. Розроблено варіант комплекту технічної документації.

Ключові слова: керування витоком зерна з прийомного бункера, математична модель, імітаційна модель, система автоматичного регулювання, САР підвищеної динамічної точності.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень.....	9
Вступ	10
Розділ 1. Характеристика технологічного процесу, розробка концептуальної моделі об'єкту керування.....	13
1.1. Вибір об'єкта для модернізації системи автоматизації, опис і аналіз реалізованого ним технологічного процесу і відповідного обладнання (технологічного агрегату).....	13
1.2 Конкретизація регламентів і умов ведення процесу, його формалізоване представлення	18
1.3 Конкретизація мети модернізації системи	21
1.4 Висновок за розділом	22
Розділ 2. Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.....	23
2.1. Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання.....	23
2.2. Ідентифікація (розробка моделей) каналів перетворення об'єкта регулювання	24
2.3. Ідентифікація моделей збурень об'єкту керування.....	29
2.4. Реалізації моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їх відповідності експериментальним даним.....	34
2.5 Висновки за розділом.....	46

Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР.....	47
3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом	47
3.2. Параметричний синтез і аналіз САР базової структури	49
3.3. Структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності і її аналіз	59
3.4. Висновок з розділу	69
Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним процесом.....	70
4.1. Короткий опис технологічного процесу з наведенням детальних процедур технологічного пуску, технологічної зупинки та аварійної зупинки у позаштатних ситуаціях	70
4.2. Розробка алгоритмів автоматичного керування: за пуском, технологічною та аварійною зупинкою (циклом роботи) ТОК у вигляді блок-схем та їх опис	74
4.3 Висновки за розділом.....	76
Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів.....	77
5.1. Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення	77
5.2 Вибір технічних засобів	77
5.3 Висновок за розділом	87

Розділ 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.....	88
6.1 Аналіз вхідних і вихідних сигналів і вибір топології побудови системи	88
6.2. Розробка структури мікропроцесорного ядра системи керування	91
6.3. Програмне конфігурування контролера та розробка програмного забезпечення системи керування в середовищі CoDeSys	97
6.4. Програмна реалізація алгоритмів регулювання та їх тестування на моделі ОК.....	98
6.5. Програмна реалізація алгоритмів логічного керування.....	103
6.6. Розробка підсистеми взаємодії автоматизованого робочого місця та мережі контролерів за допомогою OPC-сервера	108
6.7 Висновки за розділом	112
Розділ 7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.....	113
7.1. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога	113
7.2. Розробка екранів АРМ оператора – технолога. Шаблон екранів.	114
7.3. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ наладчика САК.....	126

7.4. Розробка екранів АРМ наладчика САК	127
7.5 Висновок за розділом.....	129
РОЗДІЛ 8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення	
САК та заходів з охорони праці.....	130
8.1. Опис схеми автоматизації	130
8.2. Опис принципової електричної схеми	130
8.3. Опис принципової електричної схеми живлення	131
8.4 Техніка безпеки.....	131
8.5 Висновки за розділом	153
Висновок	154
Література	155
Додатки	156

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ:

ЗА–засоби-автоматизації.

ТА – технологічний агрегат;

АРМ – автоматизоване робоче місце;

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;

ДЦП – дискретно – цифровий перетворювач;

ЦДП – цифрово-дискретний перетворювач;

ППЗС – передпускова звукова сигналізація;

ПДТ – підвищена динамічна точність;

НС – найпростіша структура;

САК–система-автоматичного-керування;

ПК – персональний комп'ютер;

МК – мікропроцесорний контролер;

ММ – математична модель;

ВП – випадковий процес;

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;

ФФ – формуючий фільтр;

СП – стохастичний процес;

ОР – об'єкт регулювання;

СХ – стохастичні характеристики;

ТП – технологічний процес;

ОР – об'єкт керування;

КЗ – коригувальний зв'язок;

СКЗ – спрощений коригувальний зв'язок.

ВСТУП

Робота ТОВ «УКРЕЛЕВАТОПРОМ» пов'язана з виконанням виробничих операцій в регульованому середовищі, що забезпечується процесом витоку зерна з прийомного бункера.

Одним з найефективніших шляхів підвищення ефективності процесу зважування зерна та витоком зерна з прийомного бункера, підтверджених практикою, є підвищення рівню автоматизації процесу шляхом підвищення інтелектуального рівню системи автоматичного регулювання.

У роботі має бути проведено дослідження процесу керування витоком зерна з прийомного бункера, як об'єкту керування, в результаті котрих має бути отримано математичні моделі основних каналів керування та неконтрольованих збурень. Отримані моделі слід перевірити на відповідність експериментальним даним. На основі отриманих моделей слід розробити алгоритми регулювання процесом, котрі забезпечують високу якість керування процесом.

Для даного технологічного процесу повинні бути складені регламент функціонування та алгоритми пуску-зупинки процесу витоку зерна з прийомного бункера. Також бути проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом витоку зерна з прийомного бункера.

Повинна бути розроблена технічна структура мікропроцесорного ядра системи керування процесом витоку зерна з прийомного бункера, здійснений вибір промислового контролера та його блоків вводу/виводу, а в середовищі CoDeSys розроблені програми, які реалізують алгоритми логічного керування та регулювання.

Має бути проведено роботи в середовищі SCADA - системи WinCCFlexible , бути розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САК процесом витоку зерна з прийомного бункера.

В ході виконання роботи повинно бути розроблено варіант комплексу технічної документації САК.

Розроблений комплект має включати основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування технологічного процесу.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення конкурентоздатності підприємства за рахунок підвищення ефективності допоміжного процесу витоку зерна шляхом розробки обґрунтованих технічних рішень зі створення модернізованої САР процесом. Для досягнення поставленої мети визначенні завдання:

- проаналізувати процес витоку зерна з прийомного бункера як об'єкту керування;
- розробити комплекс його моделей як об'єкту регулювання і провести моделювання для підтвердження відповідності отриманих моделей експериментальним даним;
- розробити варіанти алгоритмів регулювання, провести їхню параметричну оптимізацію, порівняльний аналіз САР, що забезпечують підвищену динамічну точність регулювання регламентованих змінних;
- скласти регламент функціонування та алгоритми пуску-зупинки процесу;
- провести вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом;
- розробити технічну структуру мікропроцесорного ядра системи керування процесом витоку зерна з прийомного бункера;
- обрати промисловий контролер та його блоки вводу/виводу;

- розробити програми в середовищі CoDeSys, які реалізують алгоритми логічного керування та регулювання;
- виконати роботи в середовищі SCADA - системи WinCCFlexible розробити програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САК процесом витоку зерна з прийомного бункера;
- розробити варіант комплекту технічної документації САК;

Рішенню перерахованих вище завдань і присвячена ця дипломна робота.

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, РОЗРОБКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

1.1 Короткий опис ТОВ «УКРЕЛЕВАТОРПРОМ», характеристика виробничої і господарської діяльності

Підприємство ЗАТ «Укрелеваторпром» було засноване у 2002 році та у 2005 році було придбано компанією «Альфред С. Топфер Інтернешнел», відомою у світі з 1919 року в галузі торгівлі зерновими, олійними та кормовими культурами.

Перші потужності підприємства введено в експлуатацію у 2002 році. Саме будівництво комплексу було викликано позитивними макроекономічними змінами. Було прийнято Закон «Про зерно та ринок зерна в Україні», де цей сектор названо пріоритетним в агропромисловому комплексі України.

Елеватор був задуманий і побудований як сучасне підприємство, обладнане за останнім словом техніки. Частина території була створена штучно - намили, як це прийнято у світовій практиці будівництва елеваторів, які розташовані на морському березі. Тож там, де зовсім недавно швартувалися судна, зараз розвантажуються вагони. Робота двох ділянок, що приймають вантажі з автомобільного та залізничного транспорту, забезпечує високу продуктивність ~ 120 вагонів (7500 тонн) та 200 машин (5000 тонн) на добу.

Друга ділянка здійснює прийом зерна лише з автотранспорту. Він включає металеві зерносховища сумарною місткістю 42 тисячі тонн, які обладнані ДНЗ і установками дистанційного контролю температури. На цій ділянці зерно розвантажуються у пристрої поперечного типу на двох авторозвантажувачах типу РАГ, включених в одну лінію продуктивністю 350 тонн на годину. Лінія може працювати і в реверсному режимі з продуктивністю 500 тонн на годину. З нашої ділянки зерно може відпускатися на водний транспорт конвеєрною галереєю через виробничу ділянку №1.

У планах ділянки – збільшити ємності для одноразового зберігання вдвічі. Крім цього, на нашій новій ділянці №3 на Київській трасі буде встановлена зерносушарка та зерноочисне обладнання. Таким чином, ми розширюємо кількість послуг, що надаються.

Загальний аналіз технологічного процесу, реалізованого агрегатом, цілей і умов його ведення

Суть технологічного процесу – це цілеспрямоване перетворення продуктових і енергетичних потоків у спеціальному технологічному устаткуванні (ТУ) (машинах, апаратах, агрегатах).

Після в'їзду вантажних автомобілів на авторозвантажувач А1 та А2, зерно з яких відвантажується на бункера БП1, БП 2 під ними встановлені конвеєри КС2.1 і КС2.2 (які виконують роль живильників), через живильники продукт з контрольованою швидкістю потрапляє двома шляхами:

- 1) конвеєрами КС2.3 і КС2.4 з яких, він надходить до розвантажувального пристрою стрічкового типу КЛ 2.2 та вже з нього потрапляє в лінію подачі зерна на судно.
- 2) конвеєрами КС2.3 і КС2.4 з яких, він надходить до норії КН 1.1 потрапляючи в поворотну трубу, зерно зсипається у силоси СБ8, СБ 10 і т.д. котрими потрапляє на розвантажувальний пристрій стрічкового типу КЛ 2.2 і далі в лінію подачі зерна на судно.

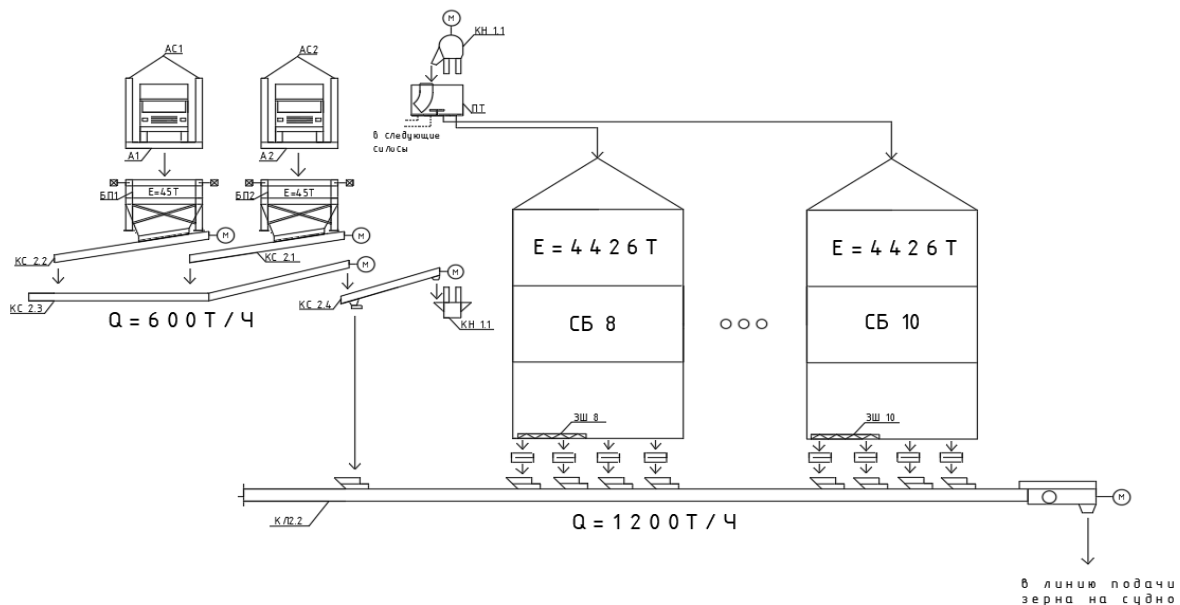


Рис. 1.1 – Технологічна схема процесу керування витоком зерна з приймального бункера станції розвантаження автомобілів у ПТС терміналу



Рис 1.2 – Гідравлічний автомобілерозвантажувач

Сутність технологічного процесу (ТП) – це цілеспрямоване перетворення матеріальних та енергетичних потоків у спеціальному технологічному обладнанні (ТО) (машинах, апаратах, агрегатах). Графічним відображенням руху та перетворення потоків є технологічна схема. Вона має змістовний характер, оскільки відображає сутність процесу. Кожен потік та процес перетворення його механічних, фізичних, хімічних та біологічних властивостей можуть бути охарактеризовані набором параметрів, що відображають їх властивості та умови перетворення потоків. Нанесення цих параметрів на схему називатимемо її параметризацією. Складання та аналіз параметризованої схеми технологічного процесу є початковим етапом побудови його математичної моделі як об'єкта управління.

Гідравлічний автомобілерозвантажувач дозволяє швидко розвантажувати автомобільний транспорт, який не має власного самоскидного кузова. Завдяки такому обладнанню можна швидко вивантажити сипучий вантаж з машини, що особливо актуально на оптових базах, елеваторах та зерноскладах. Завдяки гідравлічній системі підйому забезпечується повний рух платформи без ривків. Машина на платформі кріпиться ланцюгами, щоб запобігти її скатуванню або сковзанню під час підйому. У разі різкого падіння тиску в гідросистемі спрацьовує аварійний клапан обриву. Він запобігає падінню платформи та забезпечує її плавний спуск. У ролі допоміжного страхового елемента встановлюються обмежувальні борти.

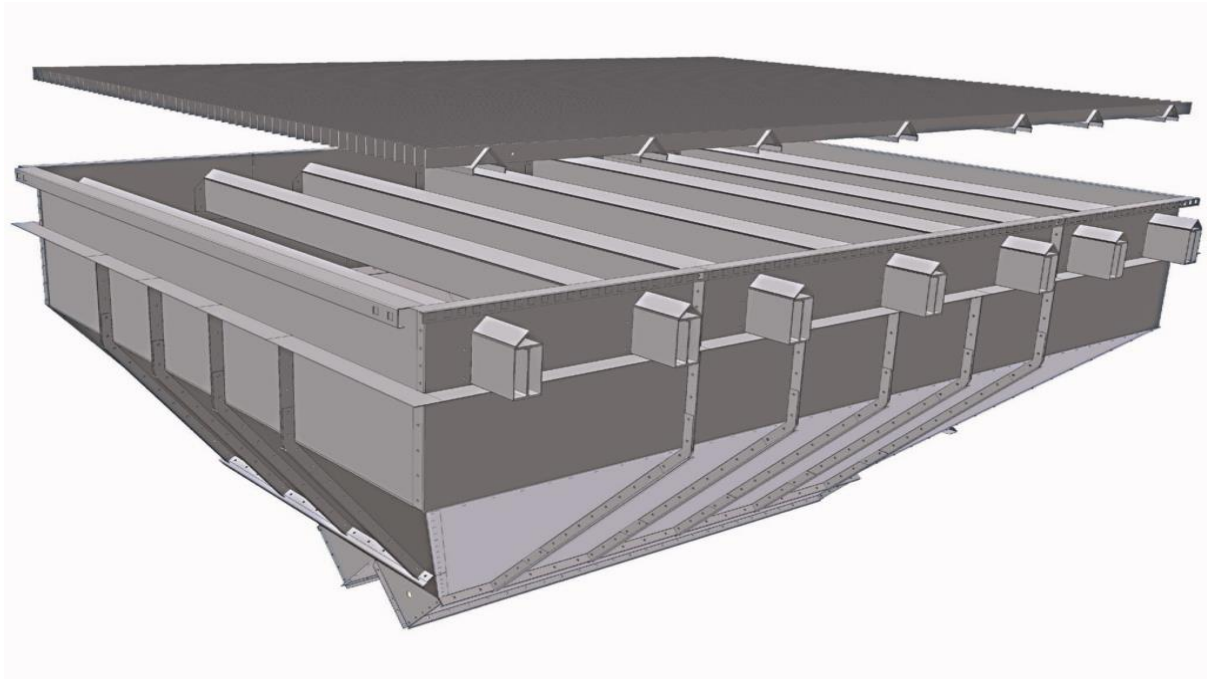


Рис 1.3 – Приймальний приямок TGS

Приймальний приямок TGS від Tornum відзначається великої ємністю та малою глибиною. Гладка внутрішня поверхня приямка забезпечує дотримання гігієни та чистоту. Виготовлений з тонколистової сталі, оцинкованої гарячим способом, і включає зовнішні кріплення. Оснащений міцними несучими балками для фіксації підвіски й підтримки несучих решіток. Гладка внутрішня поверхня для дотримання гігієни та чистоти.

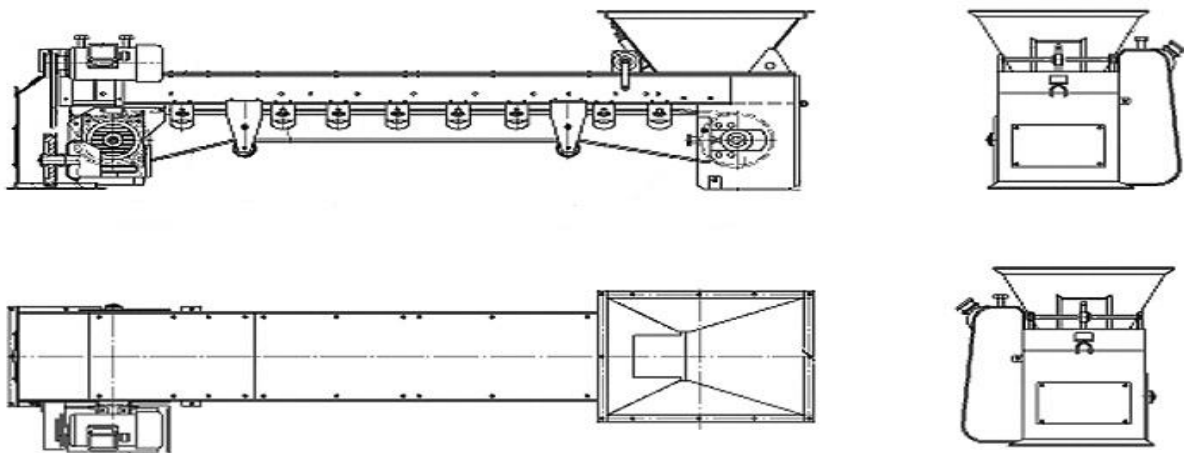


Рис 1.4 – Живильник стрічковий типу ПЛ

Живильник стрічковий типу ПЛ - це машина безпервної дії, з тяговим органом у вигляді нескінченної резинотканинної стрічки, яка натягнута між натяжним і приводним барабанами.

Ними обладнуються підбункерні зони розвантаження, для подальшої передачі продукту до іншого обладнання. До бункера живильник кріпиться верхньою частиною завантажувальної лійки за допомогою болтів. Стрічку живильника підтримують роликоопори: верхню гілку – прямі або жолобчасті, нижню – прямі. У рух стрічку наводить приводний барабан, вал якого з'єднується з приводом. Натяжний барабан із гвинтовим натяжним пристроєм відповідає за натяг стрічки. Живильник обладнаний завантажувальною лійкою, через яку йде подача вантажу, регульована шиберним затвором. Розвантаження здійснюється через приводну станцію.

Мета ведення процесу – отримання заданих продуктів із заданими властивостями (показниками якості). При промисловому виробництві досягнення мети може бути виправдане лише тоді (тобто ТП має сенс реалізувати), коли виконується низка вимог до ТП.

Параметризація схеми технологічного процесу і загальна характеристика параметрів і їх взаємозалежностей.

Проведемо параметризацію технологічної схеми. Результати параметризації наведені на рис. 1.5.

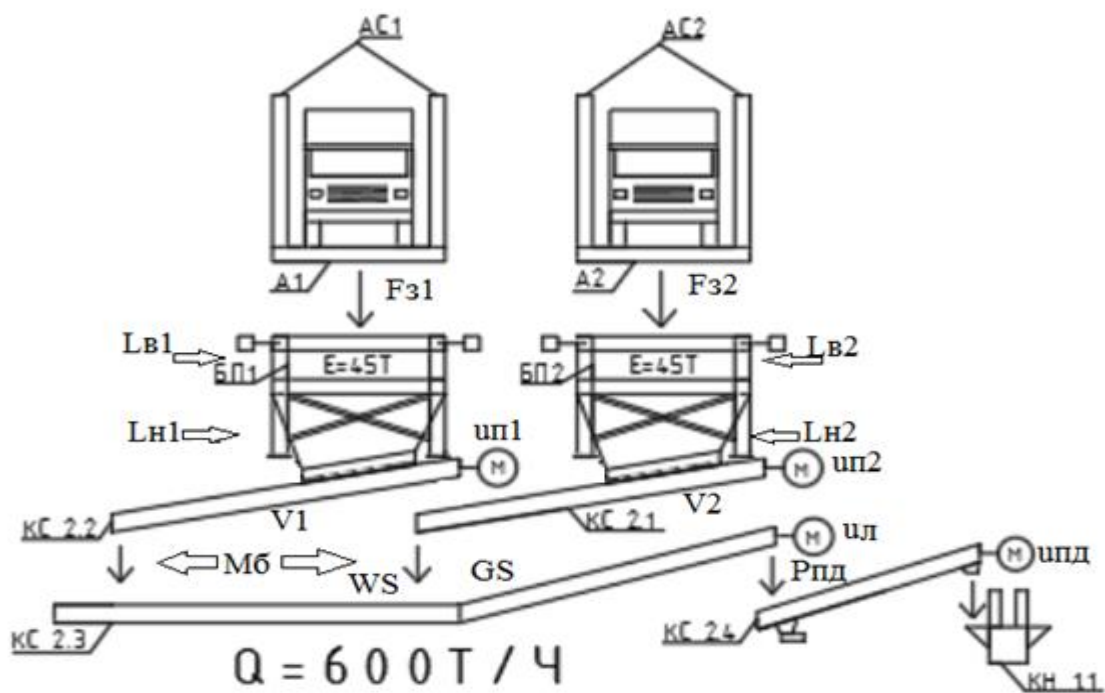


Рис. 1.5 – Параметризована технологічна схема керування витоком зерна з приймального бункера

Fз1 - витрати зерна в бункер 1;
Fз2 - витрати зерна в бункер 2;
Lv1 – верхній рівень зерна в бункері 1;
Lv2 – верхній рівень зерна в бункері 2;
Ln1 - нижній рівень зерна бункері 1;
Ln2 - нижній рівень зерна у бункері 2;
V2 - швидкість конвейєра 2;
V1 - швидкість конвейєра 1;
уп1 - управління живильником конвеєра 1;
уп2 - управління живильником конвеєра 2;
Мб - маса бункера (з 1 та 2 разом);
WS – натяг стрічки;
GS - Контроль сходу стрічки;
ул - керування стрічкою;
Рпд - тиск гідромережі витягу;
упд - управління витягом.

1.2 Основу нормативів складають три основних регламенти.

Технологічний регламент – визначає умови, при яких у результаті технологічного процесу буде отримано продукт із заданими властивостями. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від номіналу технологічних параметрів. Для технологічного процесу таким параметром є верхній рівень зерна в бункері 1 Lv1 , верхній рівень зерна в бункері 2 Lv2 , нижній рівень зерна бункері 1 Ln1, нижній рівень зерна у бункері 2 Ln2 .

Експлуатаційний регламент – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів технологічного обладнання. Для цього є параметр тиск гідромережі витягу Рпд , маса бункера (з 1 та 2 разом) Мб .

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 натяг стрічки WS , контроль сходу стрічки GS .

Відхилення параметрів технологічного процесу від регламентних значень, що викликані зміною параметрів, характеризують умови ведення процесу навіть при досить ефективному керуванні процесом, можуть перевищувати встановлені допуски.

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.

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 ® ¥)	Короточасні (0 < t << ¥)	
				величина	величина	час, сек
1	2	3	4	5	6	7
Маса	М	Т	- 0,03t + M _o	±0,5	±2	100

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

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. До цієї групи параметрів віднесемо параметри витрати зерна в бункер 1 Fз1, витрати зерна в бункер 2 Fз2 .

Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводить до технологічного встаткування ззовні й витрачається на зміну властивостей продуктів. До цієї групи параметрів віднесемо швидкість конвейєра 2 V2 , швидкість конвейєра 1 V1 .

Механічні (або інші специфічні) параметри технологічного обладнання характеризують стан її робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо управління живильником конвеєра 1 ип1 , управління живильником конвеєра 2 ип2 , керування стрічкою ил , управління витягом ипд.

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 наведена на рис. 1.6.

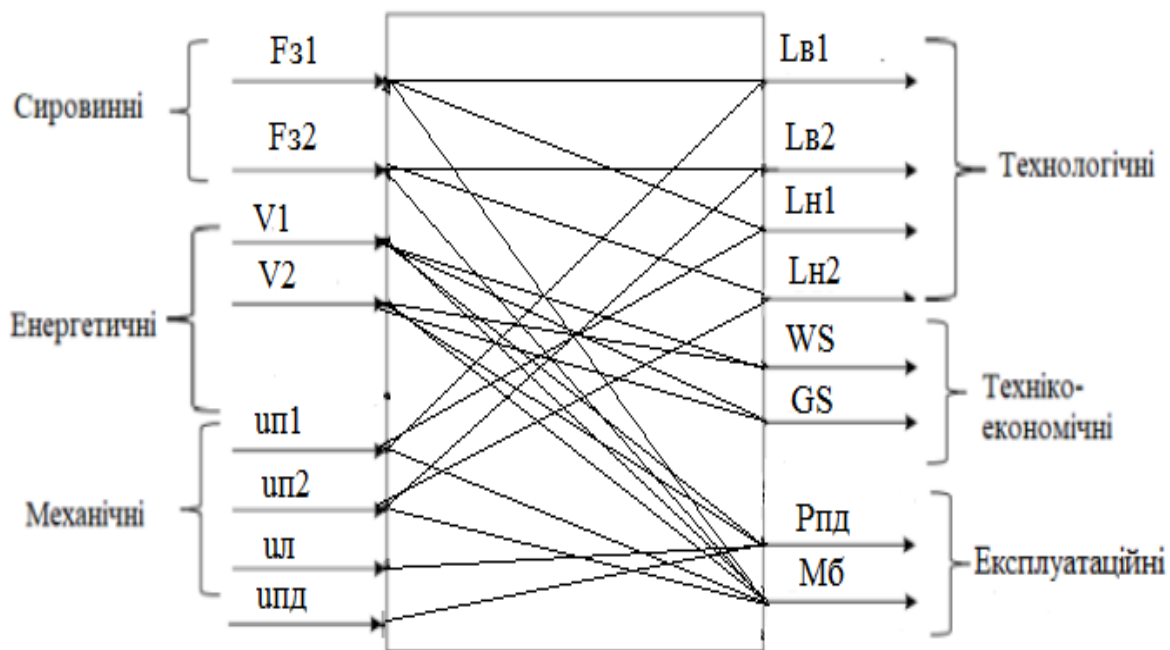


Рис. 1.6 – Параметрична схема технологічного процесу керування витоком зерна з приймального бункера

1.3 Конкретизація мети і завдань керування об'єктом, виявлення регульованих координат.

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:

а) на рівні окремого технологічного процесу – координація роботи технологічного обладнання, на якому реалізується процес;

б) 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:

а) задачу регулювання, коли необхідно забезпечити виконання вимог регламенту;

б) завдання умовної оптимізації, коли при дотриманні вимог регламенту додатково відповідно до наперед сформульованим критерієм, вирішуються задачі оптимізації процесу.

1.4 Висновок за розділом

Як об'єкт дослідження системи автоматизації був обраний приймальний бункер. Було зроблено опис та аналіз технологічного процесу керування витоком зерна з приймального бункера станції розвантаження автомобілів у ПТС терміналу та необхідного обладнання.

РОЗДІЛ 2. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ДОТРИМАННЯ РЕГЛАМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, РОЗРОБКА І РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПЛЕКСУ ЙОГО МОДЕЛЕЙ ЯК ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ

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

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.

Для процесу керування витоком зерна з приймального бункера в якості регульованих координат доцільно обрати масу зерна в приймальному бункері M .

До керуючих дій доцільно віднести керування живильником (u).

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

Для процесу керування витоком зерна з приймального бункера не було виявлено збурень, враховуючи які можна суттєво покращити якість регулювання, тому всі входні дії, крім керуючих дій, віднесемо до неконтрольованих збурень f_d та f_c . Детерміновану складову цих збурень адитивно прикладемо до керуючих дій, а стохастичну складову – до регульованої координати.

Структурна схема ОК є черговим і останнім етапом формалізації подання технологічного процесу як ОК. Структурна схема ОК, по суті, є найбільш загальною (концептуальною) моделлю технологічного процесу як ОК. Структурна схема процесу наведена на рис. 2.1

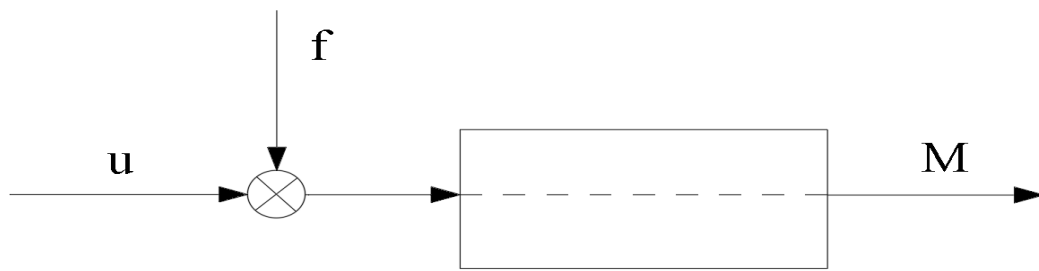


Рис. 2.1 Структурна схема процесу витоку зерна з приймального бункера як об'єкту регулювання

На рисунку:

u – керування живильником, %х.р.о.;

M – маса зерна в приймальному бункері;

f – вектор неконтрольованих збурень, %х.р.о.

2.2. Ідентифікація (розробка моделей) каналів перетворення об'єкта регулювання

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

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.

Планування активного експерименту на об'єкті для обраних вхідних дій і отримання реакцій на них у ході натурного та (або) уявного експериментів. План активного експерименту:

1. За допомогою зміни управляючої дії домагаємося значення регульованої координати, що перебувало б в околиці її номінального значення.

2. Для регульованої координати добиваємося встановленого процесу,

тобто значення регульованої координати повинно бути незмінним. Для нашого ОК таким значенням управляючої дії буде $u=50\% \text{ x.p.o.}$

3. Змінимо управляючу дію ступінчастим чином на $10\% \text{ x.p.o.}$, 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

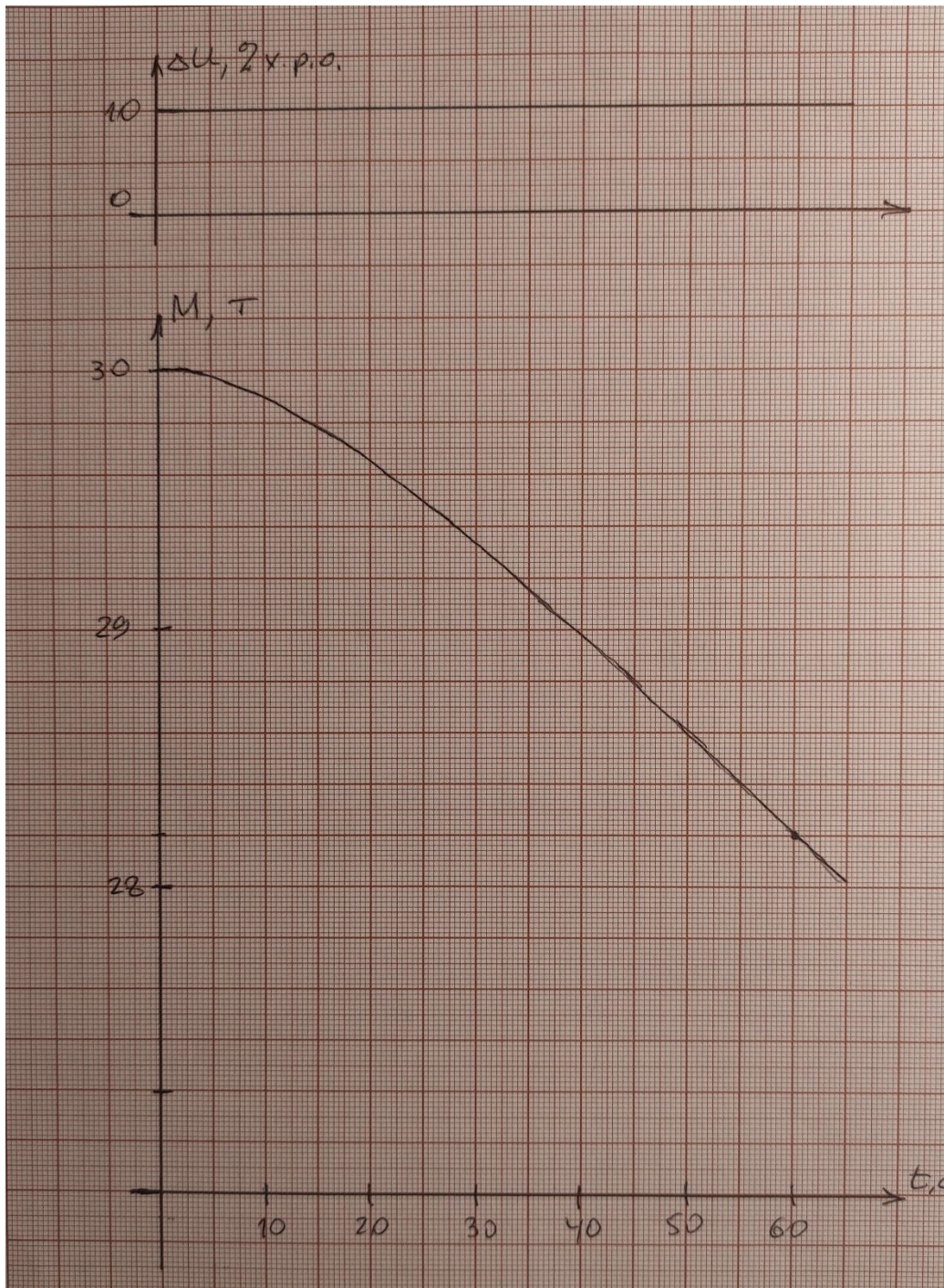


Рис. 2.2 – Результати активного експерименту

За результатами активного експерименту (рис. 2.2) можна зробити висновок, що канал управління нашого ОК не має властивості самовирівнювання, його називають астатичним і описують передаточними функціями для моделей першого і другого порядку:

$$W_0(p) = \frac{e^{-\tau_0 p}}{T_0 p}; \quad W_0(p) = \frac{e^{-\tau_0 p}}{T_{01} p \cdot (T_{02} p + 1)}$$

У результаті параметричної ідентифікації моделей ОУ з астатичними властивостями потрібно за перехідними характеристиками визначити час запізнення (τ_0), сталу інтегрування (T_0 , T_{01}) та сталу часу (T_{02}) ОУ. Для параметричної ідентифікації моделей ОУ з астатичними властивостями застосовують наступні методики.

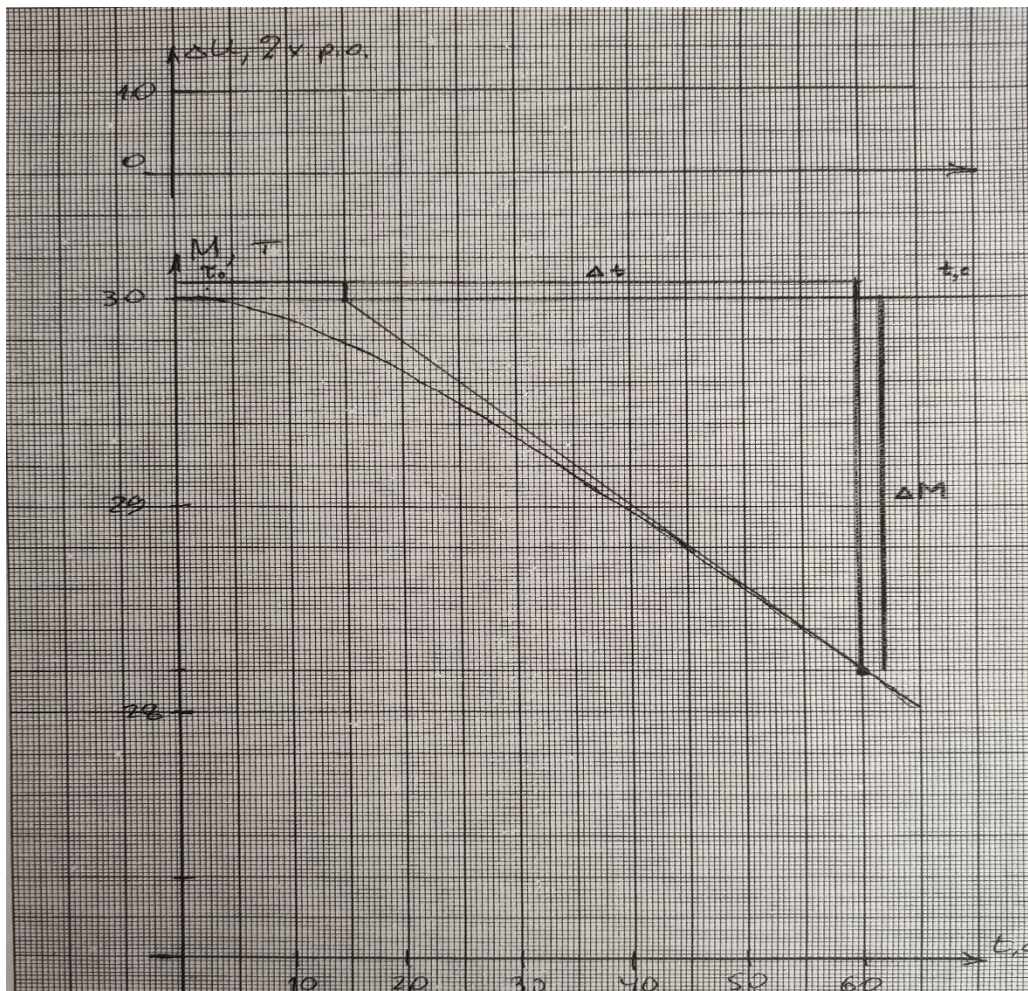


Рис. 2.3 – Параметрична ідентифікація моделі ОК

Модель 1-го порядку. З результатів графічних побудов (рис. 2.3) видно, що

$$\tau_0 = 15 \text{ с};$$

$$\Delta u = 10 \% \text{х.р.о};$$

$$\Delta M = 30 - 28,2 = 1,8 \text{ см};$$

$$\Delta t = 60 - 15 = 45 \text{ с};$$

звідси

$$T_o = \frac{\Delta u}{\Delta M} \times \Delta t = \frac{10}{-1,8} \times 45 = -250 \frac{\% \text{х.р.о.}}{\text{см}} \times \text{с}$$

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

$$W_o(p) = \frac{e^{-15p}}{-250p}$$

Модель 2-го порядку.

$$T_{o1} = T_o = -250 \text{ с.}$$

T_{o1} та τ_o моделі 2-го порядку визначаємо за результатами графічного диференціювання, результати якого зводимо в таблицю 2.1 та приводимо на рис. 2.3.

За результатами графічного диференціювання знаходимо

$$t_{0.33} = 6,5 \text{ с};$$

$$t_{0.7} = 19 \text{ с.}$$

Тоді

$$\tau = 0,5 \times (3 \times t_{0.33} - t_{0.7}) = 0,5 \times (3 \times 6,5 - 19) = 0,3 \text{ с}$$

$$T_{o2} = (t_{0.7} - \tau_o) \div 1,2 = (19 - 0,3) \div 1,2 = 15,6 \text{ с}$$

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

$$W_o(p) = \frac{e^{-0,3p}}{-250p \times (15,6p + 1)}$$

Таблиця 2.1 – Результати графічного диференціювання

t, c	M, т	$\Delta M, \text{т}$	$\Delta M / \Delta t$
0	30	0	0
2,5	30	0	0
5	29,98	0,02	$0,02 / 2,5 = 0,008$
7,5	29,94	0,04	0,016
10	29,9	0,06	0,024
12,5	29,84	0,06	0,024
15	29,78	0,06	0,024
17,5	29,72	0,06	0,024
20	29,66	0,06	0,024
22,5	29,58	0,08	0,032
25	29,5	0,08	0,032
27,5	29,42	0,08	0,032
30	29,34	0,08	0,032
32,5	29,26	0,08	0,032
35	29,16	0,1	0,04
37,5	29,06	0,1	$0,1 / 2,5 = 0,04$
40	28,98	0,1	0,04

$$\Delta M / \Delta t_{1,0} = 0,04 \text{ т/с}$$

$$\Delta M / \Delta t_{0,33} = 0,04 * 0,33 = 0,0132 \text{ т/с}$$

$$\Delta M / \Delta t_{0,7} = 0,04 * 0,7 = 0,028 \text{ т/с}$$

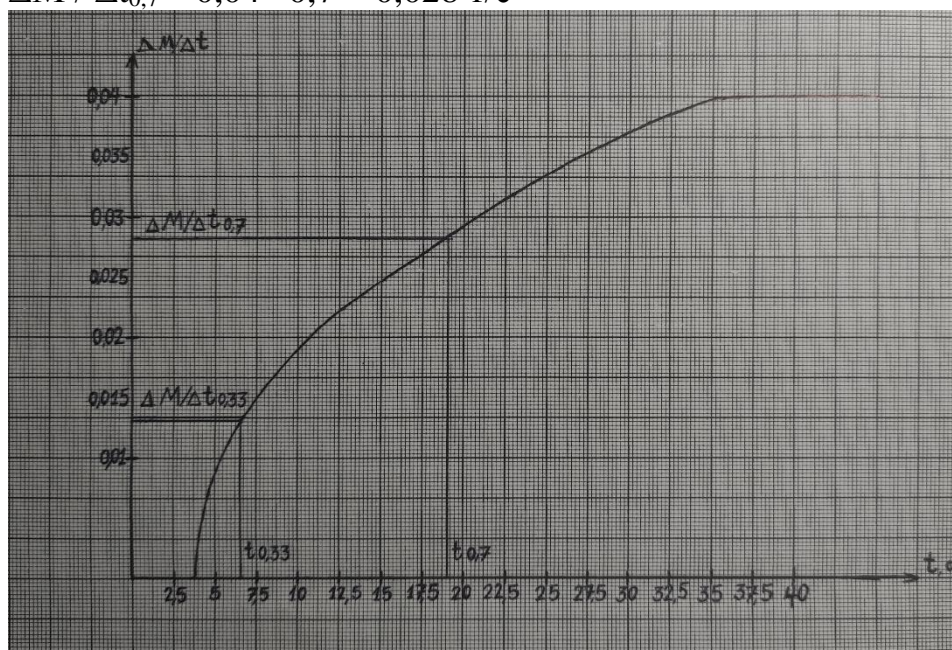


Рис. 2.4 – Результати графічного диференціювання

2.3 Ідентифікація моделей збурень об'єкту керування

Слід зазначити, що неконтрольовані збурення на ОК не є чітко певними фізичними параметрами. Вони є певною математичною абстракцією, про яку відомою є лише реакція системи на них.

Моделі неконтрольованих збурень доцільно представляти як суму чотирьох складових. Причому, детерміновану складову (f_d) доцільно привести до управляючої дії, а квазидетерміновану та стохастичну складові (f_c) доцільно привести до відповідної регульованої координати.

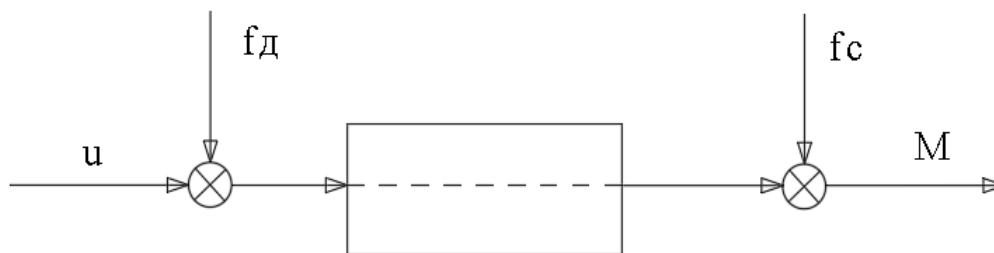


Рис. 2.5 – Структурна схема моделі неконтрольованих збурень

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

1. Яким є мінімальне і задане значення регульованої координати? Для досліджуваного ОК $M_{min} = 0$ т; $M_{aad} = 22,5$ т.
2. Яким є значення і розмірність часу запізнення в каналі управління для досліджуваної регульованої координати? Для досліджуваного ОК $\tau_0 = 15$ с.

Генерацію результатів пасивного експерименту буде забезпечувати програма `rpen` у середовищі Матлаб. Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованих збурень досліджуваного ОК наведені на рис. 2.6.

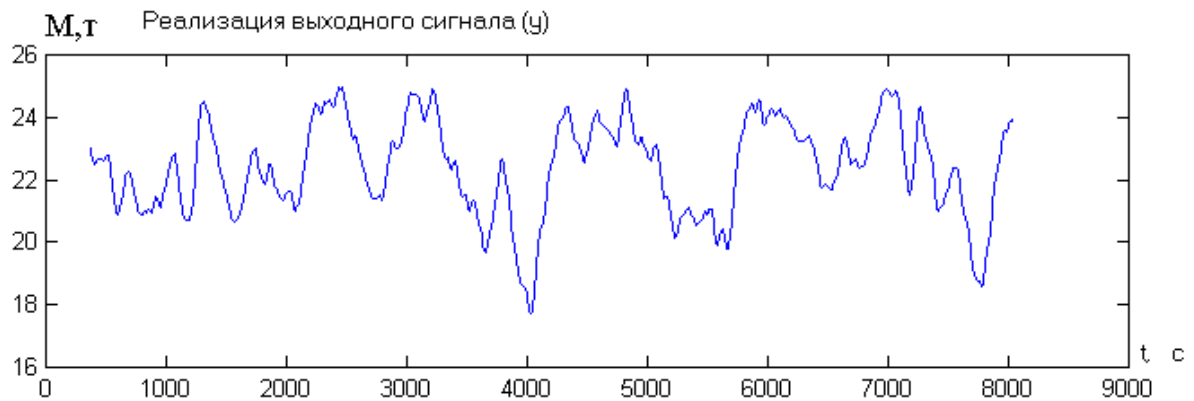


Рис. 2.6 – Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованого збурення для досліджуваного ОК

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

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

Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, що відповідає неконтрольованим збуренням, наведені на рис. 2.7.

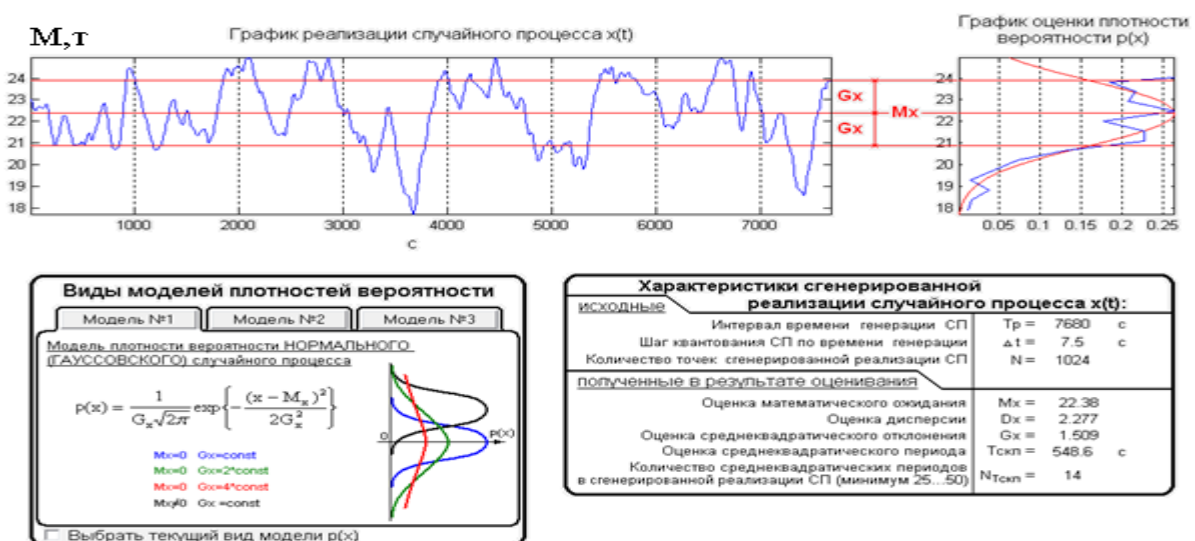


Рис. 2.7 – Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідного неконтрольованим збуренням

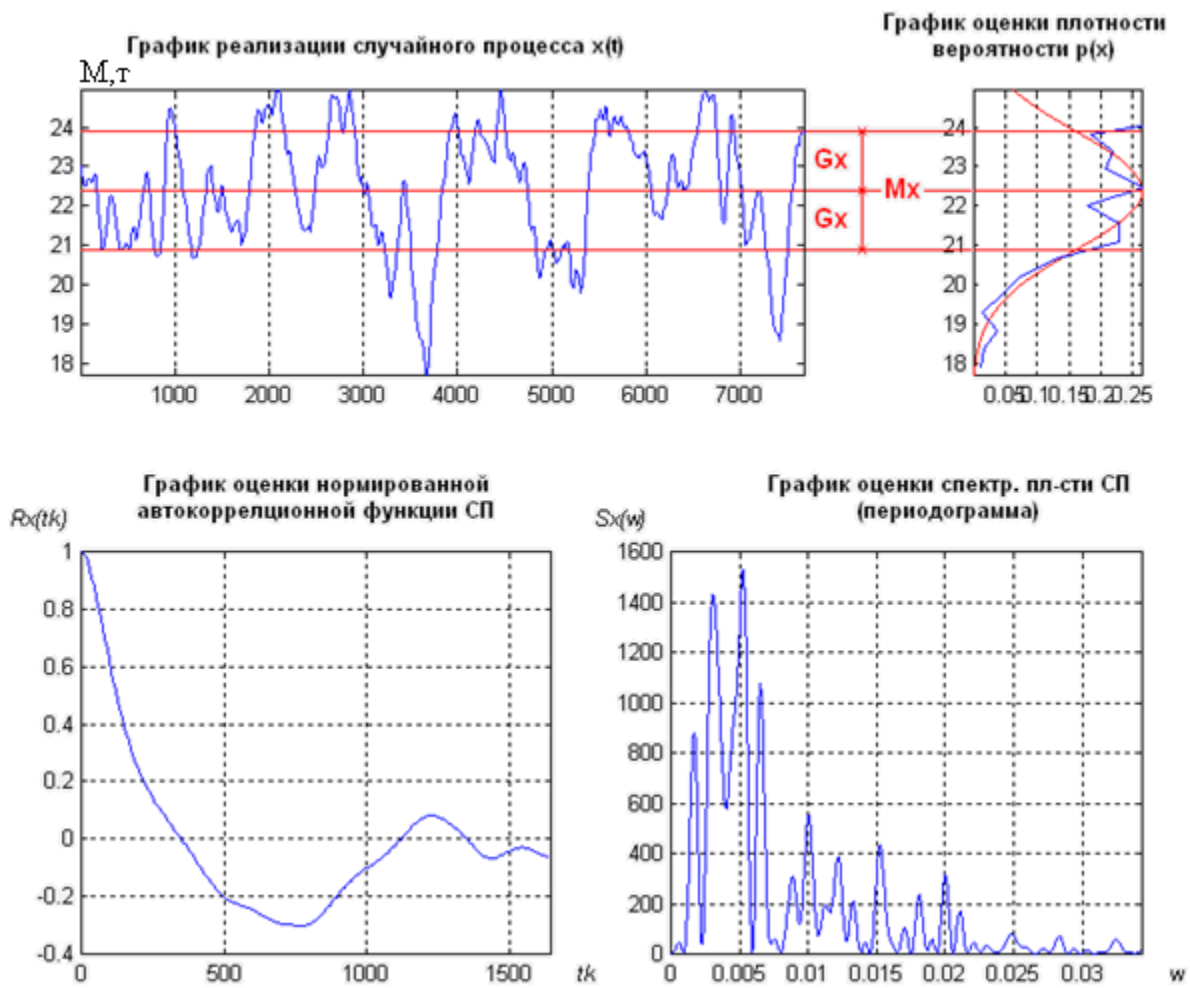


Рис. 2.7(закінчення) – Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідного неконтрольованим збуренням

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

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

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

Модель №5

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

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

Модель №6

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

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

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

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

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

Результати параметричної ідентифікації моделі №5 неконтрольованих збурень наведені на рис. 2.8, моделі №6 – на рис. 2.9, а підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень наведені на рис. 2.10.

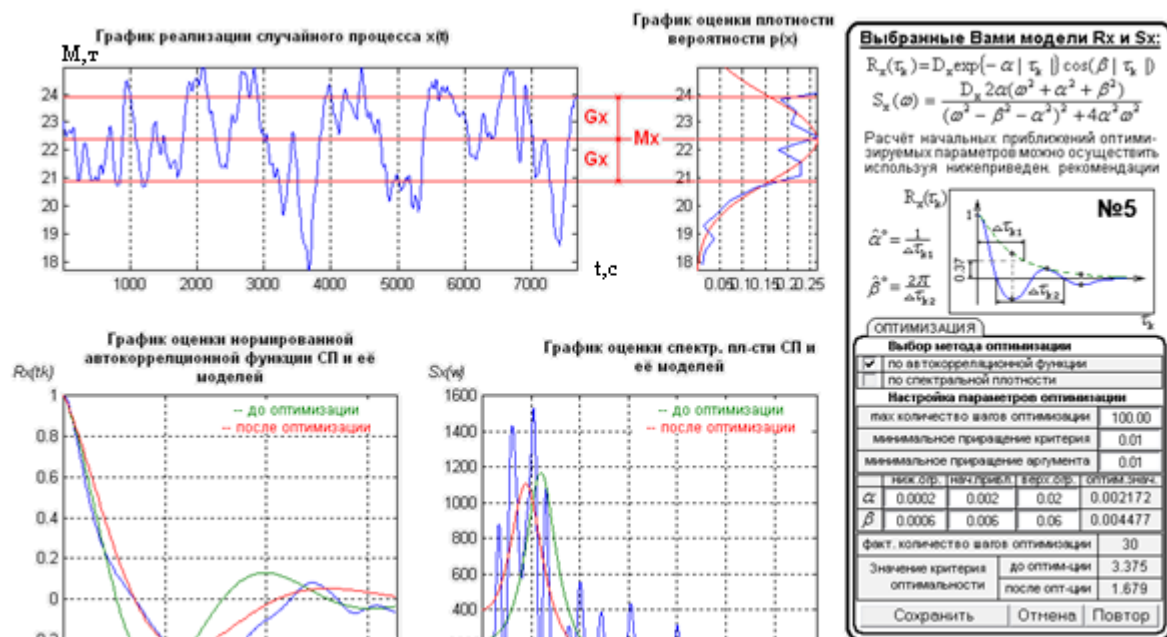


Рис. 2.8 – Результаты параметричної ідентифікації моделі №5 неконтрольованих збурень

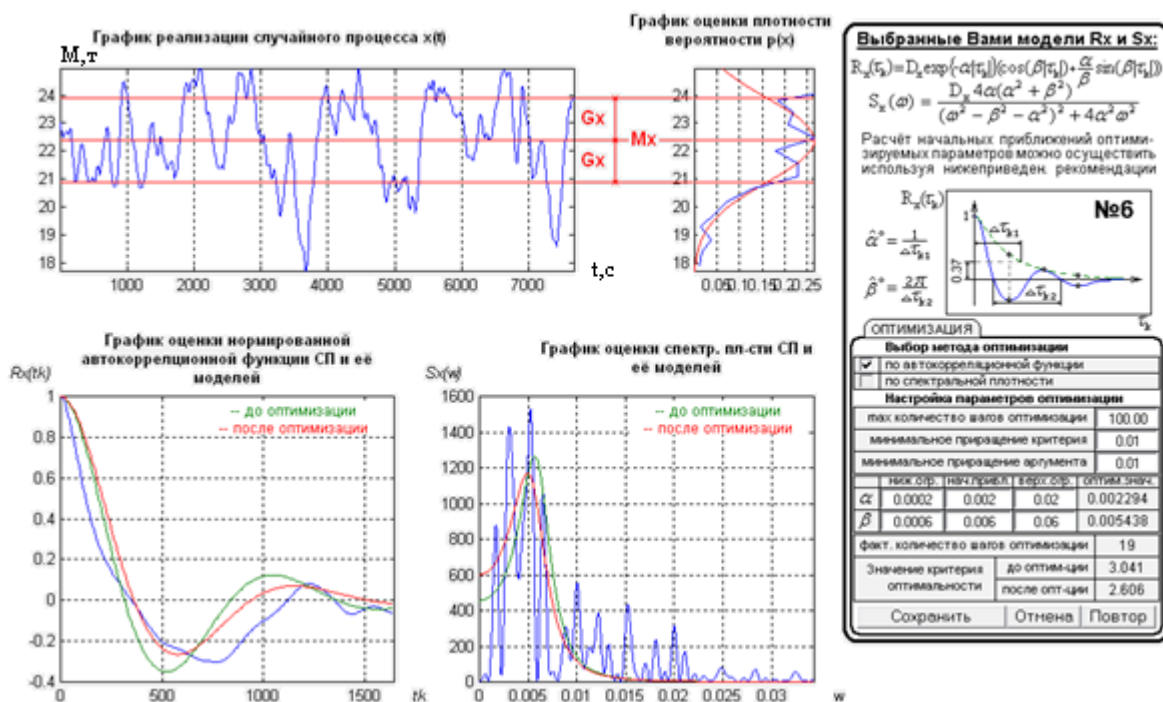


Рис. 2.9 – Результаты параметричної ідентифікації моделі №6 неконтрольованих збурень

Таблица результатов идентификации						
Номер модели	α	β	A	C	γ	Значение критерия оптимизации
✓ 5	0.0021725	0.0044768	-	-	-	2.8182
✓ 6	0.0022938	0.0054375	-	-	-	6.7888

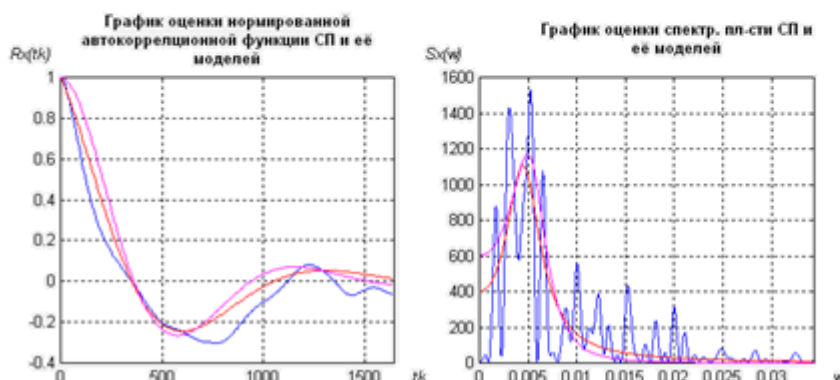


Рис. 2.10 – Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень

Як видно з результатів ідентифікації моделі неконтрольованих збурень (рис. 2.10), кращою є модель №5, тому що для цієї моделі меншими є середньоквадратичні відхилення моделей від оцінок кореляційних функцій.

2.4. Реалізації моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їх відповідності експериментальним даним.

У цьому підрозділі роботи в пакеті Simulink середовища Матлаб для каналу ОК розробляється схема моделювання як для моделі 1-го, так і для моделі 2-го порядку.

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{e^{-15p}}{-250p} = e^{-15p} \cdot \frac{-1}{250p}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{e^{-0,3p}}{-250p \times (15,6p + 1)} = e^{-0,3p} \cdot \frac{-1}{250p} \cdot \frac{1}{15,6p + 1}$$

Моделі повинні мати один вхід, вихід моделей виводиться на графік в одній системі координат. У цю ж систему координат зводяться експериментальні дані. Для додавання в схему експериментальних даних попередньо готують експериментальні дані в табличному виді і реалізують їх у компоненті Look-Up-Table. Для досліджуваного ОК експериментальні дані зведено в таблицю 2.2. Схема моделювання каналу управління ОК наведена на рис. 2.11. Результати моделювання наведені на рис. 2.12.

Таблиця 2.2 – Експериментальні дані

t,с	M, т
0	30
2,5	30
5	29,98
7,5	29,94
10	29,9
12,5	29,84
15	29,78
17,5	29,72
20	29,66
22,5	29,58
25	29,5
27,5	29,42
30	29,34
32,5	29,26
35	29,16
37,5	29,06
50	28,6

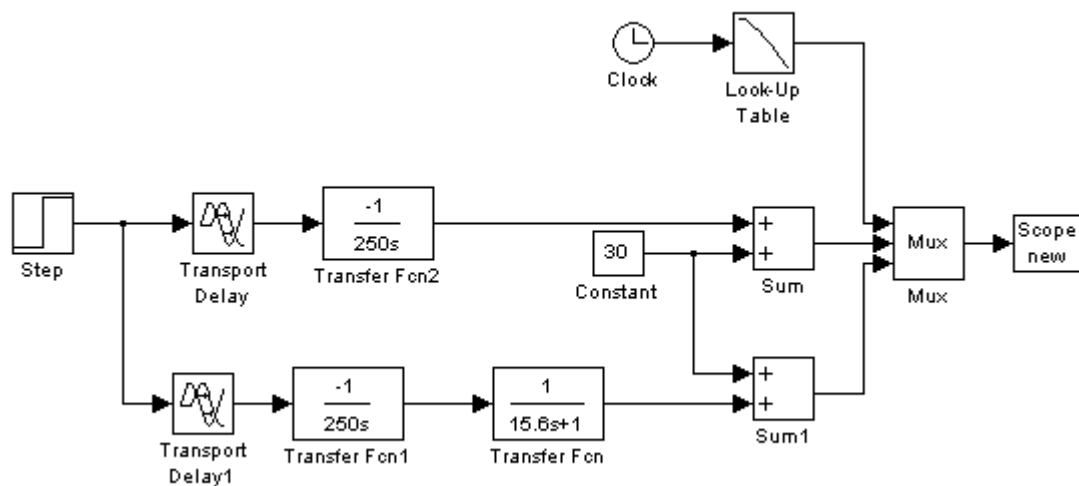


Рис. 2.11 – Схема моделювання каналу управління ОК

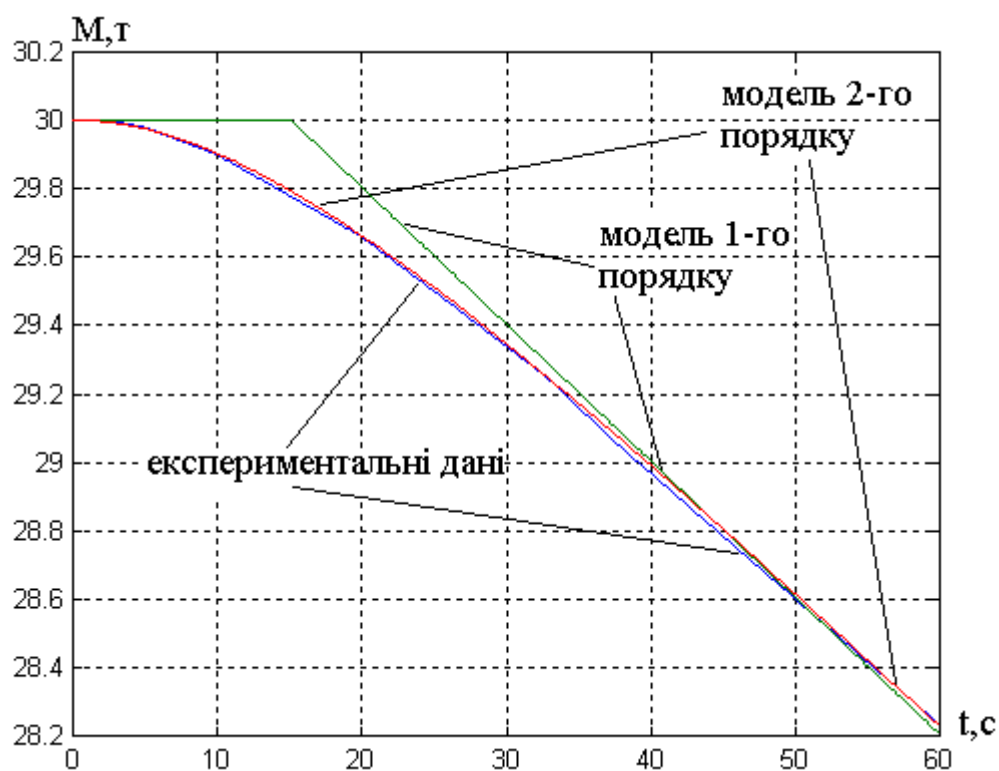


Рис. 2.12 – Результати моделювання ОК по каналу

Як видно з рис. 2.12, моделі ОК як 1-го, так і 2-го порядків досить точно описують експериментальні дані

Для реалізації повної моделі ОК об'єднуємо моделі динаміки каналів ОК. Схема моделювання в середовищі Матлаб, що відображує модель ОК, наведена на рис. 2.13, а результати моделювання – на рис. 2.14

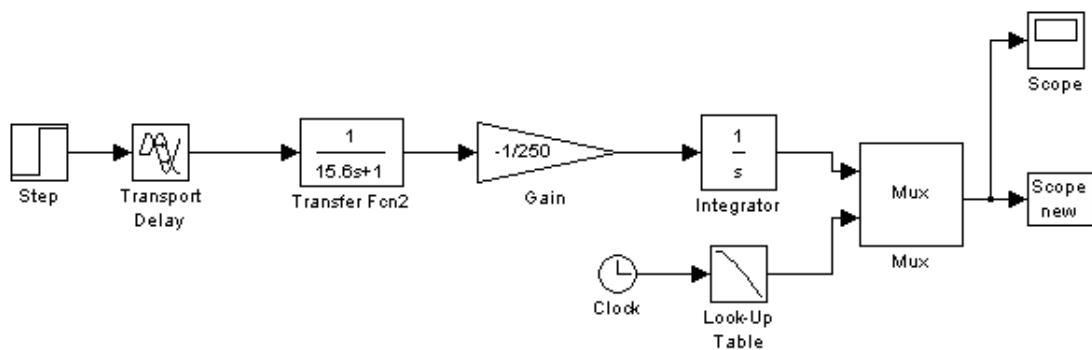


Рис. 2.13 – Схема моделювання повної моделі ОК

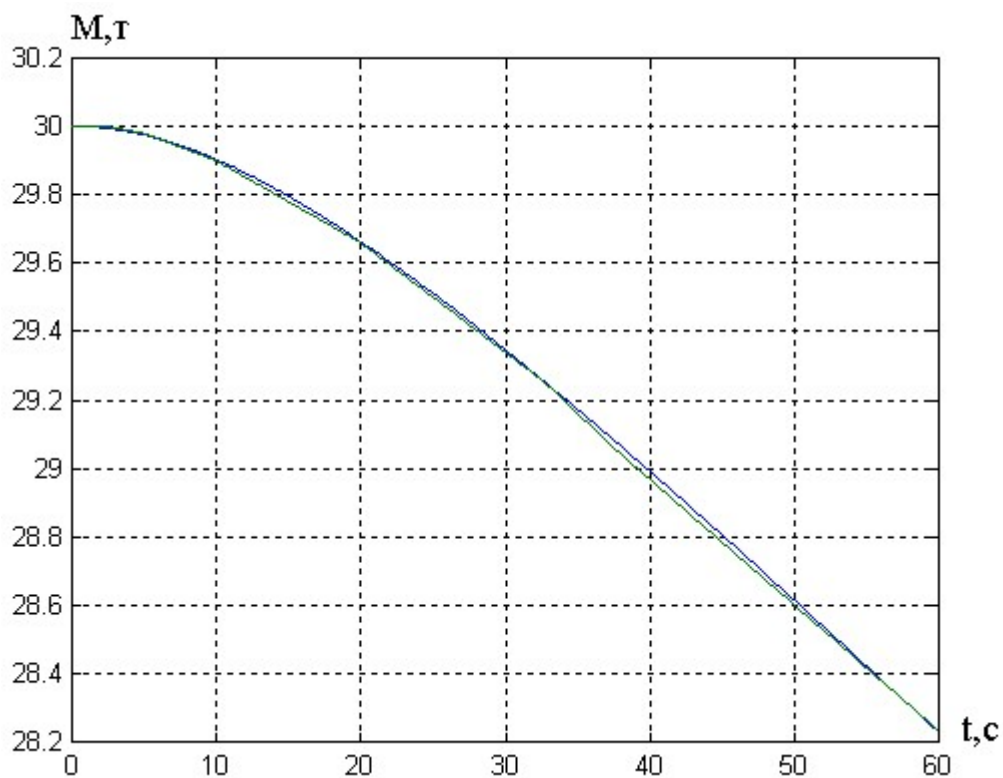


Рис. 2.14 – Результати реалізації повної моделі ОК в середовищі Матлаб

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

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

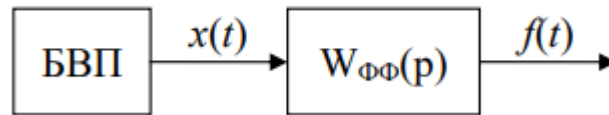


Рис. 2.15– Структурна схема моделі СП

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

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

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

$$S_x(\omega) = \sigma_x^2 \cdot \frac{2 \cdot \Delta t_r}{3}$$

де σ_x – середньоквадратичне відхилення процесу $x(t)$, Δt_r – крок генерації випадкового процесу. Надалі до передаточної функції формуючого фільтра підставляють формули для спектральних щільностей вхідного й вихідного сигналу.

Для моделі №5

$$\begin{aligned} R_f(\tau_k) &= D_f e^{-\alpha|\tau_k|} \cdot \cos(\beta|\tau_k|); \quad S_f(\omega) = \frac{D_f 2\alpha(\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 + 4\alpha^2\omega^2} \\ S_f(j\omega) &= \frac{D_f 2\alpha(-(j)^2\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2)}{(-(j)^2\omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 - 4\alpha^2(j)^2\omega^2} = \\ &= \frac{D_f 2\alpha(\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} + j\omega) \cdot (\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} - j\omega)}{((j^2\omega^2 + \beta^2 + \alpha^2) + 2\alpha j\omega) \cdot ((j^2\omega^2 + \beta^2 + \alpha^2) - 2\alpha j\omega)} = \\ &= \frac{\sqrt{D_f 2\alpha}(\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} + j\omega)}{(j\omega)^2 + 2\alpha j\omega + \beta^2 + \alpha^2} \cdot \frac{\sqrt{D_f 2\alpha}(\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} - j\omega)}{(-j\omega)^2 - 2\alpha j\omega + \beta^2 + \alpha^2} = \end{aligned}$$

Бачимо, що

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

А після заміни

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

Звідси

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

Де

$$k = 2\sqrt{\frac{D_f\alpha}{\alpha^2 + \beta^2}}, \quad T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}, \quad \xi = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}.$$

Для випадкового процесу, що відображає неконтрольовані збурювання:

$$a = 0.0021725$$

$$b = 0.0044768$$

$$\sigma_x = \frac{1,509}{2} = 0,75$$

$$\Delta t_r = \frac{1}{(2 \dots 3) \times a} = \frac{1}{(2 \dots 3) \times 0,0021725} = 230,1 \dots 153,4 \text{ с}$$

Виберемо крок генерації, рівним 160.

$$s_x(w) = \sigma_x^2 \times \frac{2 \times \Delta t_r}{3} = 0,75^2 \times \frac{2 \times 160}{3} = 60$$

$$k = \frac{1}{S_x(w)} \times 2 \sqrt{\frac{D_f a}{a^2 + \beta^2}} = \frac{1}{60} \times 2 \sqrt{\frac{2,277 \times 0,0021725}{0,0021725^2 + 0,0044768^2}} = 0,5$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{a^2 + \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,0021725^2 + 0,0044768^2}} = 200,9$$

$$\varepsilon = \frac{a}{\sqrt{a^2 + \beta^2}} = \frac{0,0021725}{\sqrt{0,0021725^2 + 0,0044768^2}} = 0,43$$

Вихідна передатна функція формуючого фільтра

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

$$W_{\phi\phi}(p) = \frac{0,5p}{200,9^2 p^2 + 2 \times 0,43 \times 200,9p + 1}$$

Сигнал неконтрольованих збурень повинен відповідати таким статистичним параметрам:

$$M_f = 22,38 \text{ т}$$

$$\sigma_f = 1,509$$

$$a = 0.0021725$$

$$b = 0.0044768$$

Схема моделювання буде мати вигляд, наведений на рис. 2.16.

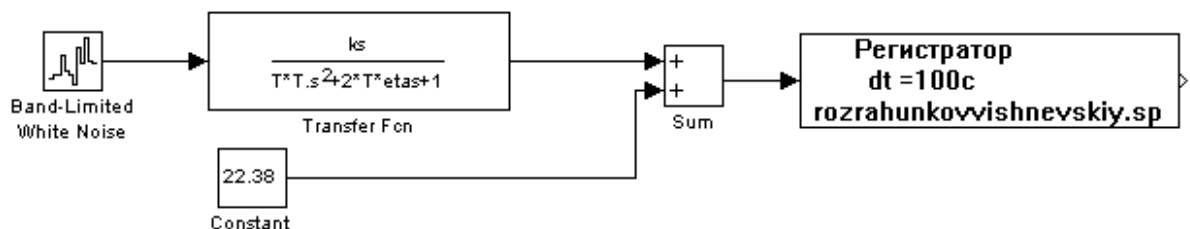


Рис. 2.16 – Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим фільтром, що має розрахункові параметри

У параметрах блоку БВП необхідно встановити такі параметри:

Noise power = $s_x(w) = 60$

Sample time = $\Delta t_r = 100$ с

Seed = 1

Результати моделювання наведені на рис. 2.17.

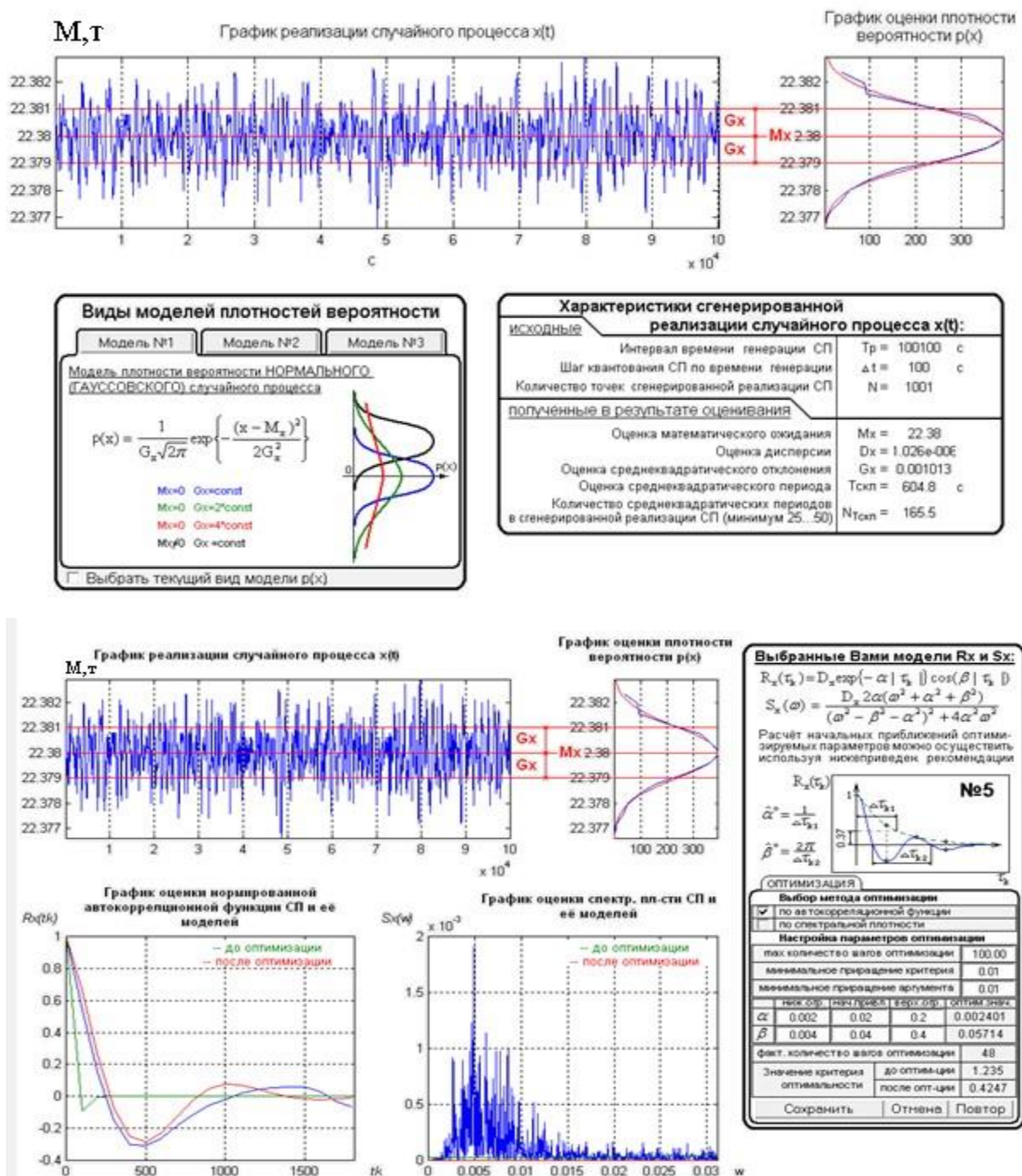


Рис. 2.17 – Результаты моделювання неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \widehat{M}_f|}{M_f} \times 100\% = \frac{|22,38 - \widehat{22,38}|}{22,38} \times 100\% = 0\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \widehat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \times 100\% = \frac{|0,001013 - \widehat{1,509}|}{0,001013} \times 100\% = 148000\%$$

Точність відтворення коефіцієнту спаду:

$$\Delta \alpha_f = \frac{|\alpha - \widehat{\alpha}_f|}{\alpha_f} \times 100\% = \frac{|0,002401 - 0,00\widehat{21725}|}{0,002401} \times 100\% = 9,5\%$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta \beta_f = \frac{|\beta - \widehat{\beta}_f|}{\beta_f} \times 100\% = \frac{|0,05714 - 0,00\widehat{44768}|}{0,05714} \times 100\% = 92\%$$

Похибка відтворення σ_f , α і β більша від 5%, а значить необхідно провести коректування параметрів формуючого фільтра. Після коректування були отримані наступні параметри формуючого фільтра: $k = 847$; $T = 240$ $\zeta = 0,32$.

Схема моделювання остаточного формуючого фільтра наведена на рис. 2.18, а результати моделювання наведені на рис. 2.19.

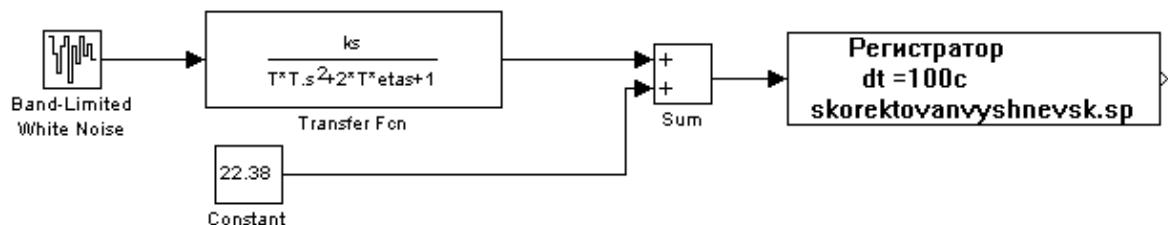


Рис. 2.18 – Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим фільтром, що має скоректовані параметри

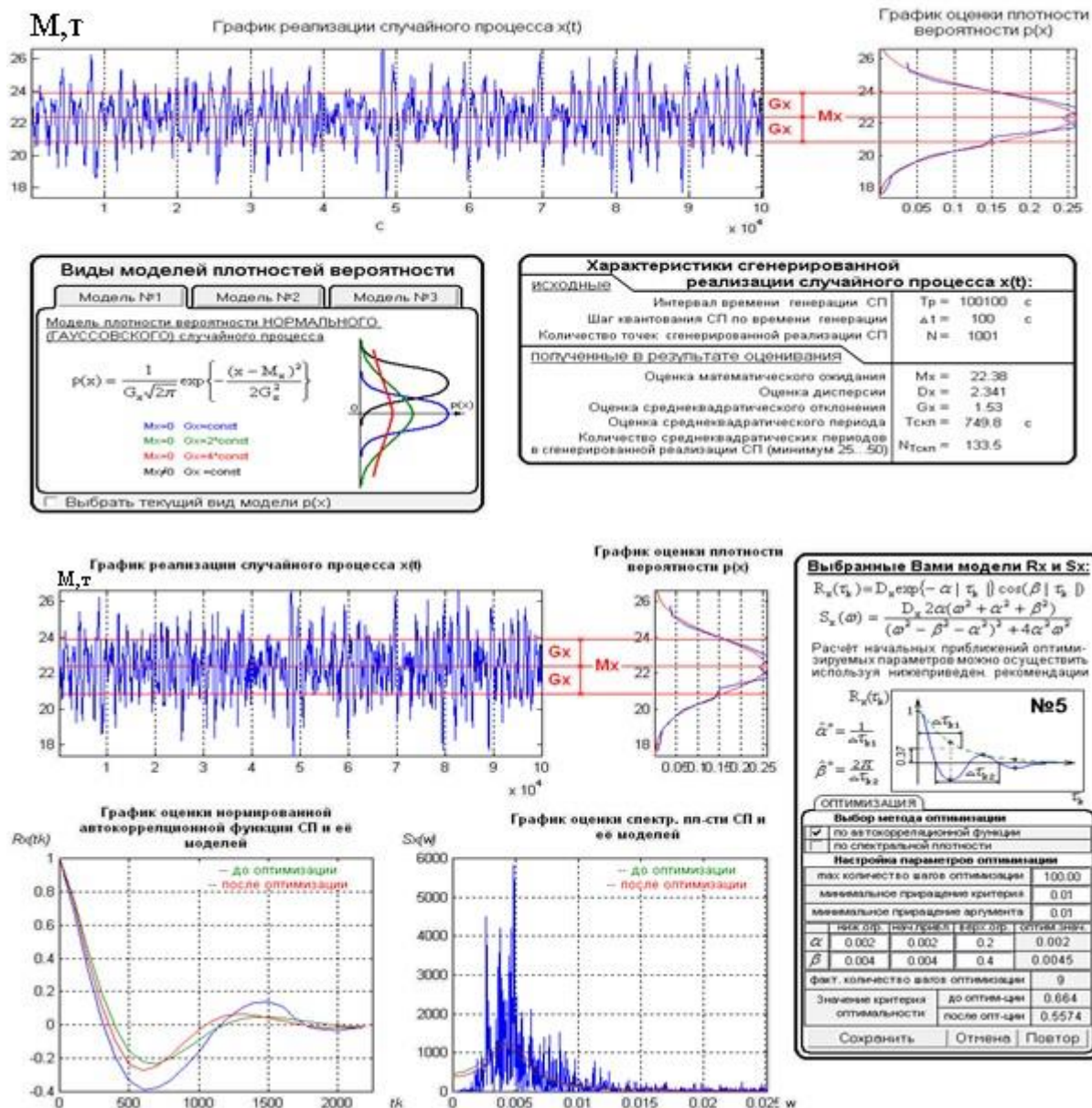


Рис. 2.19 - Результаты моделирования неконтролируемых збурювань із скоректованими параметрами формуючого фільтра

Оцінімо точність відтворення параметрів у моделі.

$$k = \frac{\hat{\sigma}_f}{\sigma_f} \times k_{\text{п}} = \frac{1,509}{1,417} \times 796 = 847$$

$$T=240$$

$$\xi = 0,32$$

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \widehat{M}_f|}{M_f} \times 100\% = \frac{|22,38 - \widehat{22,38}|}{22,38} \times 100\% = 0\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta\sigma_f = \frac{|\sigma_f - \widehat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \times 100\% = \frac{|1,53 - \widehat{1,509}|}{1,53} \times 100\% = 1,3\%$$

Точність відтворення коефіцієнта спаду:

$$\Delta\alpha_f = \frac{|\alpha - \widehat{\alpha}_f|}{\alpha_f} \times 100\% = \frac{|0,001456 - 0,0021725|}{0,001456} \times 100\% = 4,9\%$$

Точність відтворення коефіцієнту коливальності:

$$\Delta\beta_f = \frac{|\beta - \widehat{\beta}_f|}{\beta_f} \times 100\% = \frac{|0,004434 - 0,0044768|}{0,004434} \times 100\% = 0,96\%$$

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

Повна модель ОК містить у собі повну модель каналів і модель вхідних дій. Схема моделювання повної моделі ОК наведена на рис. 2.20.

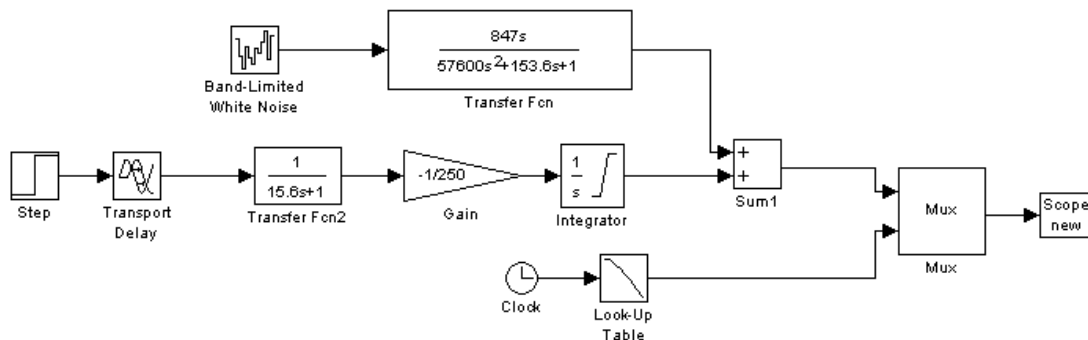


Рис. 2.20 – Схема моделювання повної моделі ОК

Проведемо експерименти з повною моделлю ОК.

Результати експерименту в результаті дії збурень тільки детермінованого характеру наведені на рис. 2.21, в умовах дії стохастичних неконтрольованих збурень – на рис. 2.22.

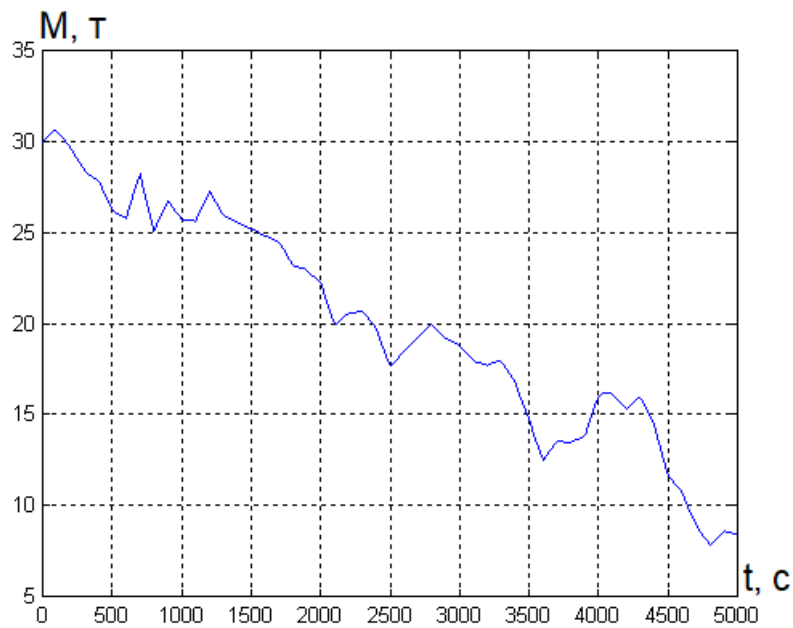


Рис 2.21– Результати експерименту в результаті дії збурень випадкового характеру

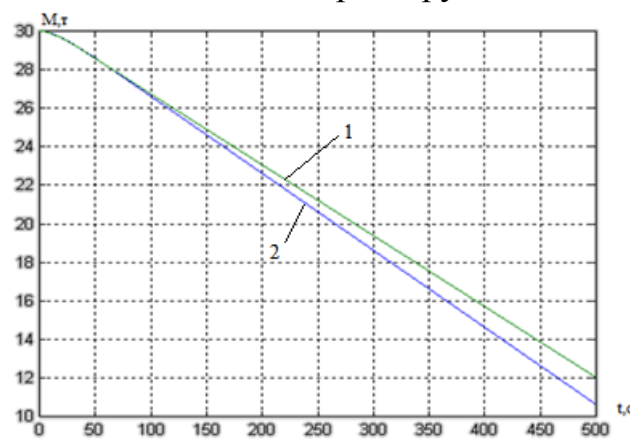


Рис. 2.22 – Результати експерименту в умовах дії стохастичних неконтрольованих збурень: 1 – експериментальні дані; 2 – модель.

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

2.5 Висновки за розділом

Якісна реалізація технологічного процесу керування витоком зерна з приймального бункера залежить від точності підтримки режимного параметра: маси зерна в приймальному бункері.

За каналом об'єкт має астатичні властивості і найбільш точно може бути описаний моделями другого порядку. Ідентифікація моделей каналів ОК, доступних для цілеспрямованої дії, проводилася методом активного експерименту з нанесенням на вхід каналу ступінчастої дії, для параметричної ідентифікації моделей каналу управління застосовувалися методики двох загальних точок для моделей першого і другого порядку.

Відтворення отриманих моделей у середовищі імітаційного моделювання здійснювалося в середовищі моделювання MATLAB.

Далі ця модель була використана для синтезу САР базової структури, а потім і підвищеної динамічної точності.

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

3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом.

Необхідно і доцільно автоматизувати кожну 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 якісної і економічно доцільною реалізації технологічного процесу керування витоком зерна з приймального бункера необхідно регулювати масу M .

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) настройки регуляторів в процесі роботи установки.

Для задачі оптимізації слід автоматизувати пошук оптимального протікання процесу, мінімізувати витрати енергії, брак готової продукції, збільшити продуктивність обладнання. Для процесу пастеризації соку цю задачу можна вирішити, підвищивши вимоги до розв'язання задачі регулювання. Головним джерелом підвищення економічної ефективності цього процесу є зниження витрат електроенергії на реалізацію технологічного процесу.

Процес керування витоком зерна з приймального бункера є об'єктом неперервної дії. Для нього є характерним тривалий робочий режим, на який об'єкт виводять в дистанційному режимі. Режими пуску і зупинки 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.

$$M = f(t)$$

$$M = K \times t + M_0$$

$$K = \frac{\Delta M}{\Delta t} = \frac{-1,8}{60} = -0,03 \text{ т/с}$$

$$M = -0,03t + M_0$$

Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів (див. табл. 1.1) маса M має підтримуватися на рівні 22т з точністю $\pm 0,5$ т. За цим параметром припустимі короточасні відхилення до ± 2 т протягом часу не більше 100 секунд. Регламентна зона за цим параметром наведена на рис. 3.1.

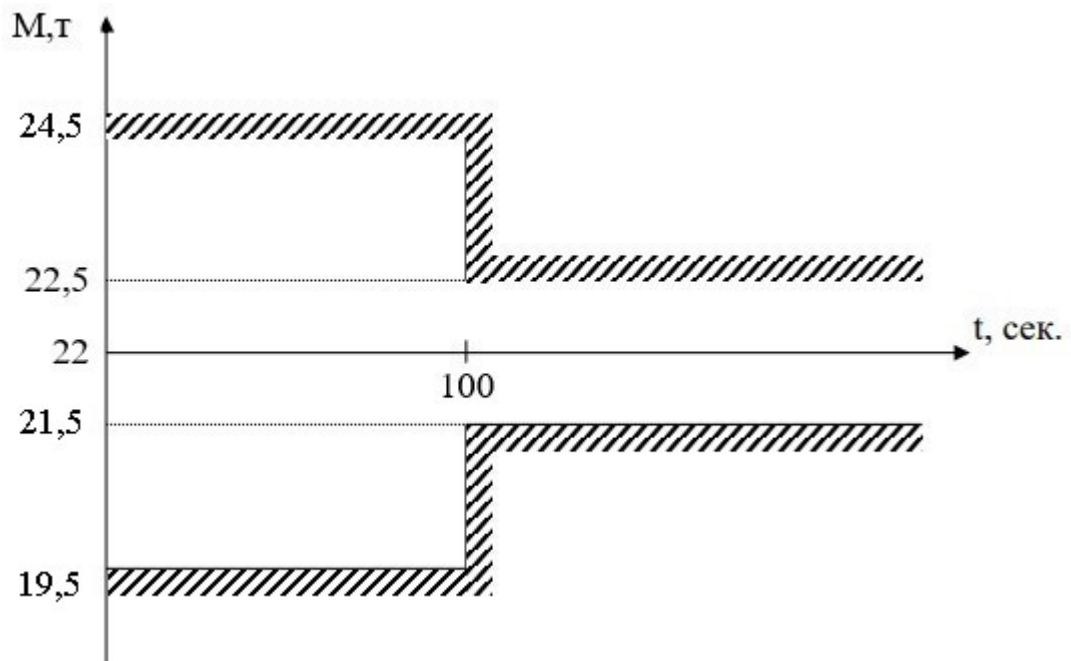


Рис. 3.1 – Регламентна зона для маси зерна в прийомному бункері

Як видно з регламентів на САР для процесу регламентом на функціонування САР висувуються жорсткі вимоги до тривалих відхилень, то в якості критерію доцільно обирати інтегральний модульний критерій, що сильно штрафує незначні відхилення і мало штрафує короточасні відхилення. Рівняння для такого критерію матиме вигляд:

$$J = \int_0^{t_M} [|\Delta M(t)|] dt$$

Основу керування становить інформація про мету керування або про бажаний стан ОУ y^* , про поточний стан ОУ y та про збуреннях f . 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 процесом доступною, крім інформації про бажаний стан ОК (), є інформація про поточний стан ОК (). Такий обсяг інформації для формування керуючого впливу (u) достатній для реалізації замкненого принципу керування. Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР. Структурна схема цього принципу управління приведена на рис. 3.2.

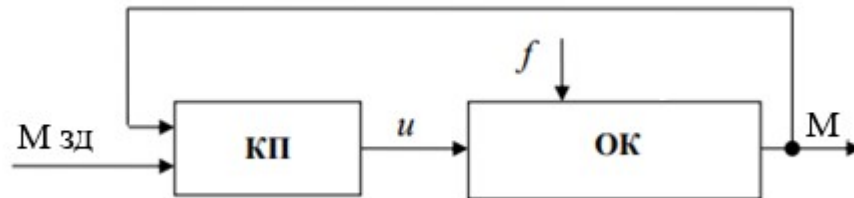


Рис. 3.2 – Структурна схема системи керування, що відповідає замкненому принципу керування

3.2. Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

Відповідно до неї та до структурної схеми, що відповідає замкненому принципу керування (рис. 3.2), структурна схема САР матиме вигляд, наведений на рис. 3.3.

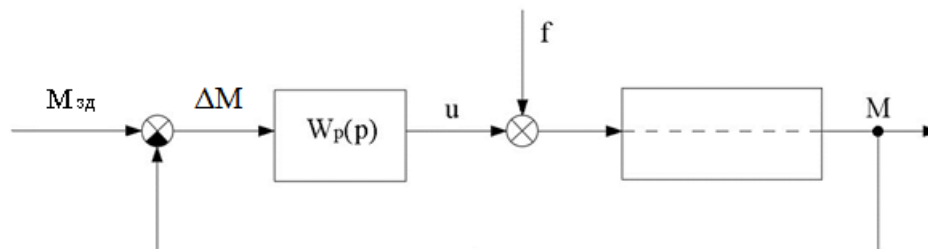


Рис. 3.3 – Структурна схема САР керування витоком зерна з приймального бункера

Процес за каналом має астатичні властивості, тому в якості альтернативних варіантів алгоритмів регулювання обираємо пропорційно-інтегральний (ПІ) і пропорційно інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання.

Рівняння руху ПІ-регулятора

$$u(t) = K_p \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{I3}} \int_0^t \Delta y(t) dt \right) + u_0;$$

Передаточна функція ПІ-регулятора

$$W^p(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{Bp}} \right)$$

Рівняння руху ПД-регулятора

$$u(t) = K_p \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{y3}} \int_0^t \Delta y(t) dt + T_{yH} \frac{d\Delta y(t)}{dt} \right) + u_0;$$

Передаточна функція ПД-регулятора

$$W^P(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{R3}p} + \frac{T_{yn}p}{0,2 \cdot T_{yn}p + 1} \right)$$

$$W_o(p) = \frac{e^{-15p}}{-250p}$$

$$W_o(p) = \frac{e^{-0,3p}}{-250p \times (15,6p + 1)}$$

Структурна схема моделювання САР с ПІ-регулятором наведена на рис. 3.4, а с ПІД-регулятором - на рис. 3.5.

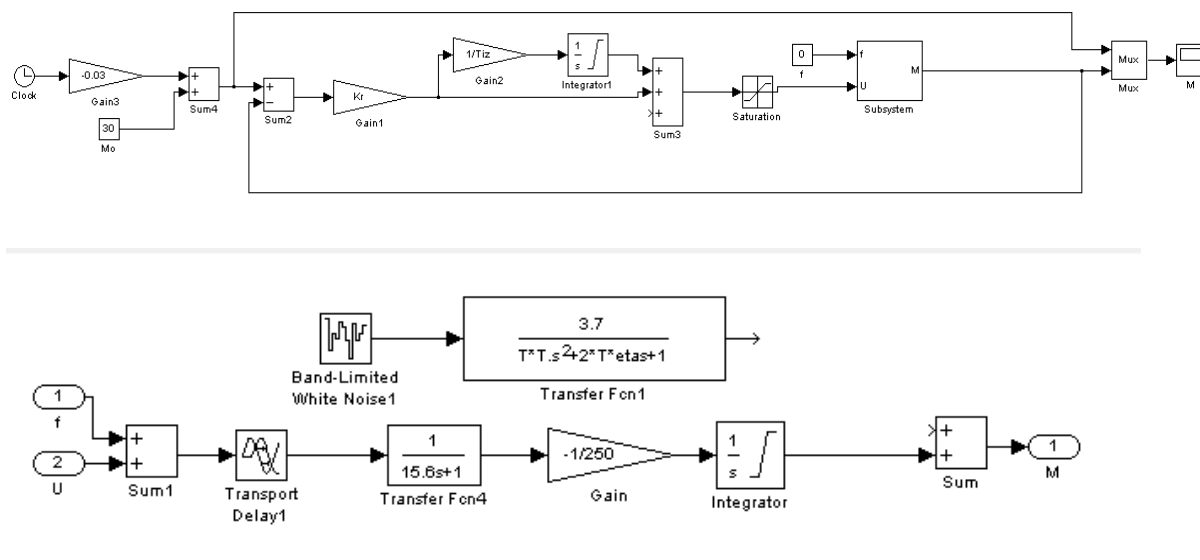


Рис. 3.4 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

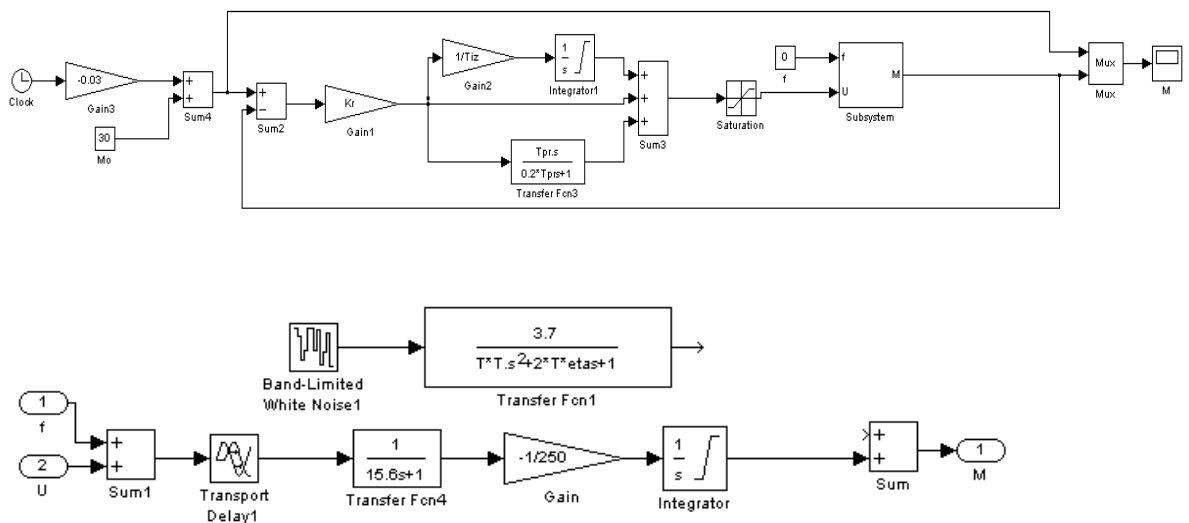


Рис. 3.5 – Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором

Вибір початкових наближень настроювальних параметрів алгоритмів регулювання на основі інженерних методик параметричного (неоптимального) синтезу САР.

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК:

$$W_o(p) = \frac{e^{-15p}}{-250p}$$

Розрахунок параметрів ПІ- регулятора:

$$K_p = \frac{0,7 \cdot T_o}{\tau_o}$$

$$T_{I3} = 4 \cdot \tau_o$$

$$Kp = \frac{0,7 \times 250}{15} = -11,6 \text{ \%х. р. о/т}$$

$$T_{i3} = 4 \times 15 = 60 \text{ с}$$

Розрахунок параметрів ПД- регулятора:

$$K_p = \frac{1,1 \cdot T_o}{\tau_o}$$

$$T_{I3} = 2 \cdot \tau_o$$

$$T_{yII} = (0,5...1) \cdot \tau_o$$

$$Kp = -\frac{1,1 \times 250}{15} = -18,3 \text{ \%х. р. о/т}$$

$$Ti3 = 2 \times 15 = 30 \text{ с}$$

$$Tup = 1 \times 15 = 15 \text{ с}$$

Для оптимального параметричного синтезу САР температури пастеризації соку з ПІ-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.6. Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора наведені на рис. 3.7.

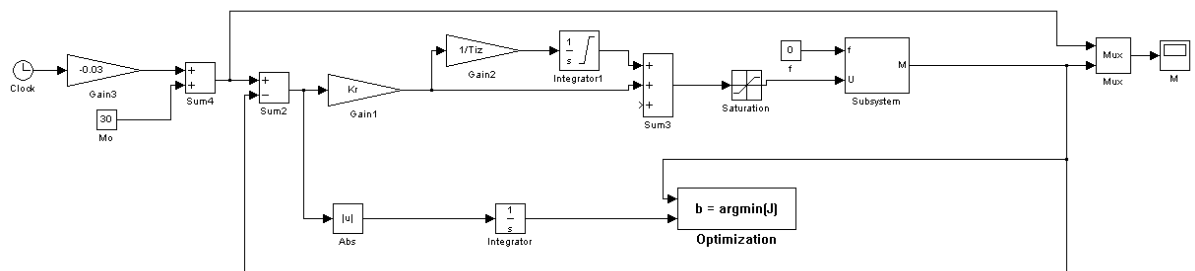
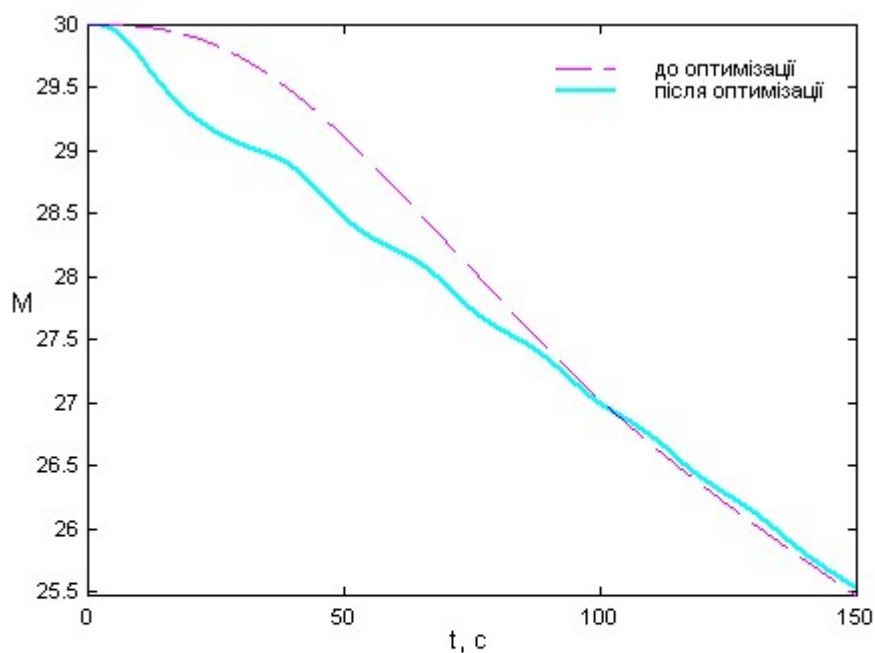


Рис. 3.6 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІ регулятора



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:	
Kr	-348.9954	-1000	-11.6	0	до -	42.0292
Tiz	304.8253	1	60	600	після - оптимізації.	5.0943
					Кількість кроків процедури оптимізації:	
					максимальна -	1000
					фактична -	158

Рис. 3.7 – Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості.

Для оптимального параметричного синтезу САР температури пастеризації соку з ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.8. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рисунку 3.9.

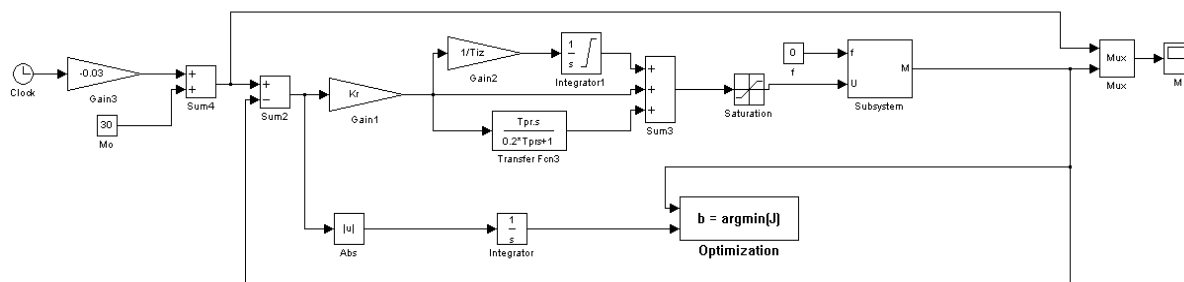
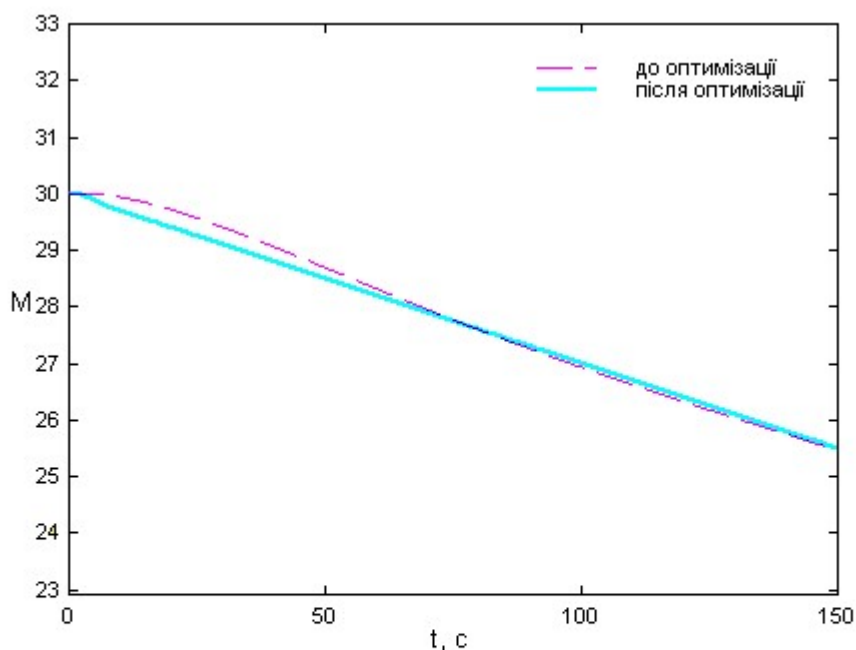


Рис. 3.8 – Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІД-регулятора



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:	
Kr	-550.5166	-1000	-18.3	0	до -	19.2717
Tiz	16.3901	1	30	300	після -	0.25424
Tpr	3.7302	0	15	50	оптимізації.	
					Кількість кроків процедури оптимізації:	
					максимальна -	1000
					фактична -	330

Рис. 3.9 – Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості.

Для проведення порівняльного аналізу САР з ПІ- та ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.10. При цьому структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис. 3.11, а САР з ПІД-регулятором - на рис. 3.12. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 3.13 і в таблиці 3.1.

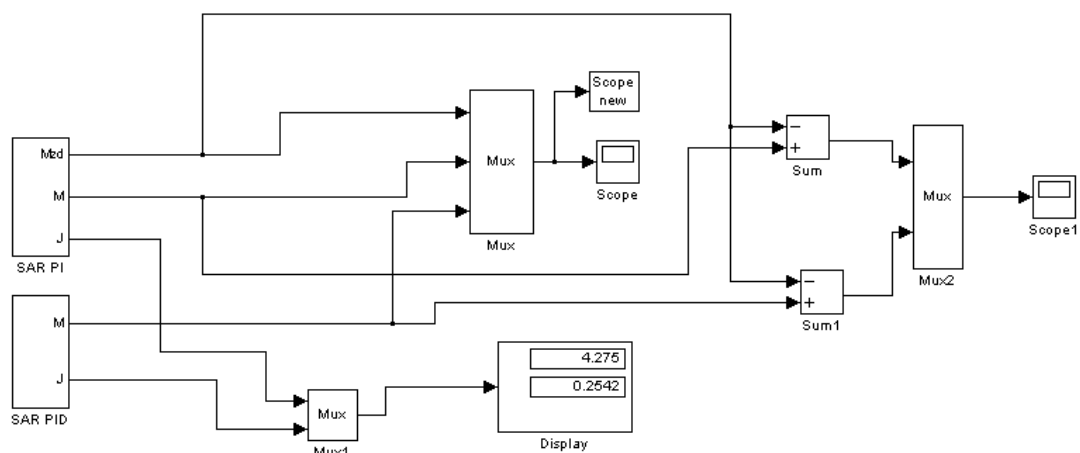


Рис. 3.10 - Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

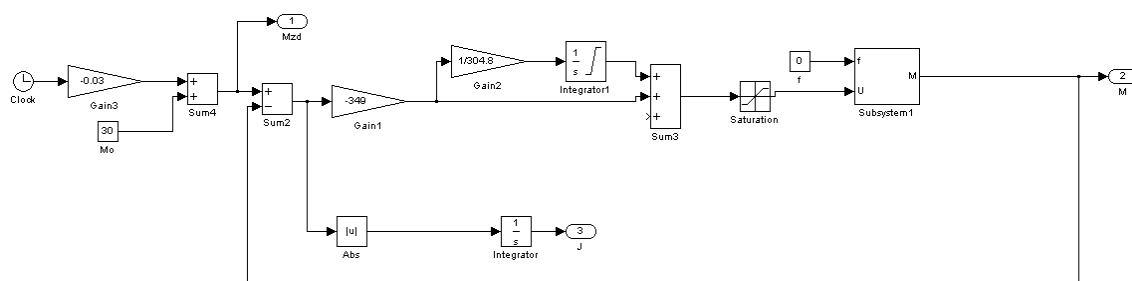


Рис. 3.11 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

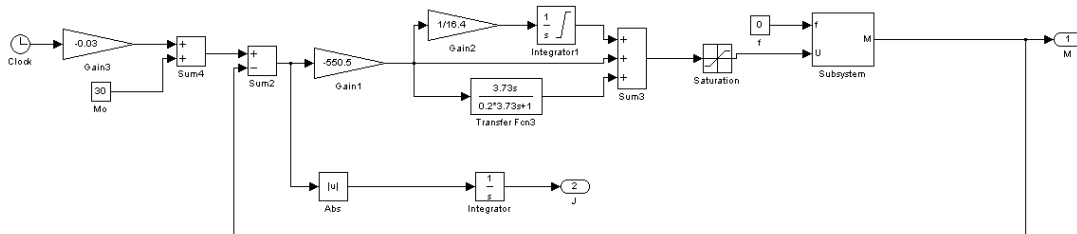


Рис. 3.12 – Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором

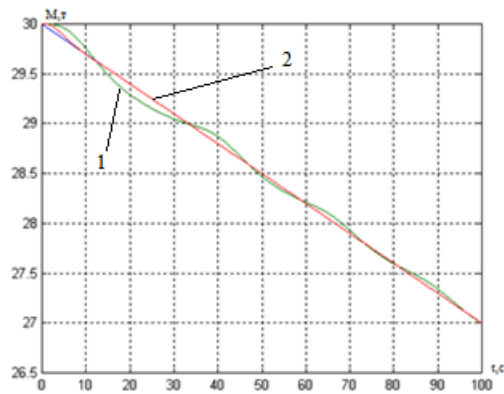


Рис. 3.13 – Результати порівняння варіантів САР: 1 – САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПІД-регулятором.

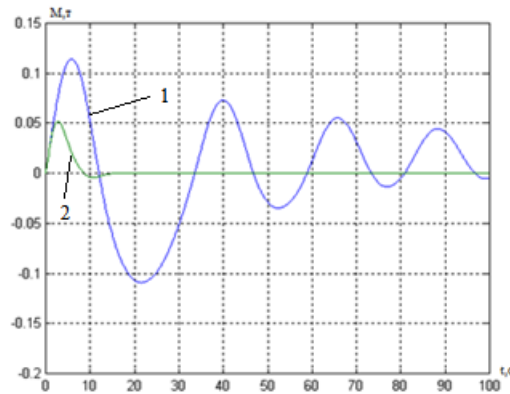


Рис. 3.13 (закінчення) – Результати порівняння варіантів САР: 1 – САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПІД-регулятором.

Таблиця 3.1- – Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta M^{\text{МАКС}}$	$T_{\text{пп}}, \text{с}$	
ПІ	0,11	> 1000	4,275
ПІД	0,052	5,89	0,2542

Як видно з результатів порівняння перехідних процесів, САР з ПІД-регулятором є кращої за усіма показниками. Тому ПІД-закон регулювання будемо використовувати і надалі.

Структурні схеми моделювання для аналізу САР з ПІ- та ПІД-регуляторами на грубість наведені на рис. 3.14 і 3.15.

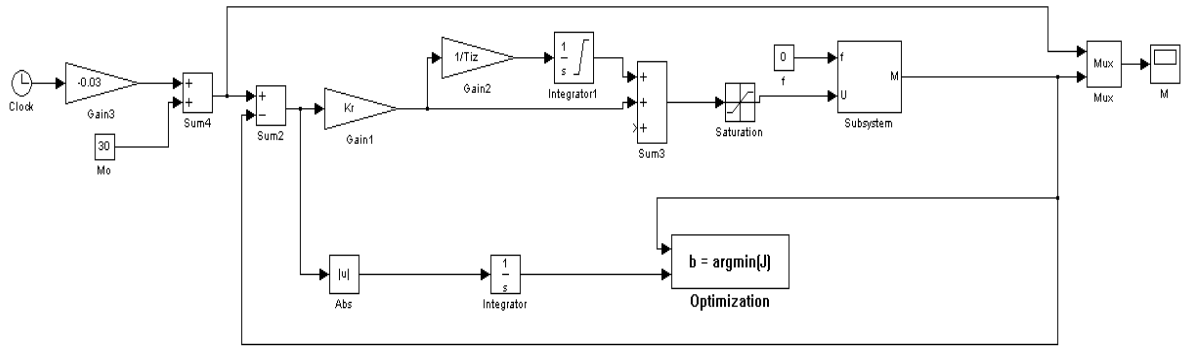


Рис. 3.14– Структурна схема моделювання для аналізу САР з ПІ-регулятором на grubicb

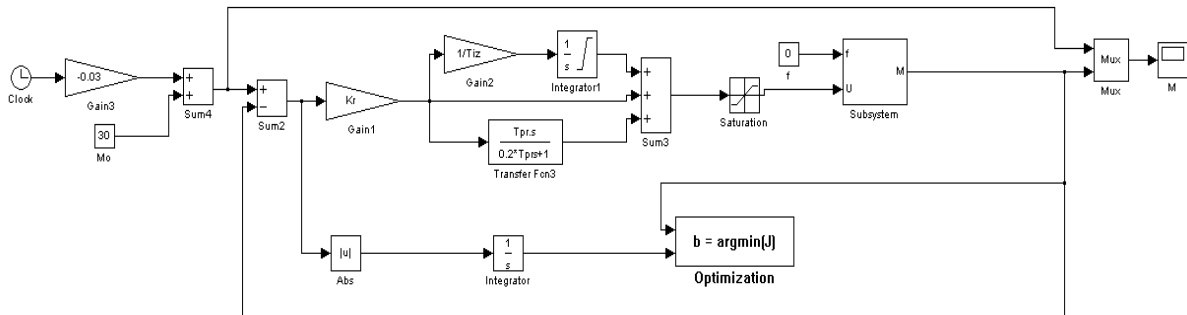


Рис. 3.15 – Структурна схема моделювання для аналізу САР з ПІД-регулятором на grubicb

Результати оцiнки САР з ПІ-регулятором на grubicb наведенi на рис. 3.16, а САР з ПІД-регулятором – на рис. 3.17. Як видно з результатiв, САР i з ПІ-регулятором, i з ПІД-регулятором є gruboю.

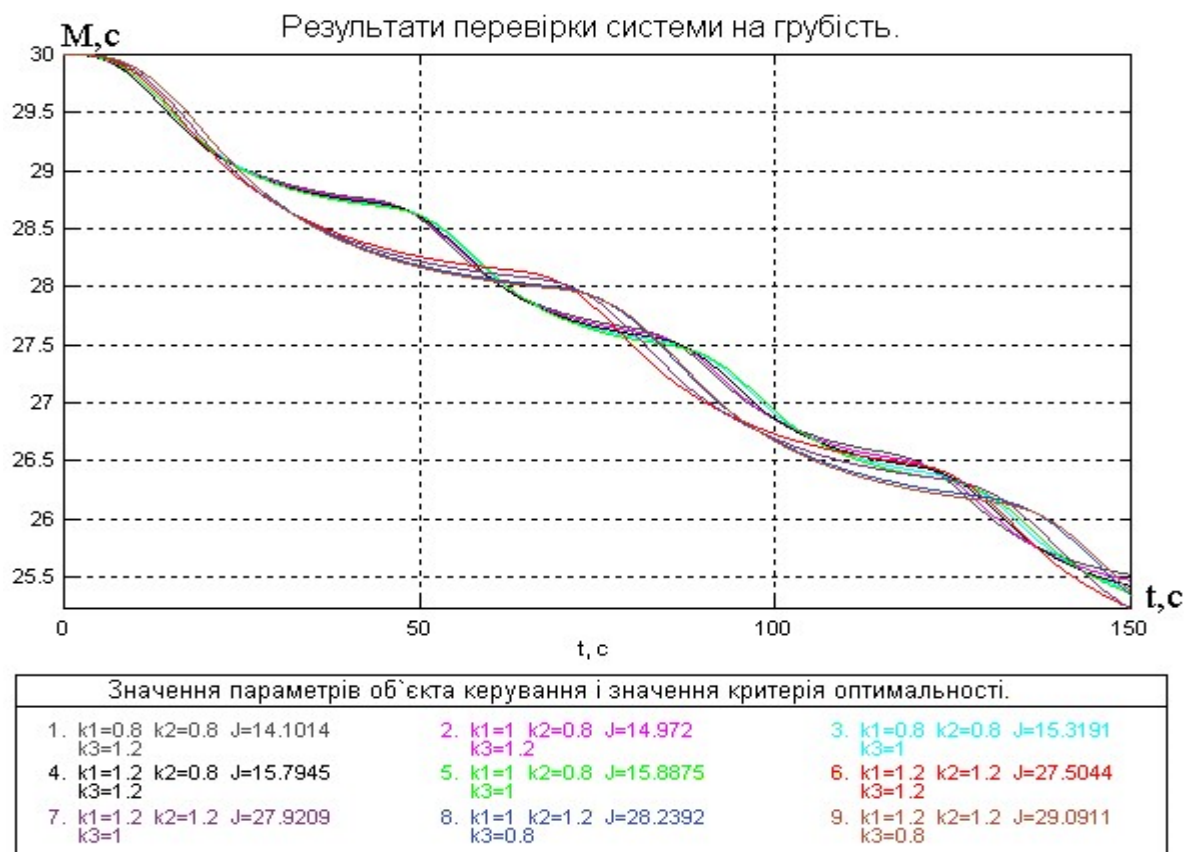


Рис. 3.16 - Аналіз на грубість САР з ПІ-регулятором.

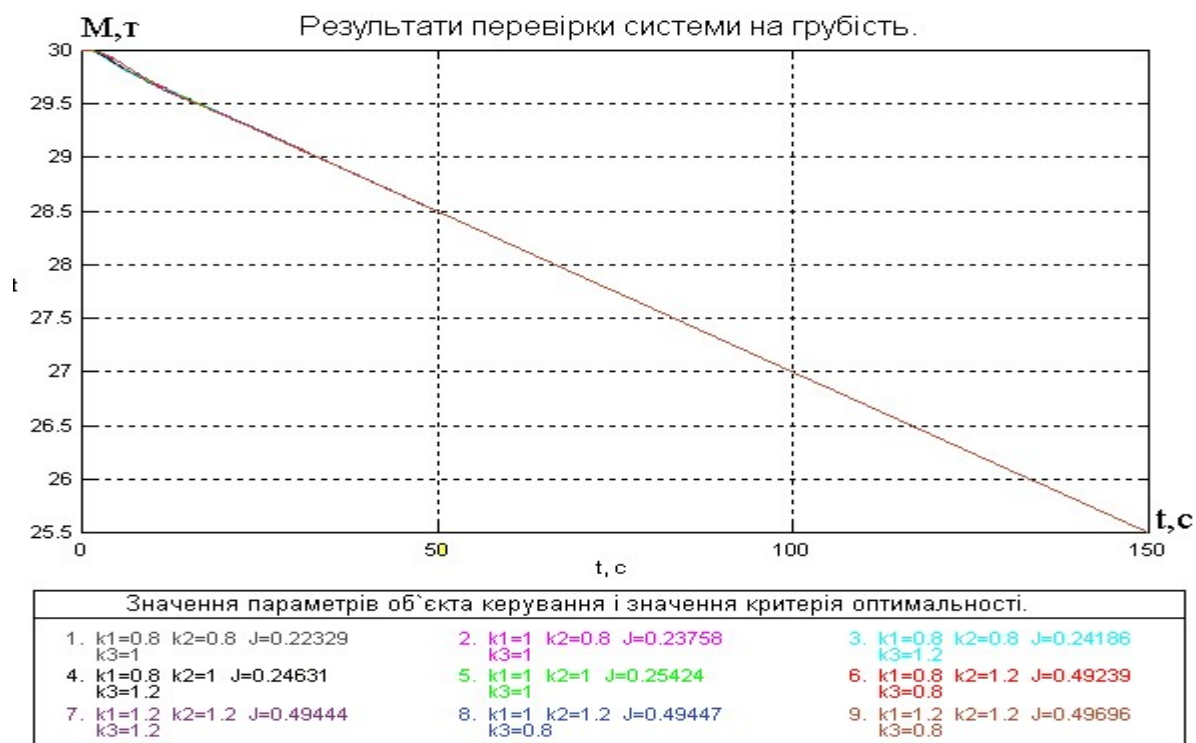


Рис. 3.17- Аналіз на грубість САР з ПІД-регулятором.

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, "найсприятливішим" для керування сполученням параметрів ОК є більший на 20% час запізнення ОК, а "найнесприятливішим" для керування сполученням - на 20% менший час запізнення.

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

Причиною недостатньої точності САР можуть бути зовнішні умови: дія інтенсивних контрольованих і неконтрольованих збурень, інтенсивна зміна завдання САР, а також внутрішні особливості ОУ і САР (значне співвідношення t_0 / T_0 , взаємний вплив каналів в багатовимірної САР).

У нашому випадку основною причиною недостатньої динамічної точності САР є передісторія заданого значення. Основним шляхом підвищення динамічної точності саме розглянутої САР є побудова САР, інваріантної до передісторії заданого значення

Відповідно структурна схема САР, інваріантна до передісторії заданого значення наведена на рис. 3.18.

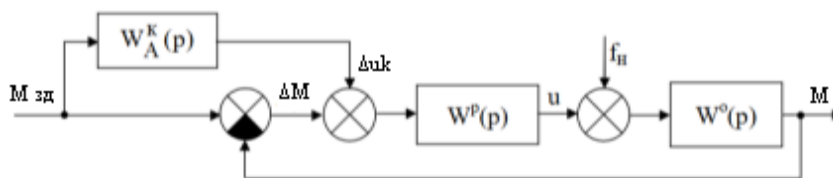


Рис. 3.18 – Структурна схема САР підвищеної динамічної точності

Інваріантність регульованої змінної у відносно передісторії заданого значення уЗД означає, що помилки відтворення в системі дорівнюють нулю

$$\Delta M_{\text{відт}} | M^{\text{зд}} = 0, \forall t > 0$$

Розглянемо рівняння руху САР за каналом завдання у загальному вигляді:

$$y_{y^{зд}} = W_{y^{зд}y}^C(p) \cdot y^{зд}$$

Помилка відтворення $\Delta y_{\text{відтв}} = y^{зд} - y = 0$ якщо буде виконано

умову $W_{y^{зд}y}^C(p) = 1$

Запишемо передаточну функцію системи за каналом завдання:

$$\begin{aligned} W_{y^{зд}y}^C(p) &= \frac{W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p)}{1 + W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p)} + \frac{W^K(p) \cdot W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p)}{1 + W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p)} = \\ &= \frac{W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p) + W^K(p) \cdot W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p)}{1 + W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p)} = 1 \end{aligned}$$

Для виконання умови необхідно, щоб чисельник дорівнював знаменнику:

$$\begin{aligned} W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p) + W^K(p) \cdot W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p) &= 1 + W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p) \\ W^K(p) \cdot W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p) &= 1 + W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p) - W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p) \\ W^K(p) &= \frac{1}{W^p(p) \cdot W_{uy}^o(p)} \quad (\end{aligned}$$

Якщо в якості ОК ми розглядаємо об'єкт з астатичними властивостями, то його передаточні функції матимуть вигляд:

$$W_{uy}^o(p) = \frac{e^{-\tau_u p}}{T_u p}$$

$$W_o(p) = \frac{e^{-15p}}{-250p}$$

Якщо в якості регулятора розглядатимемо ПІД-регулятор, то його передаточна функція матиме вигляд:

$$W^P(p) = k_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{ІЗ}p} + T_{уП}p\right) = k_P \cdot \frac{T_{ІЗ} \cdot T_{уП} \cdot p^2 + T_{ІЗ}p + 1}{T_{ІЗ}p}$$

$$\begin{aligned} W^p(p) &= 550.5_p \times \left(1 + \frac{1}{16.39p} + 3.73p\right) \\ &= -550.5p \cdot \frac{60.8p^2 + 16.4p + 1}{16.4p} \end{aligned}$$

Проведемо підстановку, отримаємо:

$$\begin{aligned} W^K(p) &= \frac{1}{k_P \cdot \frac{T_{ІЗ} \cdot T_{уП} \cdot p^2 + T_{ІЗ}p + 1}{T_{ІЗ}p} \cdot \frac{e^{-\tau_u p}}{T_u p}} = \\ &= \frac{1}{k_P} \cdot e^{\tau_u p} \cdot \frac{T_{ІЗ} \cdot T_u \cdot p^2}{T_{ІЗ} \cdot T_{уП} \cdot p^2 + T_{ІЗ}p + 1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W^K(p) &= \frac{1}{-550.5p \times \frac{60.8p^2 + 16.4p + 1}{16.4p} \times \frac{e^{-15p}}{-250p}} \\ &= e^{15p} \times \frac{6.1p^2}{60.8p^2 + 16.4p + 1} \end{aligned}$$

Отримана передатна функція коригувального зв'язку не є фізично нереалізованою, оскільки містить ланку чистого випередження. Для забезпечення фізичної реалізованості передавальної функції зробимо заміну:

$$e^{\tau_u p} \approx 1 + \frac{\tau_u p}{0.1\tau_u p + 1}$$

$$e^{-15p} = 1 + \frac{15p}{1.5p + 1} = \frac{16.5p + 1}{1.5p + 1}$$

Тоді передатна функція фізично реалізованого коригувального зв'язку матиме вигляд:

$$W^K(p) = \frac{16.5p + 1}{1.5p + 1} \cdot \frac{6.1p^2}{60.8p^2 + 16.4p + 1}$$

Структурна схема моделювання передавальної функції коригуючого зв'язку наведена на рис. 3.19, а її перехідна характеристика – на рис. 3.20.

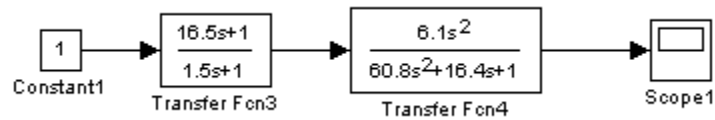


Рис. 3.19 – Структурна схема моделювання передавальної функції коригувального зв'язку

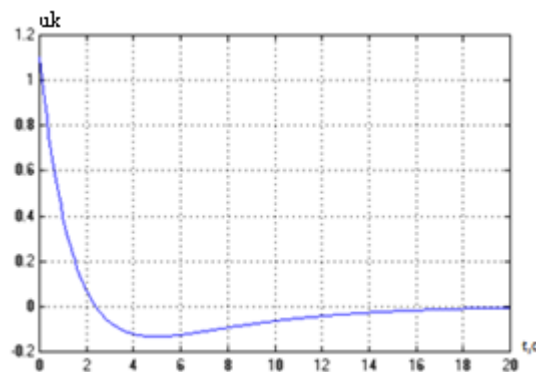


Рис. 3.20– Перехідна характеристика коригуючого зв'язку

Приклад розглянемо для раніше отриманої ПФКЗ

Отримана передаточна функція коригуючого зв'язку представлена занадто складною передаточною функцією, тому її доцільно спростити при збереженні її диференціюючих властивостей. Спрощена передаточна функція коригуючого зв'язку матиме вигляд:

$$W^K(p) = K_K \cdot \frac{T_K p^2}{(T_K p + 1)^2}$$

Представимо передаточну функцію з'єднанням типових ланок. Схема моделювання спрощеного коригуючого зв'язку на рис. 3.21.



Рис. 3.21 – Структурна схема моделювання спрощеного коригуючого зв'язку

В якості початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку прийемо такі значення параметрів: $K_K = 0,17$; $T_K = 8,2$ с. Для уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку скористаємося схемою моделювання, наведеної на рис. 3.22.

Результати розрахунку початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку наведені на рис. 3.23, а результати моделювання – на рис. 3.24.

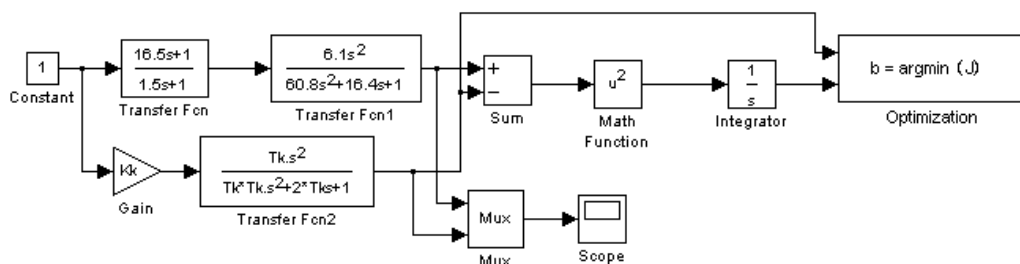
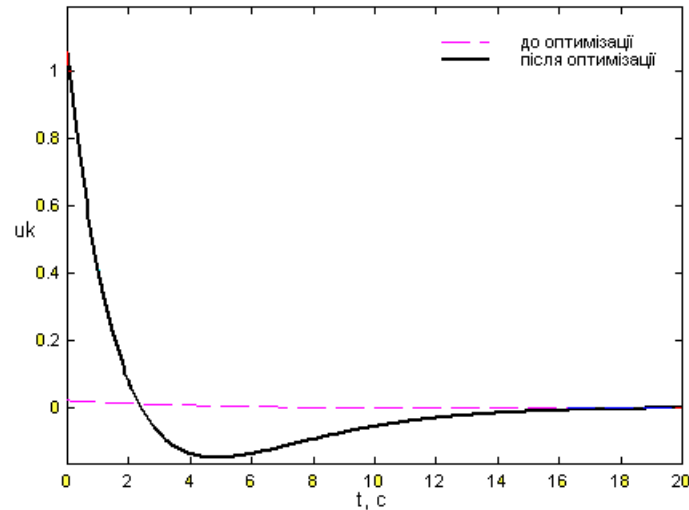


Рис. 3.22 – Схема моделювання для уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
K_K	2.6486	-10	0.17	10	до - 0.71762
T_K	2.4991	0.2	8.2	100	після - 0.0020547
					оптимізації.
					Кількість кроків
					процедури оптимізації:
					максимальна - 1000
					фактична - 82

Рис. 3.23 – Результати розрахунку початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку

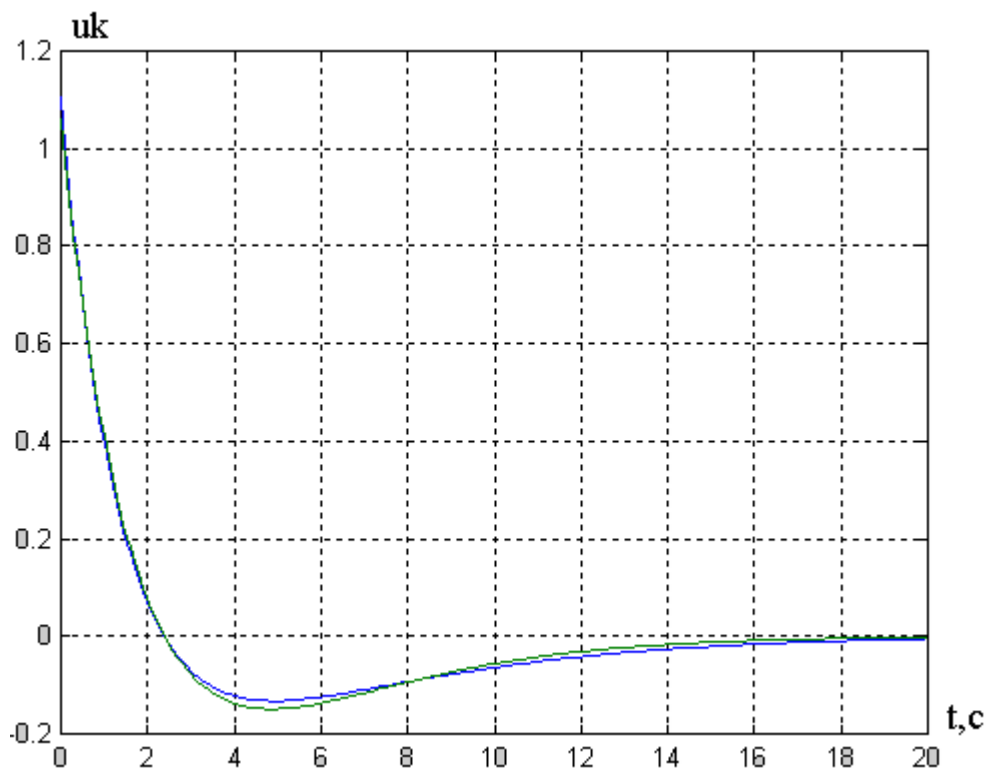


Рис. 3.24 – Перехідні характеристики розрахункового 1 та спрощеного 2 коригуючого зв'язку

Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу коригуючого зв'язку приведена на рис. 3.25, а результати оптимізації - на рис. 3.26.

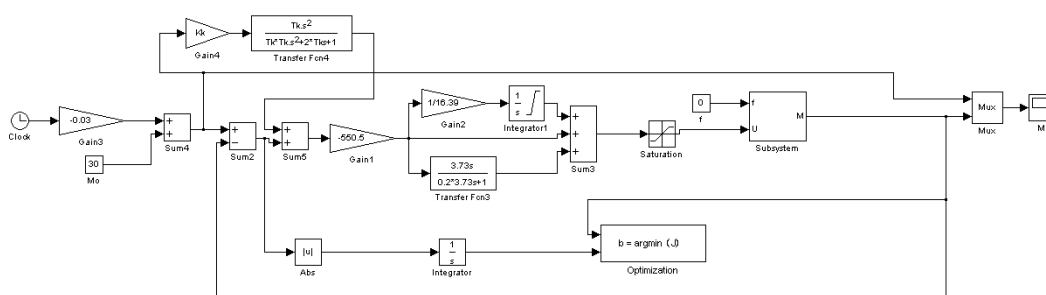
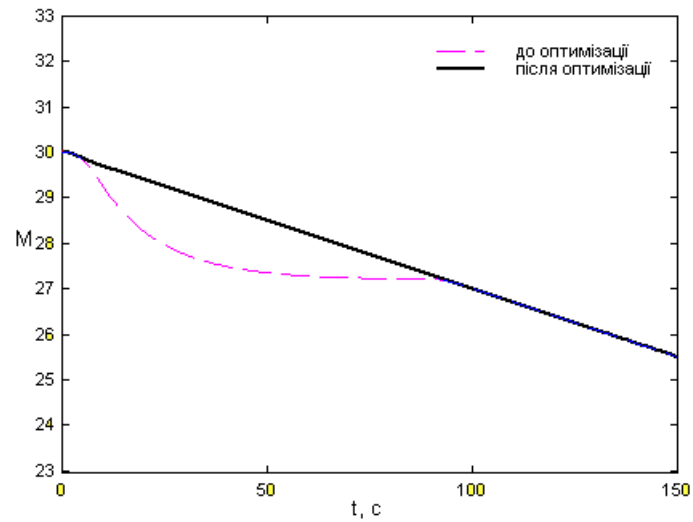


Рис. 3.25 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу коригуючого зв'язку



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kk	0.00083027	-10	2.6486	10	до - 74.3648
Tk	0.85849	0.2	2.4991	100	після - 0.23431
					оптимізації.
					Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1000
					фактична - 104

Рис. 3.26 – Результати оптимізації параметрів коригуючого зв'язку

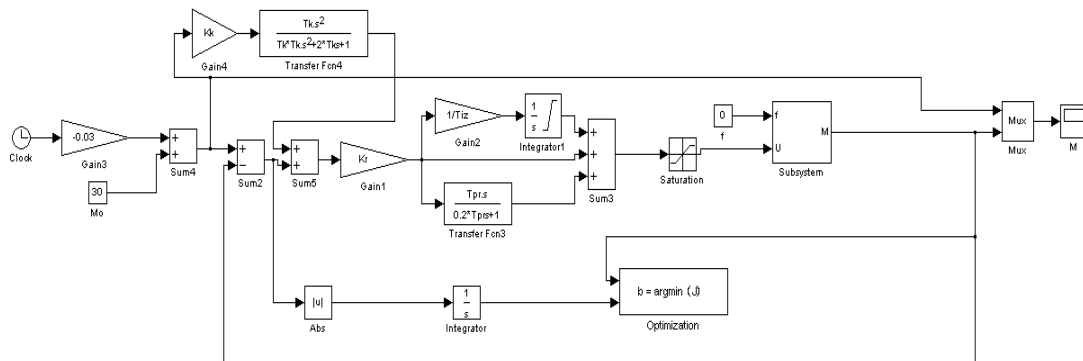


Рис 3.27 - Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу коригуючого зв'язку та регулятора

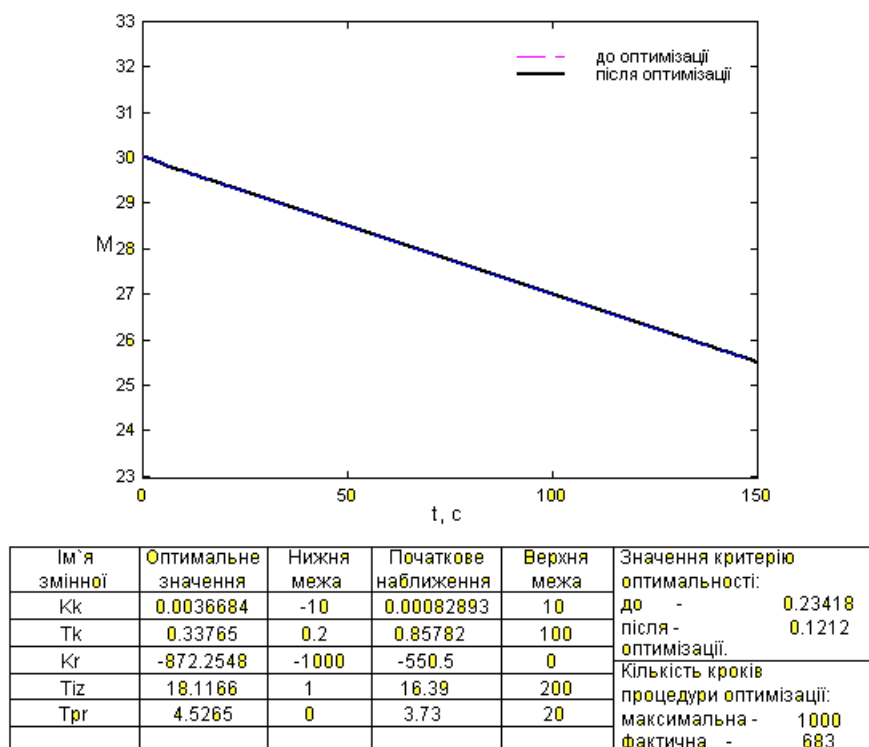


Рис 3.28 Результати оптимізації параметрів коригуючого зв'язку і регулятора

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

Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК наведено на рис. 3.29.

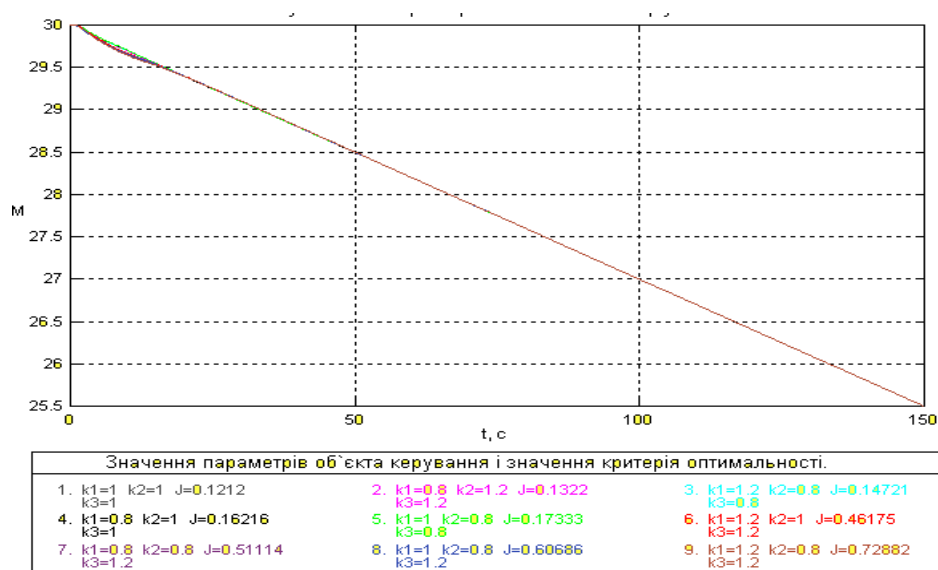


Рис 3.29 – Аналіз САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК.

Як видно з результатів оцінки САР на грубість, в умовах варіації параметрів ОК САР дає перехідні процеси, що сходяться, а значить, САР є грубою.

Для порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності розроблено структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.30-3.32. В якості САР базової структури розглядається САР з ПІД-регуляторами (рис. 3.31). Результати порівняння наведені на рис. 3.33 і в таблиці 3.2

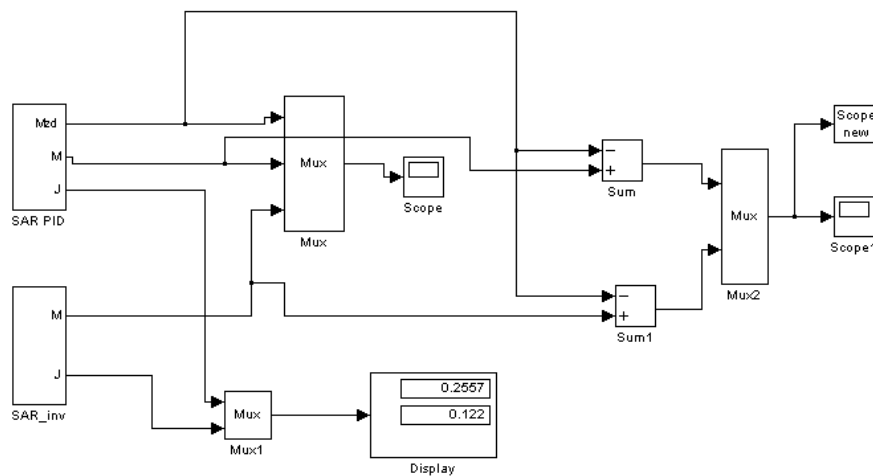


Рис. 3.30 – Структурна схема моделювання для порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності.

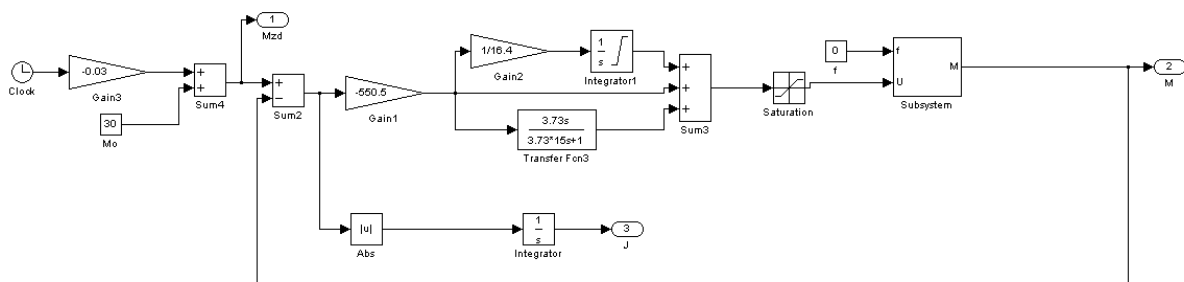
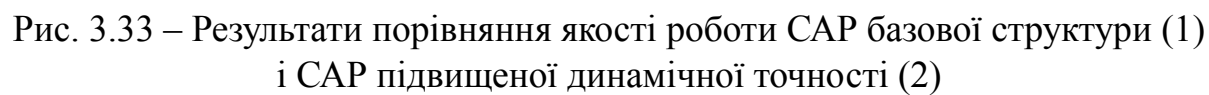
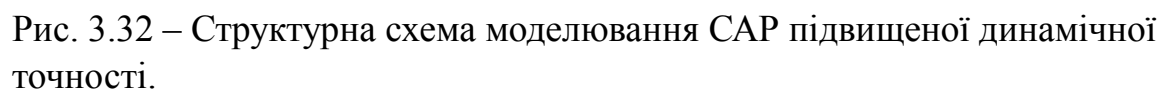


Рис. 3.31 – Структурна схема моделювання САР базової структури



Таблиця 3.2 – Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta M^{\text{МАКС}}$	Т _{пп} , с	
ПІД	0,052	5,88	0,2557
Інваріантна	0,0345	3,43	0,122

3.4 Висновки за розділом

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

Після проведення процедури оптимізації параметрів ПІ-регулятора коефіцієнт передачі збільшився на 3072%, час ізодрому збільшився на 408%, інтегральний критерій зменшився на 88%. Після проведення процедури оптимізації параметрів ПІД-регулятора коефіцієнт передачі збільшився на 2961%, час ізодрому зменшився на 47%, час упередження зменшився на 74%, інтегральний критерій зменшився на 99%.

Введення до алгоритму регулювання Д-складової призводить до зменшення інтегрального критерію на 95%.

САР підвищеної динамічної точності задовольняє гранично припустимим вимогам, а за температурою охолодженої води перехідний процес і взагалі не виходить за межі зони незначних відхилень.

Після підвищення динамічної точності САР інтегральний критерій зменшився на 52%, максимальне динамічне відхилення зменшилося на 34%, час перехідного процесу зменшився на 42%.

САР підвищеної динамічної точності є грубою.

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 Пуск ділянки необхідно здійснювати за принципом «з кінця».

Для перевірки умов, необхідних для пуску, необхідно перевірити наявність робочого рівня продукту у прийомних бункерах БП1 та БП2 і відсутність максимально припустимого рівня продукту у силосах. Для забезпечення передпускової сигналізації необхідно включити звуковий сигналізатор, витримати час Т і виключити звуковий сигналізатор. Для забезпечення транспортування продукту необхідно включити:

стрічковим конвеєром КЛ 2.2

норією КН 1.1 з поворотною трубою ПТ

конвеєрами скребковими КС 2.3 , КС 2.4

живильниками КС 2.1, КС 2.2

Після їх почергового включення необхідно зробити відповідну витримку часу для виведення їх на робочий режим. Для подачі продукту на транспортування необхідно вімкнути живильники КС 2.1, КС 2.2.

Нормальну зупинку потоково-транспортної системи слід проводити за принципом «з початку».

Для припинення подачі продукту необхідно вімкнути живильники КС 2.1 та КС 2.2. Для вироблення продукту бункерів БП1, БП2 з живильниками КС 2.2 і КС 2.1. , необхідно зробити витримку часу Т1 , а потім виключити їх приводи М1 і М2. Аналогічні операції слід провести для скребкових конвеєрів КС 2.3 та КС 2.4, для норії КН 1.1 з поворотною трубою ПТ, і нарешті стрічкового конвеєра КЛ 2.2.

Аварійна зупинка розпочинається з спрацьовування аварійної сигналізації. Машини (КС 2.4, норією КН 1.1 з поворотною трубою ПТ, КЛ 2.2) , які знаходяться після аварійного обладнання (наприклад конвеєр КС 2.3) продовжують виконувати роботу до кінцевого маршруту (і згодом вимикаються з завершенням процесу транспортування) , а машини влаштовані перед аварійним обладнанням (живильники КС 2.1, КС 2.2) вимикаються одразу.

Охорона праці (О.Т.) - являє собою систему законодавчих актів і відповідних їм соціально - економічних , технічних , гігієнічних і організаційних заходів , що забезпечують безпеку , збереження здоров'я і працездатність людини в процесі праці .

До роботи допускаються особи , які успішно склали іспит з правил техніки безпеки і протипожежної безпеки . Крім того , на кожному робочому місці повинен бути проведений інструктаж з правил безпеки обслуговування машин і механізмів та протипожежної безпеки .

Перелік заходів забезпечують ослаблення / усунення небезпечних шкідливих факторів ,

1. Всі неструмоведучі частини (металеві оболонки кабелів , кабельні муфти) , які можуть опинитися під напругою , приспінюють металевими провідниками до магістралі заземлення , з'єднаної з заземлювачем ;
2. Дотримання відповідних відстаней до струмоведучих частин або шляхом закриття , огороження струмоведучих частин :
3. Надійне і швидкодіюче відключення електрообладнання , що випадково опинилося під напругою ;
4. Застосування попереджувальної сигналізації , а також написів , плакатів .

Загальні вимоги по техніці безпеки при обслуговуванні механізмів .

1. Приступаючи до обслуговування механізму , необхідно вивчити інструкцію по його експлуатації :
2. Перед включенням механізму слід упевнитися в його справності і в тому , що пуск його нікому не загрожує небезпекою ;
3. Виявивши під час огляду будь - які несправності в механізмі або його органи безпеки , слід повідомити про це майстра і до усунення їх до роботи не приступати .

Забороняється :

1. стосуватися рухомих частин механізму і спиратися на нього :
2. при попаданні в рухомий механізм будь - якого предмета витягати його на ходу (слід негайно зупинити механізм і , повільно обертаючи деталі механізму вручну , звільнити затягнутий предмет) :

3. брати або передавати через працюючий механізм предмети ;
4. чистити , змащувати , ремонтувати механізм на ходу ;
5. користуватися рукавичками та рукавицями при роботах , де є небезпека захоплення їх обертовими частинами ;
6. користуватися несправними засобами індивідуального захисту ;
7. допускати на своє робоче місце осіб , що не мають відношення до виконуваної роботи .

Вимоги до експлуатації АРМ оператора ТП .

Приміщення з керуючим комп'ютером (терміналом оператора) повинно бути обладнане системами опалення , кондиціонування повітря або припливно - витяжною вентиляцією .

При експлуатації персонального комп'ютера оператору АСУ ТП необхідно дотримуватися наступних правил техніки безпеки :

1. категорично забороняється зняття захисних кришок з блоків живлення , моніторів і т.д. , так як в цих пристроях використовуються напруги небезпечні для життя ;
2. забороняється експлуатація при попаданні рідини всередину і на поверхні комп'ютера і периферійних пристроїв ; роботи :
3. зберігання біля монітора , а також на корпусі комп'ютера паперів , папок , дискет , інших носіїв інформації , запасних блоків , деталей тощо , якщо вони не використовуються для поточної роботи :
4. забороняється затуляти вентиляційні отвори периферійних пристроїв і системного блоку ,
5. Не рекомендується розташовувати монітор комп'ютера ближче 45 см від голови людини , монітор забезпечений вакуумно - променевою трубкою і є джерелом слабого електромагнітного випромінювання ;
6. забороняється залишати включене обладнання на тривалий час без нагляду оператора :
7. самостійно змінювати конфігурацію комп'ютера .

Вимоги до висвітлення в приміщенні .

Світло має основне значення для роботи і збереження здоров'я людини , оскільки впливає на органи зору , а через них на центральну нервову систему.

Рациональне освітлення виробничих приміщень відіграє істотну роль в утворенні сприятливих і безпечних умов роботи .

Недостатнє або неякісне освітлення змушує працюючого ближче нахилитися до оброблюваної деталі , що збільшує небезпеку пошкодження обличчя та очей . Наявність в полі зору працюючого джерела світла великої яскравості заважає розпізнаванню рухомих деталей , частин обладнання , що сприяє травматизму .

До висвітлення виробничих приміщень висувають такі загальні вимоги :

1. освітленість повинна бути залишковою і відповідати характеру зорової
2. освітленість повинна бути рівномірною , без різких тіней :
3. між об'єктом розрізнення і фоном повинна бути деяка контрастність ;
4. джерело світла не повинне створювати відблисків :
5. джерело світла не повинне засліплювати працюючого :
6. рівень освітленості робочих поверхонь має бути постійним у часі :
7. освітлювання установки штучного освітлення повинні бути безпечними при обслуговуванні .

Попереджувальна сигналізація .

Проектом передбачені наступні види сигналізації :

1. Передпускова сигналізація , виконана у вигляді звукового сигналу . Дана сигналізація оповіщає обслуговуючий персонал ділянки , про пуск обладнання :
2. Аварійна сигналізація , виконана у вигляді звукової і світлової сигналізації на робочому місці оператора :
3. Сигналізація виходу регульованих параметрів за регламентні значення ; виконана у вигляді світлової сигналізації на щиті і моніторі ЕОМ з висновком відповідного повідомлення :

4.2 Блок схема алгоритму керування

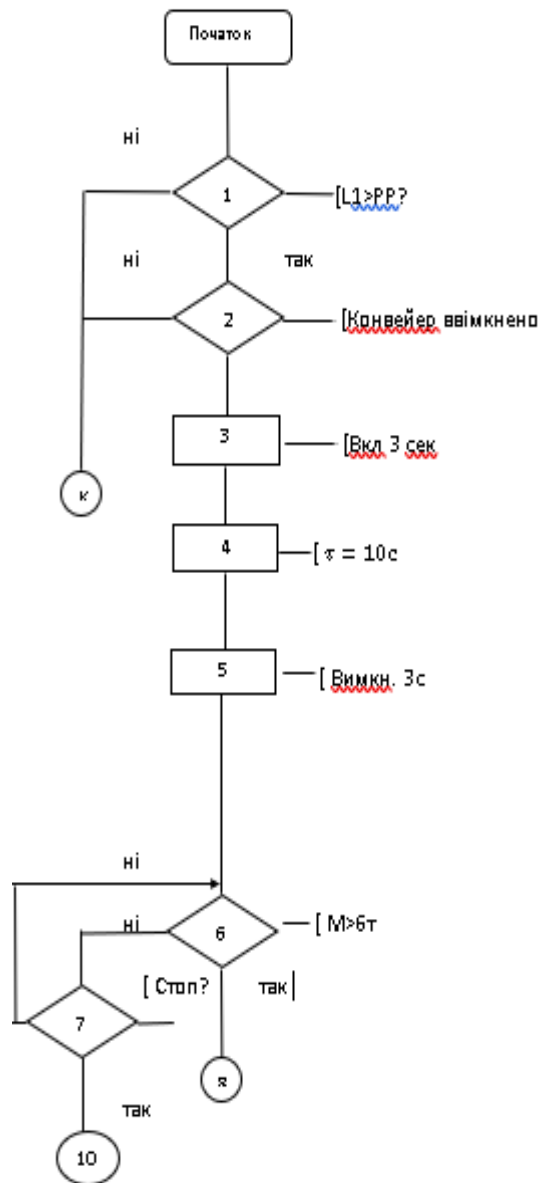


Рисунок 4.1 Блок схема алгоритму керування.

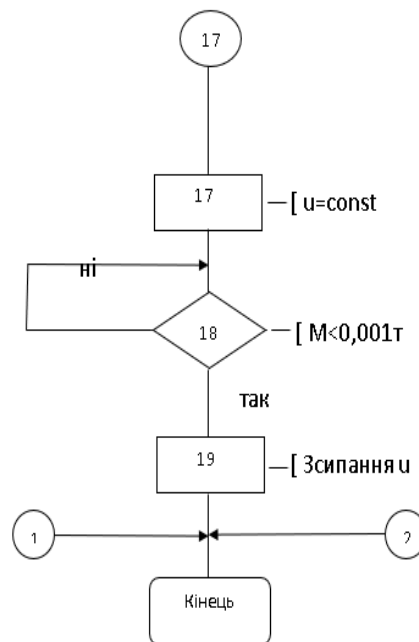
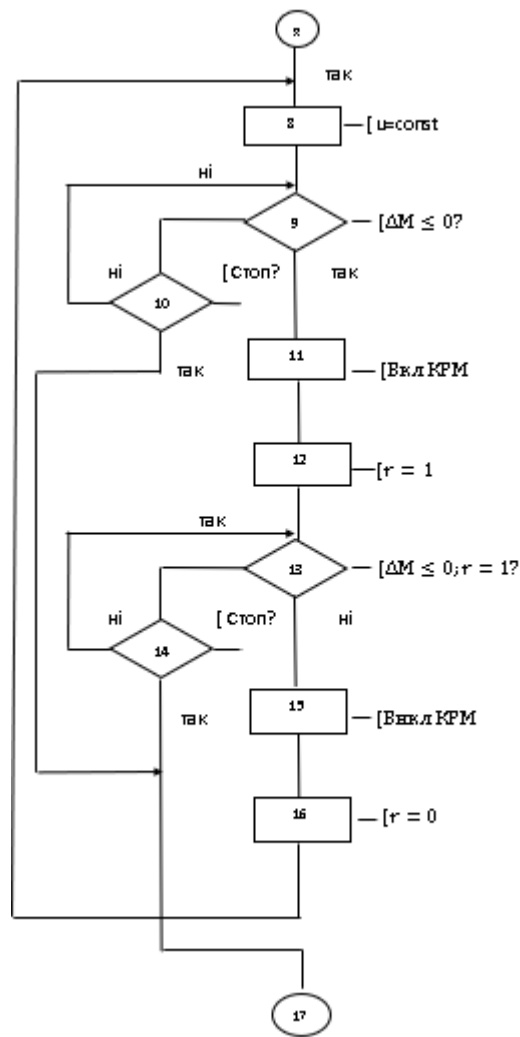


Рисунок 4.1 (закінчення) Блок схема алгоритму керування.

Опис блок схеми алгоритму керування

Для перевірки умов необхідних для пуску необхідно перевірити наявність зерна в прийомному бункері. Для забезпечення передпускової звукової сигналізації необхідно увімкнути її, витримати деякий час та вимкнути. Випускаємо зерно при умові що маса більша від робочої маси (6т), якщо ні – чекаєм або виконуємо зупинку (стоп) , якщо так фіксуємо керуючу дію. Випускаємо зерно у ваговий бункер, умова як тіки ΔM менше нуля , якщо ні – чекаєм або виконується зупинка (стоп) ,якщо так ввімкнемо контур регулювання маси і розпочнемо розвантаження зерна. Проконтролювати знову ΔM . Перевіремо умову ΔM менше нуля і чи виконується розвантаження . Якщо ні ми повинні вимкнути контур регулювання маси і виконати розвантаження, після чого зафіксувати керуючу дію. Якщо так - чекаємо або виконується зупинка (стоп), це означає що оператор зупиняє процес за вимогою (за бажанням) ,після цього зафіксувавши керуючу дію. Якщо так висипати зерно, якщо ні перевірити умову $\Delta M < 0,001\text{т}$. Далі вимкнути живильник (керуючу дію). Так виконана зупинка процесу.

4.3 Висновки за розділом

В результаті виконання розділу для даного технологічного процесу були складені регламенти функціонування та алгоритми пуску-зупинки процесу витоку зерна з прийомного бункера в штатному та аварійному режимах. Можемо сказати про те, що алгоритми керування, які були розроблені, достатньо точно співпадають з реальним технологічним процесом.

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

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

Охарактеризуємо параметри приміщення, де буде експлуатуватися система керування:

Вимірювальні прилади та датчики необхідно вибирати, враховуючи специфіку навколишнього середовища .

АРМ оператора виноситься в окреме приміщення, в яке зводиться вся необхідна інформація про стан технологічних параметрів. В системі передбачена можливість місцевого та дистанційного керування технологічним обладнанням.

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

В ході технологічного процесу використовуються наступні технічні засоби:

Для виміру ваги бункера застосований датчик ваги аналоговий тензодатчик колонного типу Keli ZSFC-A (0-50т.)

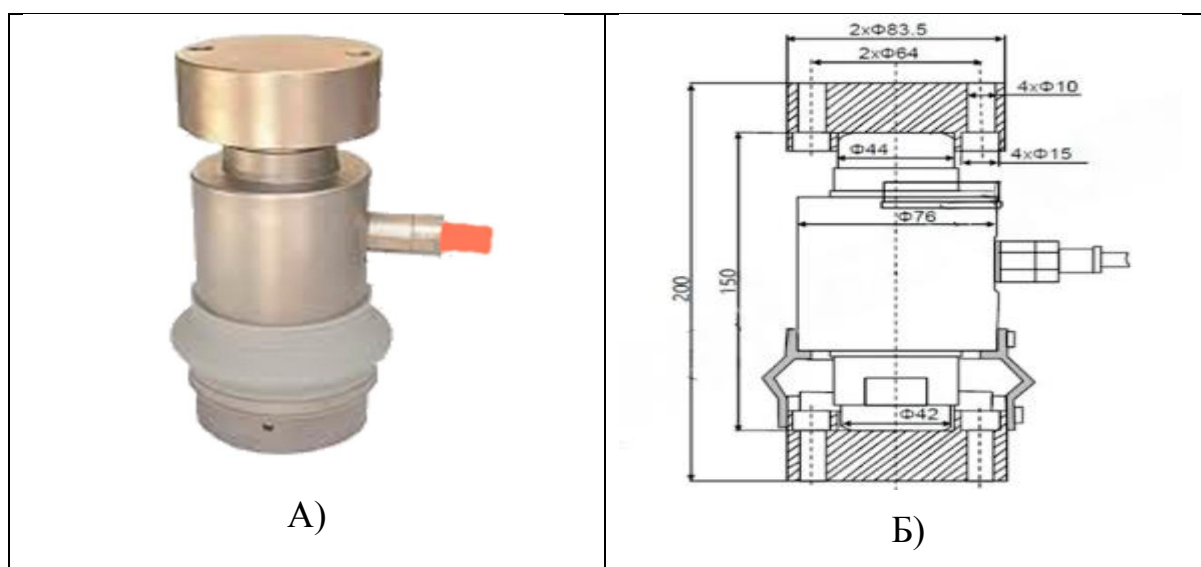


Рис 5.1 аналоговий тензодатчик колонного типу Keli ZSFC-A

А)Зовнішній вигляд; Б) габаритні розміри

Аналоговий тензодатчик колонного типу Keli ZSFC-A (50т.)

Застосовується для автомобільних, залізничних, бункерних ваг.

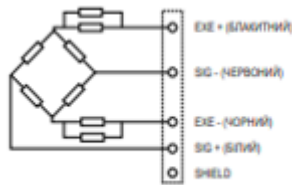


Рис 5.2 Схема електричних з'єднань

Технічні параметри

Максимальне навантаження	10, 15, 20, 25, 30, 40, 50т	Діапазон термокомпенсації	-10~+40°C
Клас точності	C3	Діапазон робочих температур	-30~+70°C
Чутливість	2.0±0.002 мВ/В	Гранично допустиме безпечне навантаження	150% НПВ
Загальна похибка	±0.03% НПВ	Руйнівне навантаження	250% НПВ
Гістерезис	±0.03% НПВ	Рекомендована напруга живлення	10~12 В (DC)
Повзучість (30 хв.)	±0.02% НПВ	Максимальна напруга	15 В (DC)
Температура відхилення чутливості	±0.02%НПВ/10°C	Клас захисту	IP68
Температура відхилення нуля	±0.02%НПВ/10°C	Матеріал	Легована сталь/ Нержавіюча сталь
Вхідний опір	400±20Ω(ZSF)/700±20Ω(ZSFY)	Довжина кабелю	8-16м
Вихідний опір	352±3Ω(ZSF)/706±7Ω(ZSFY)		
Опір ізоляції	≥5000 MΩ		

Рис 5.3 Технічні параметри

Тензодатчик зроблений із високолегованої сталі, що забезпечує довготривалу експлуатацію навіть в агресивному середовищі.

Сучасна система захисту IP68 запобігає проникненню вологи та пилу, а це зумовлюється повною герметизацією всієї конструкції тензодатчика. До комплектації входить екранований морозо-жаростійкий кабель із домішками, не придатними для їжі гризунам. Високий температурний діапазон тензодатчика -30 °С +70 °С передбачений для використання у важких кліматичних умовах.

Для перетворення опору тензодатчика в уніфікований сигнал
вибраний пристрій БПТ-3



Рис 5.4 Блок перетворення сигналів тензодатчиків БПТ-3

БПТ-3

Блок перетворення сигналів тензодатчиків

Призначений для безперервного пропорційного перетворення сигналу від датчиків тензорезистивного типу для вимірювання механічних сил та деформації (тензодатчиків) у струмовий сигнал для систем автоматичного дозування, зважування.

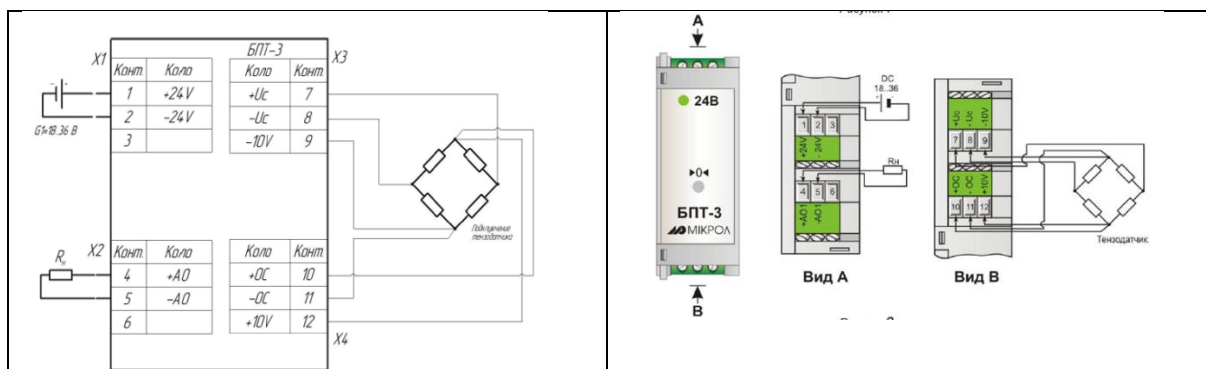


Рис 5.5 Схема підключень БПТ-3

Підключення здійснюється за допомогою пружинних клем. При підключенні використовуйте одножильні або багатожильні тонкодротяні дроти перерізом не більше 2.5 мм².

Провід не повинен мати пошкоджень ізоляції та підривів струмопровідних жил. Скручені кінці проводів не повинні мати окремих жил, що стирчать. Для надійності контакту з клемами кінці проводів слід облудити або кінець.

Прокладання кабелів та джгутів має відповідати вимогам діючих «Правил пристрою електроустановок»

Техническая характеристика	Значение
Количество независимых каналов	1
Схема подключения датчика	Шестипроводная
Эквивалентное сопротивление датчика	75 - 1000 Ом
Напряжение питания датчика – постоянное	10 В
Начальное значение входного сигнала	от 0 до 40 мВ
Номинальный диапазон изменения входного сигнала	от минус 100 до 100 мВ
Сопротивление нагрузки для выходного сигнала:	
0-5 мА	Не более 2000 Ом
0-20 мА	Не более 500 Ом
4-20 мА	Не более 500 Ом
0-10 В	Более 2000 Ом
Наибольшая погрешность преобразования входного сигнала, выраженная в процентах от номинального диапазона изменения выходного сигнала не превышает	± 0,2 %
Напряжение питания, от источника постоянного тока	Нестабилизированное 24 В (от 20 В до 28 В)
Ток потребления, не более	250 мА
Габаритные размеры	76 x 26 x 115 мм
Масса	Не более 0.15 кг

Рис. 5.6 Технічні характеристики БПТ-3

Блок позначається так:

БПТ-3-N-K-T,

де:

N – початкове значення вхідного сигналу: від 0 до 40 мВ,

K – діапазон зміни вхідного сигналу: від мінус 100 мВ до 100 мВ,

T – код вихідного сигналу:

1 - уніфікований 0-5 мА,

2 - уніфікований 0-20 мА,

3 - уніфікований 4-20 мА,

4 – уніфікований 0-10 Ст.

Датчик (сигналізатор) кордонного рівня сипучих матеріалів ротаційного типу : ДР-15 для виміру рівня зерна в прийомному бункері



Рис 5.7 Датчик ротаційного типу ДР-15

Датчик ротаційного типу ДР-15 призначений для контролю граничного рівня сипучих продуктів у ємності.

Двигун обертає лопати датчика зі швидкістю 1 об/хв, поки контрольований продукт знаходиться поза зоною її переміщення. При досягненні продуктом рівня установки датчика, лопати фіксується, викликаючи переміщення двигуна між мікроперемикачами, після чого послідовно відбувається перемикання вихідного контакту датчика і відключення двигуна.

При зниженні рівня продукту, пружина повертає двигун у вихідне положення, лопати звільняється, відбувається включення двигуна, вихідний контакт повертається у вихідний стан.

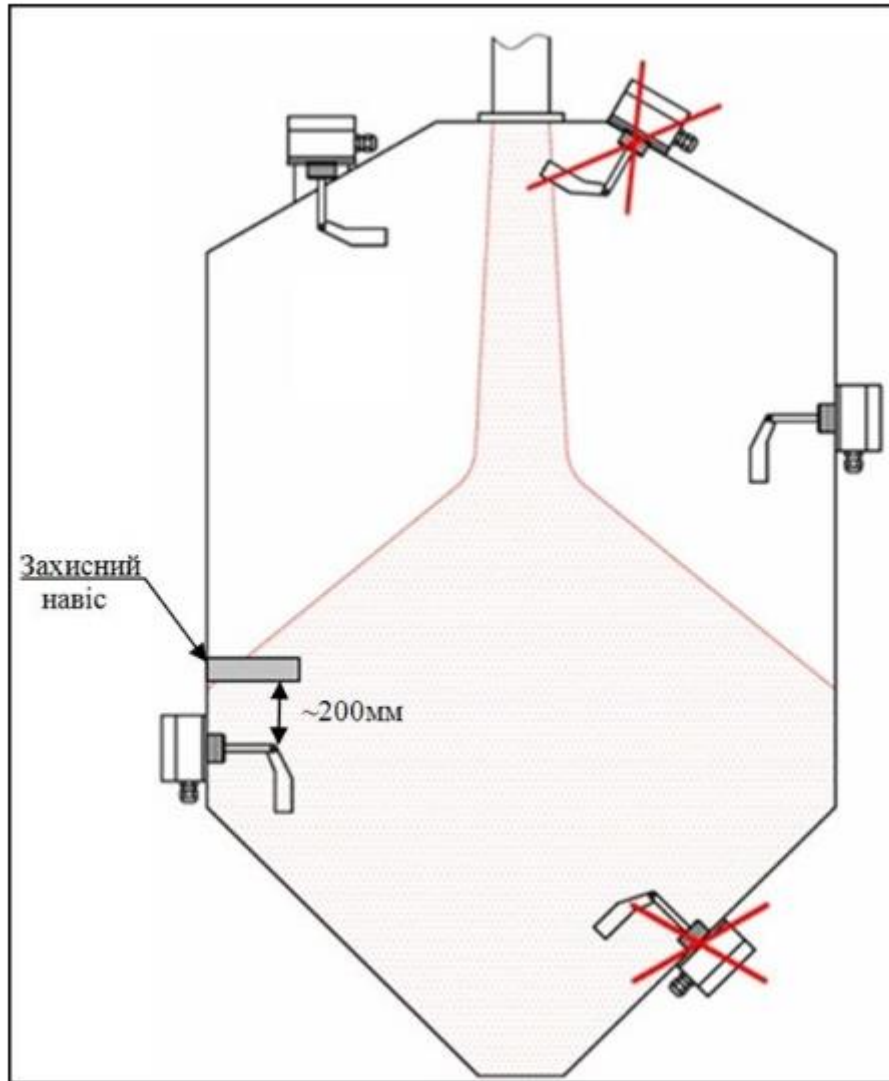


Рис 5.8 Приклад монтажу датчика ДР-15

Датчик встановлюється на корпусі ємності за висотою контрольованого рівня. При необхідності відстеження рівня на певному відстані від верхньої частини ємності, використовується підовжувач робочої частини корпусу датчика. Забороняється встановлювати датчик рівня у потоці продукту.

Температура контролюваного матеріалу	від -25°C до +50°C
Робочий тиск	1 атм.
Робочий температурний діапазон	від -25°C до +60°C
Вага	до 1,5 кг
Матеріал робочої частини датчика	нержавіюча сталь
Матеріал корпусу контролера	алюмінієвий сплав
Кліматичне виконання згідно з ГОСТ 15150-69	УХЛ 1.1
Ступінь захисту згідно з ГОСТ 14254-80	IP 65
Клас за способом захисту від ураження електричним струмом	I
живлення	U AC = 220-240В, P ном-4Вт
Навантаження, що підключається	U AC = 250В, I AC = 3А U DC = 30В, I DC = 2А
Режим спрацьовування (на завантаження чи вивантаження ємності)	Здійснюється вибором груп контактів NO/NC на роз'ємі XS2
Час спрацьовування	1-2сек

Рис 5.9 Технічні характеристики ДР-15

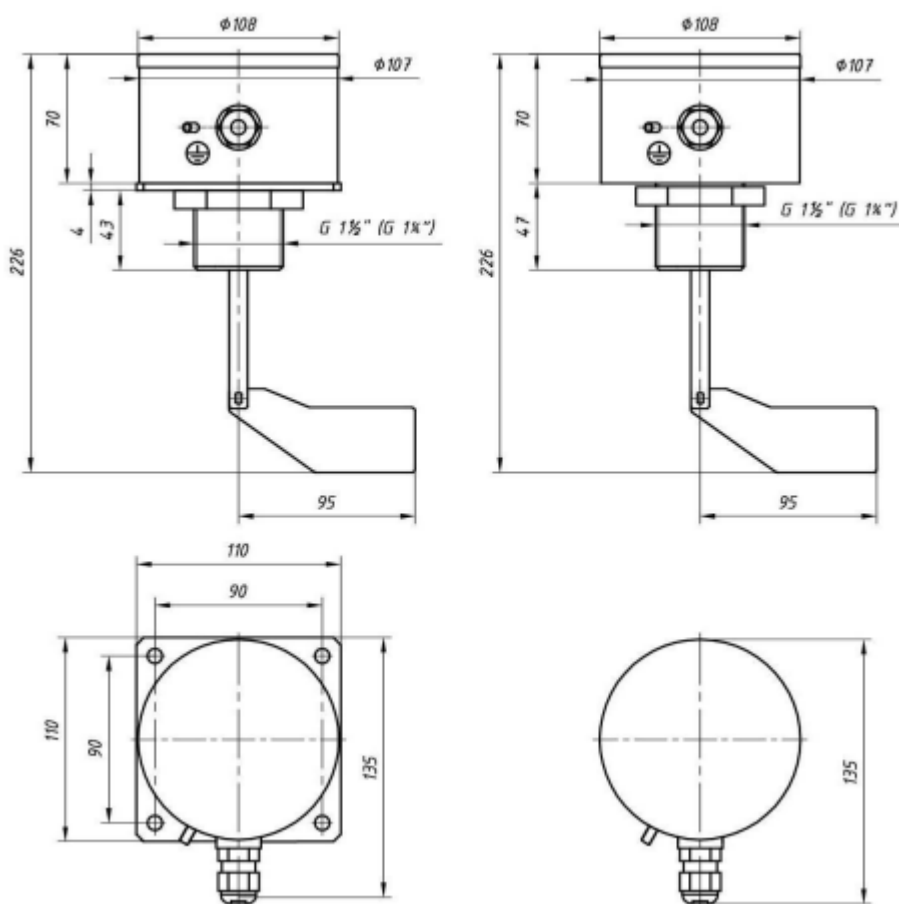


Рис 5.10 Габаритні розміри датчика рівня ДР-15

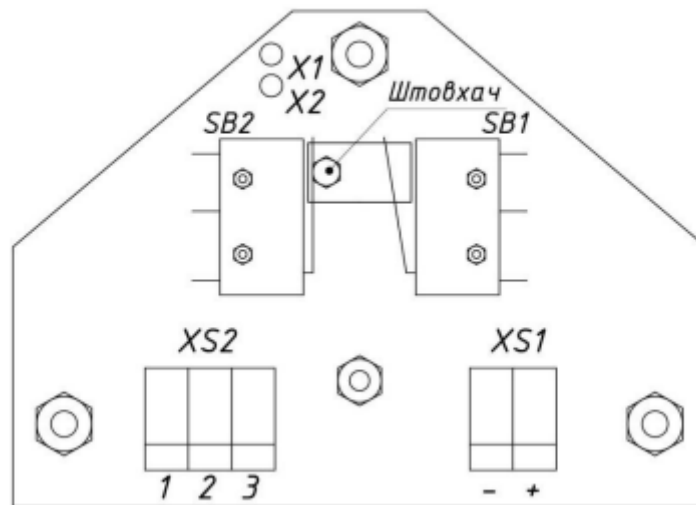


Рис 5.11 Плата датчика рівня ДР-15

Частотний перетворювач Siemens Sinamics G120 6SL3224-0BE22-2AA0 2,2 кВт 380 В для зміни частоти обертання двигуна живильного транспортера

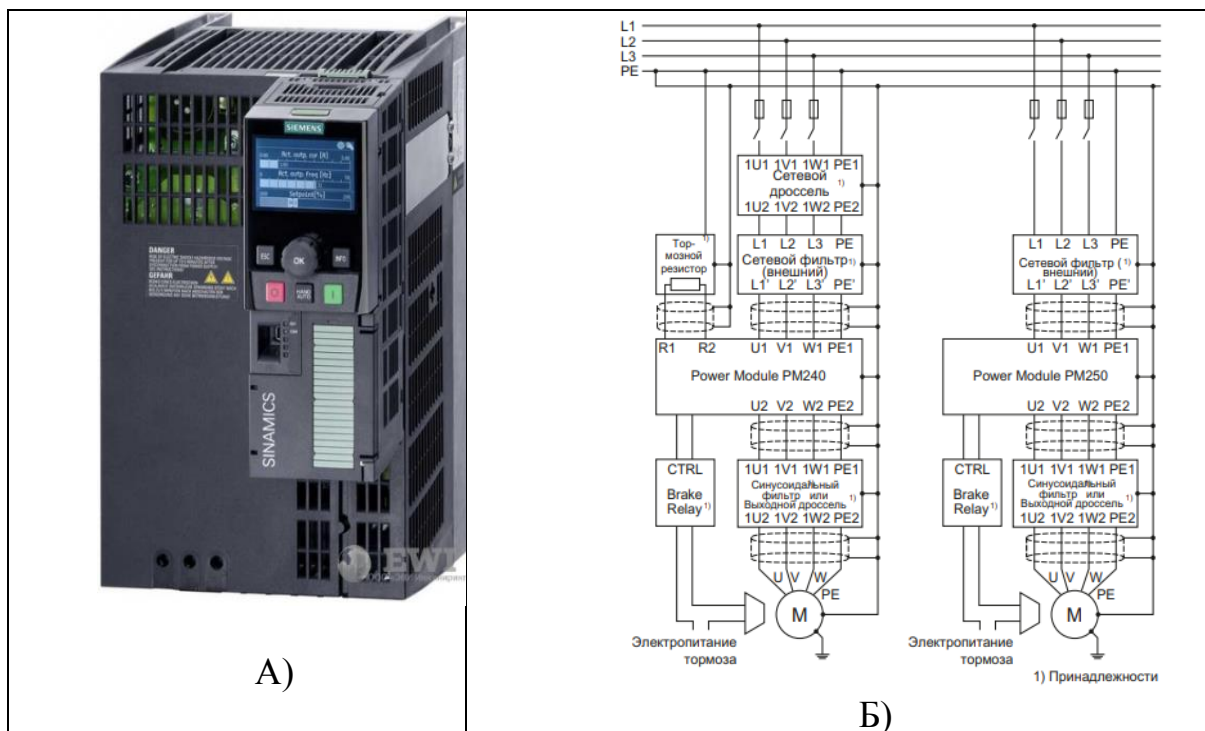


Рис 5.12 Частотний перетворювач Siemens Sinamics G120 6SL3224-0BE22-2AA0

А) Зовнішній вигляд; Б) Схема підключення

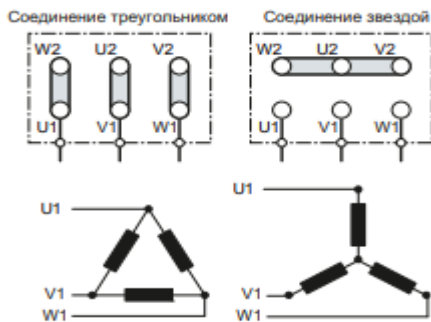


Рис 5.13 Схема підключення двигуна

Частотний перетворювач Siemens Sinamics G120 6SL3224-0BE22-2AA0 є модульним перетворювачем із широкими функціональними можливостями. Основними модульними компонентами є силовий модуль (PM) та модуль управління (CU). Модуль управління керує силовим модулем, до якого підключено електродвигун. Крім того, модуль керування дає можливість підключення різних інтерфейсів зв'язку для забезпечення управління та моніторингу системи електричного приводу.

Виробник:Siemens

Серія:Sinamics G120

Потужність:2.2 кВт

Напруга:380 В

Підключення:трифазне

Номінальний струм:5.9 А

Mmax (1 хв.):150%

Струм протягом 1 хв.:8.85 А

Габарити (ВхШхГ):270x153x165 мм

Переваги та особливості частотних перетворювачів Sinamics G120:

Сучасні функції вбудованої системи безпеки, нова система охолодження, повернення зайвої енергії в мережу живлення;

Швидкість проектування та введення в експлуатацію з використанням програмного забезпечення SIZER та STARTER;

Сумісність Sinamics з будь-яким рівнем автоматизації.

Перетворювачі цієї серії використовуються для конвеєрів, міксерів, вентиляторів, компресорів, насосів, виробничих машин, а також у машинобудуванні та інших галузях промисловості.

Напруга на вході та виході – трифазна 380–480 В (PM240, PM250)/500–690 В (PM260). Частота на виході 0-650 Гц (PM240, PM250)/0-200 Гц (PM260). Діапазон робочої температури -10-50 °С. Перетворювачі обладнані 4-6 дискретними, 1-2 диференціальними аналоговими та 2 спеціальними входами, а також 1 або 2 дискретними та 1 або 2 аналоговими виходами. Допускається перевантаження до 200% протягом 3 с та 150 % на 57 с.

Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу

Пристрій плавного пуску NJR2-37D, 70А, 37кВт для приводу двигуна конвеєра



Рис 5.14 Пристрій плавного пуску NJR2-37D, 70А, 37кВт

Пристрої плавного пуску NJR2 служать для розгону, уповільнення та захисту трифазних електродвигунів потужністю до 315 кВт. Управління напругою, що подається на електродвигун, що реалізується за рахунок регулювання кута відкривання тиристорів, дозволяє плавно запускати та зупиняти електродвигун. Пристрої NJR2 використовують у електричних мережах змінного струму частотою 50 Гц напругою до 400 У.

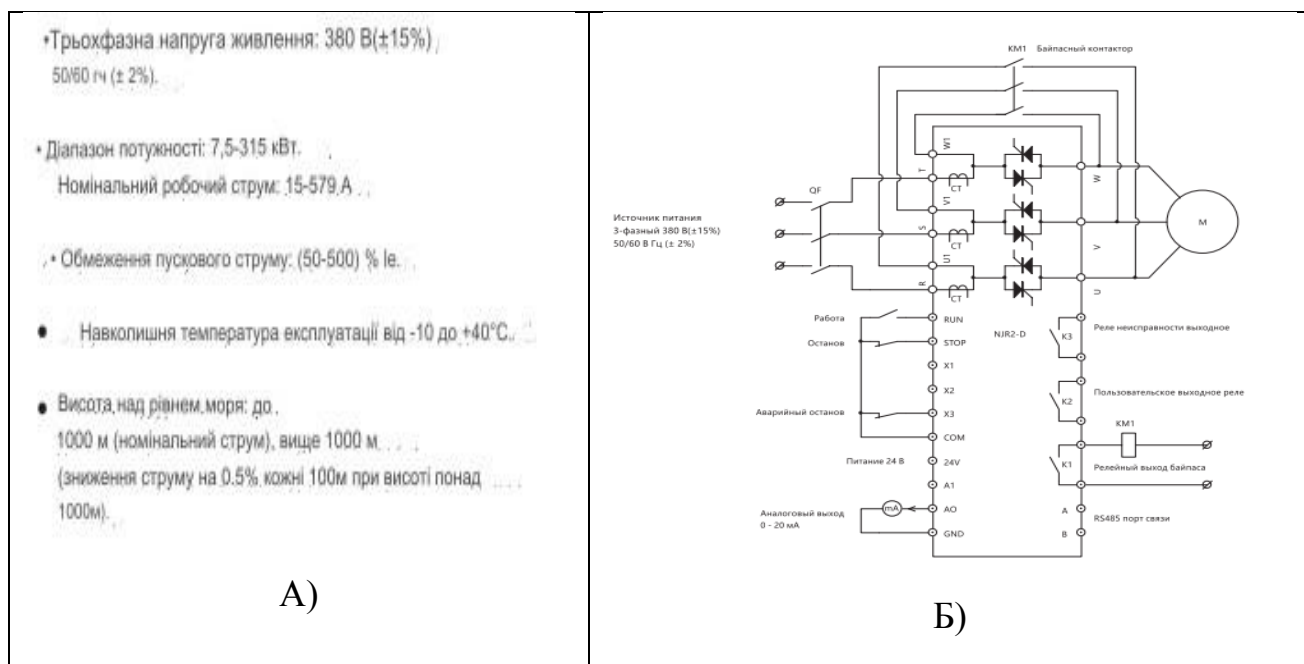


Рис 5.15 Пристрій плавного пуску NJR2-37D, 70А, 37кВт

А) Технічні характеристики; Б) Схема підключення

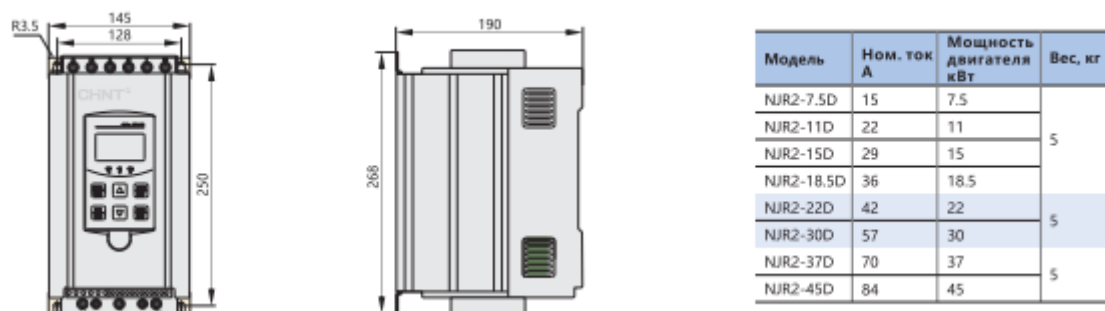


Рис 5.16 Габаритні розміри пристрою плавного пуску NJR2-37D

5.3 Висновки за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та якісне керування процесом витоку зерна з прийомного бункера. Класи точності, ступінь захисту та ступінь вибухозахисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу.

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

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

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

Таблиця 6.1. Список параметрів які вводяться і виводяться із контролера

№ пп	Назва параметра	Умове позначен ня	Вид сигнал у A/D	Тип сигнал у I/O	Діапазон сигналу на вході/виході контролера	Позна чення на схемі
1	Маса приймального бункера 1	W_b1	A	I	(0-20 мА)	AI1
2	Маса приймального бункера 2	W_b2	A	I	(0-20 мА)	AI2
3	Керуюча дія частота живильника 1	U_1	A	O	(0-20 мА)	AO1
4	Керуюча дія частота живильника 2	U_1	A	O	(0-20 мА)	AO2
5	Сигнал датчика контролю нижнього рівня зерна у приймальному бункері 1	L_z1	D	I	24 V DC	DI1

Таблиця 6.1. (продовження) Список параметрів які вводяться і виводяться із контролера.

6	Сигнал датчика контролю нижнього рівня зерна у приймальному бункері 2	L_z2	D	I	24 V DC	DI2
7	Сигнал авторозвантажувач 1 включено	GS1	D	I	24 V DC	DI3
8	Сигнал авторозвантажувач 2 включено	GS2	D	I	24 V DC	DI4
9	Сигнал керування двигуном живильника 1.1 M1	M1_C	D	O	«відкритий колектор»	DO1
10	Сигнал с дод. контакта пускача двигуна M1	M1_KM	D	I	24 V DC	DI5
11	Сигнал керування двигуном живильника 1.2 M2	M2_C	D	O	«відкритий колектор»	DO2
12	Сигнал с дод. контакта пускача двигуна M2	M2_KM	D	I	24 V DC	DI6
13	Сигнал керування двигуном СК1.3 M3	M3_C	D	O	«відкритий колектор»	DO3

Таблиця 6.1. (закінчення) Список параметрів які вводяться і виводяться із контролера.

14	Сигнал с дод. контакта пускача двигуна М3	M3_KM	D	I	«сухий контакт»	DI7
15	Сигнал керування двигуном СК1.4 М4	M4_C	D	O	«відкритий колектор»	DO4
16	Сигнал с дод. контакта пускача двигуна М4	M4_KM	D	I	«сухий контакт»	DI8
17	Сигнал керування двигуном КС М5	M5_C	D	O	«відкритий колектор»	DO5
18	Сигнал с дод. контакта пускача двигуна М5	M5_KM	D	I	24 V DC	DI9
19	Сигнал керування двигуном норії М6	M6_C	D	O	«відкритий колектор»	DO6
20	Сигнал с дод. контакта пускача двигуна М6	M6_KM	D	I	24 V DC	DI10
21	Сигнал управління звук. сигнал.	HA	D	O	«відкритий колектор»	DO7
22	Сигнал кнопки авт. пуску	SB_pusk	D	I	«сухий контакт»	DI11
23	Сигнал кнопки авт. зупинки	SB_stop	D	I	«сухий контакт»	DI12

Кількість каналів вводу\виводу: AI – 2 , AO – 2, DI – 12, DO – 7

6.2. Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.

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

Для реалізації алгоритмів керування в модулях ПЗО контролера повинні бути передбачені 2- аналогових входи, 2-аналоговий виходи, 12- дискретних входів і 7-дискретних виходів.

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

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

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

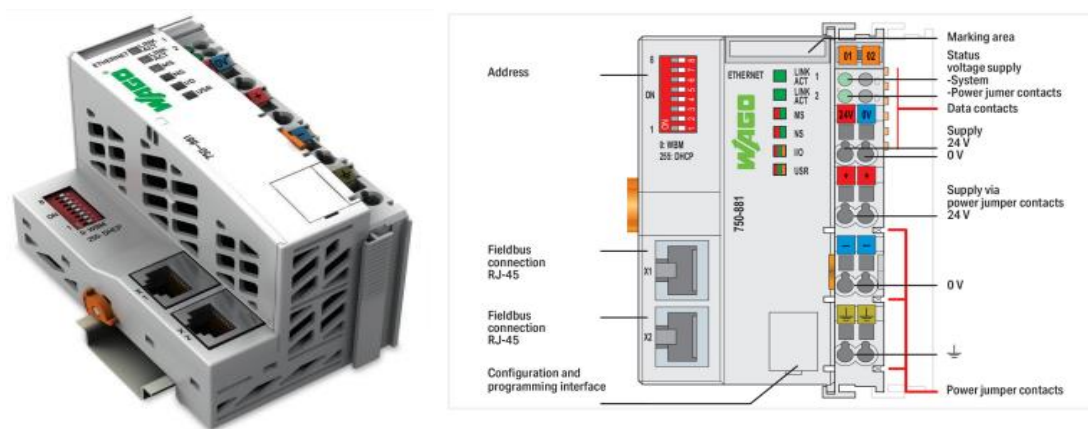


Рис. 6.1 – Контролер WAGO 750-881 – зовнішній вигляд.

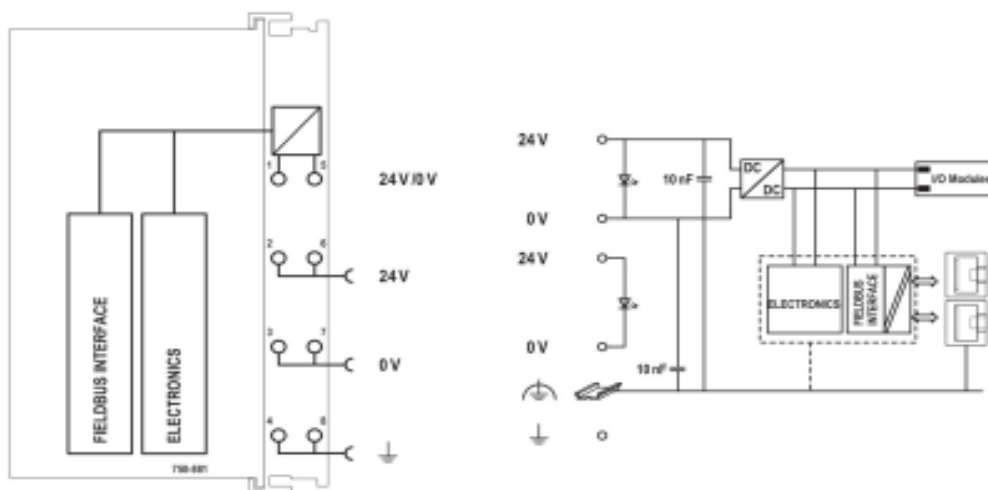
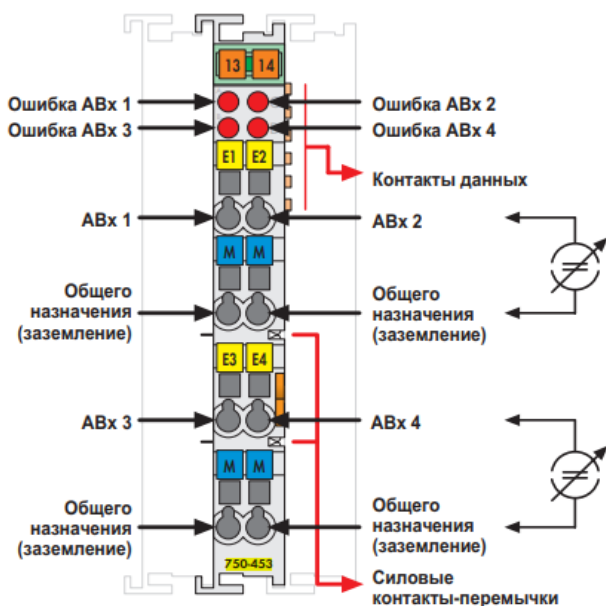


Рис.6.2 – Схема підключення контролера WAGO 750-881.

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



Технические данные	
Количество входов	4
Подача напряжения	через преобразователь постоянного тока сетевого напряжения
Потребление тока (внутреннее)	65 мА
Входное напряжение (макс.)	32 В
Ток сигнала	0 - 20 мА (750-453, 753-453)
	4 - 20 мА (750-455, 753-455)
Входное сопротивление	< 100 Ом / 20 мА
Разрешение	12 бит
Время преобразования (тип.)	10 мс
Ошибка измерения (25°C)	< ± 0,2 % от величины всего измерительного диапазона
Температурный коэффициент	< ± 0,01 % / К от величины всего измерительного диапазона
Развязка	500 В между системой и источником питания
Битовая ширина	4 x 16 бит - данные, 4 x 8 бит - управление/состояние (опционально)
Проводное соединение	CAGE CLAMP®
Сечения	0,08 mm² ... 2,5 mm² / AWG 28 ... 14
Длина участка без изоляции, серия 750/753	8 ... 9 mm / 0.33 дюйма
Ширина	9 ... 10 mm / 0.37 дюйма
Вес	51 г
ЭМС СЕ - помехоустойчивость	в соотв. с EN 61000-6-2 (2005)
ЭМС СЕ - излучение помех	в соотв. с EN 61000-6-4 (2007)
ЭМС при применении в судостроении	
- помехоустойчивость	согласно Германскому Ллойду (2003)
ЭМС при применении в судостроении	
- излучение помех	согласно Германскому Ллойду (2003)

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

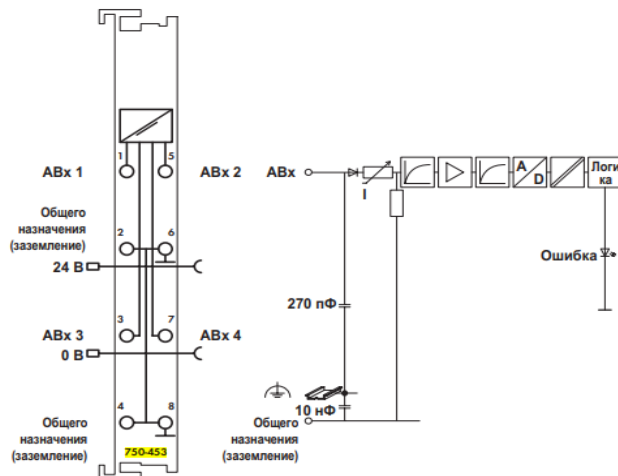


Рис. 6.4 – Схема підключення модуля ПЗО WAGO 750-453.

Для виведення аналогових сигналів з контролеру (формування аналогових керуючих дій) будемо використовувати 4-канальний модуль аналогового виводу WAGO 750-555 (рис. 6.5).

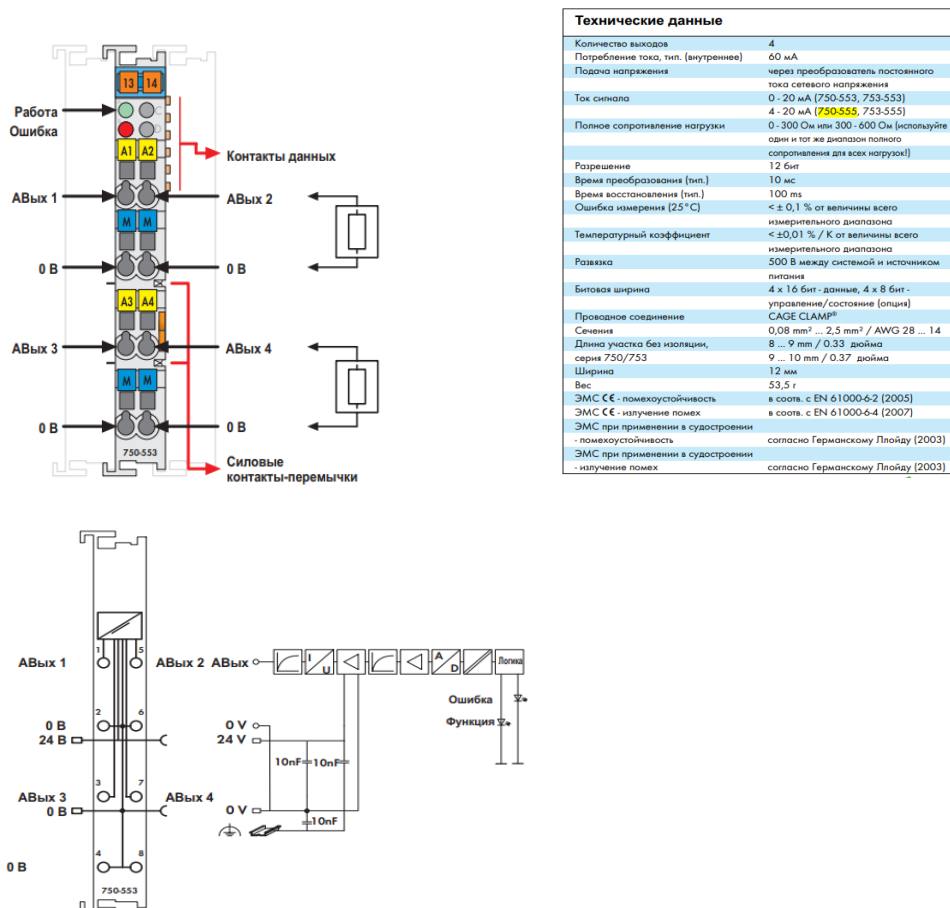
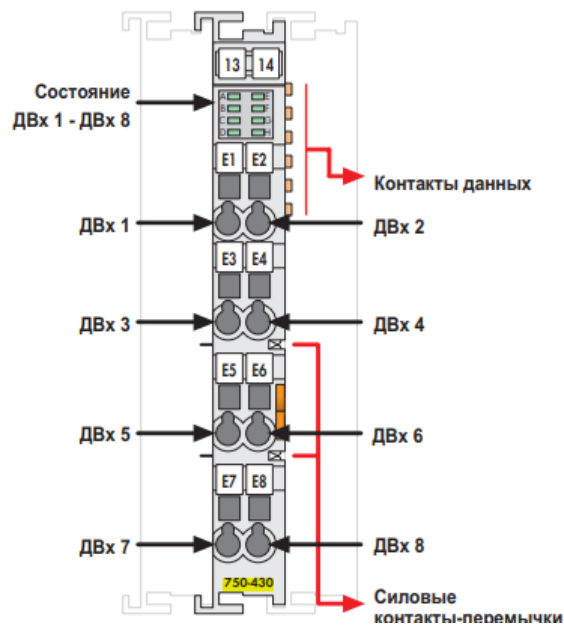


Рис. 6.5 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-555, його характеристики та схема підключення.

Для вводу дискретних сигналів до контролеру будемо використовувати 8-канальний модуль дискретного вводу WAGO 750-430 (рис. 6.6).



Технические данные	
Количество входов	8
Потребление тока (внутреннее)	17 мА
Напряжение через силовые контакты-перемычки	24 В пост. тока (-25 - +30 %)
Напряжение сигнала (0)	-3 - +5 В пост. тока
Напряжение сигнала (1)	15 - 30 В пост. тока
Входной фильтр	3,0 мс (750-430 / 753-430)
	0,2 мс (750-431 / 753-431)
Входной ток (тип.)	2,8 мА
Развязка	500 В между системой и источником питания
Внутренняя битовая ширина	8 бит
Проводное соединение	CAGE CLAMP®
Сечения	0,08 mm² ... 2,5 mm² / AWG 28 ... 14
Длина участка без изоляции, серия 750/753	8 ... 9 mm / 0.33 дюйма
	9 ... 10 mm / 0.37 дюйма
Ширина	12 мм
Вес	48,5 г
ЭМС СЕ - помехоустойчивость	в соотв. с EN 61000-6-2 (2005)
ЭМС СЕ - излучение помех	в соотв. с EN 61000-6-4 (2007)
ЭМС при применении в судостроении	
- помехоустойчивость	согласно Германскому Ллойд (2003)
ЭМС при применении в судостроении	
- излучение помех	согласно Германскому Ллойд (2003)

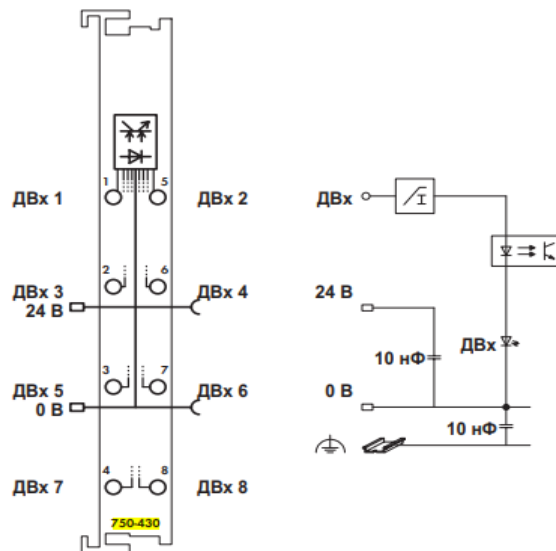
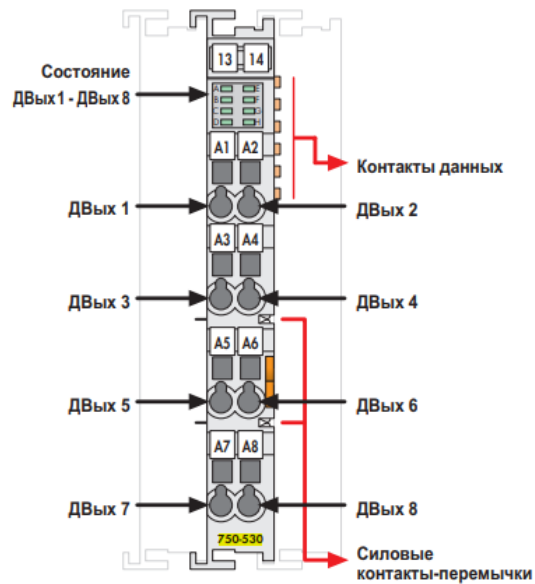


Рис. 6.6 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-430, його характеристики та схема підключення.

Для виводу дискретних сигналів до контролеру будемо використовувати 8-канальний модуль дискретного виводу WAGO 750-530 (рис. 6.7).



Технические данные	
Количество выходов	8
Потребление тока (внутреннее)	25 мА
Напряжение через силовые контакты-перемычки	24 В пост. тока (-25...+30 %)
Тип нагрузки	резистивная, индуктивная, лампы
Макс. частота переключений	2 кГц
Выходной ток (макс.)	0,5 А, с защитой от короткого замыкания
Распределение энергии W при выключении индуктивной нагрузки (макс.)	0,9 Дж; $I_{\text{макс}} = 2 \times W_{\text{макс}} / I^2$
Потребление тока, тип. (полевой уровень)	15 мА + заряд
Развязка	500 В между системой и источником питания
Внутренняя битовая ширина	8 бит
Проводное соединение	CAGE CLAMP®
Сечения	0,08 mm² ... 2,5 mm² / AWG 28 ... 14
Длина участка без изоляции, серия 750/753	8 ... 9 mm / 0.33 дюйма
Ширина	9 ... 10 mm / 0.37 дюйма
Вес	12 мм
ЭМС СЕ - помехоустойчивость	48,5 г
ЭМС СЕ - излучение помех	в соотв. с EN 60000-6-2 (2005)
ЭМС при применении в судостроении - помехоустойчивость	в соотв. с EN 61000-6-4 (2007)
ЭМС при применении в судостроении - излучение помех	согласно Германскому Плөйду (2003)
	согласно Германскому Плөйду (2003)

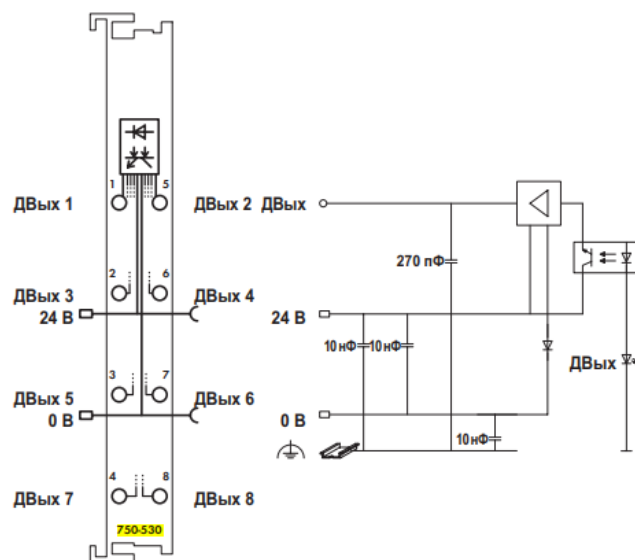


Рис. 6.7 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-430, його характеристики та схема підключення.

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

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

Враховуючи обраний контролер, модулі ПЗО до нього, та список змінних, які необхідно вводити та виводити з контролера схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування прийме наступний вигляд. (рис. 6.8).

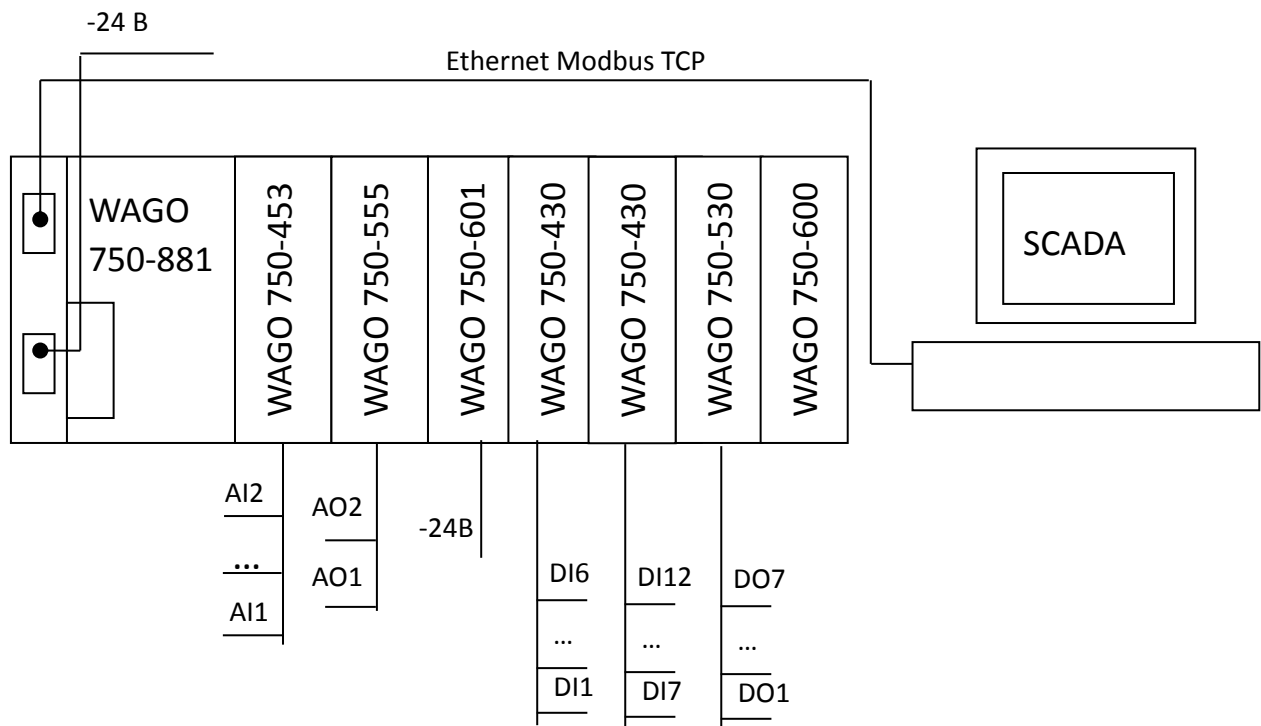


Рис. 6.8 – Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи процесу керування витоком зерна з приймального бункера станції розвантаження автомобілів у ПТС терміналу.

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

Першим етапом проведено програмне конфігурування контролера та його модулів ПЗО у середовищі CoDeSys. На рис. 6.9 і 6.10 розкрита процедура конфігурування CPU контролера та його модулів ПЗО.

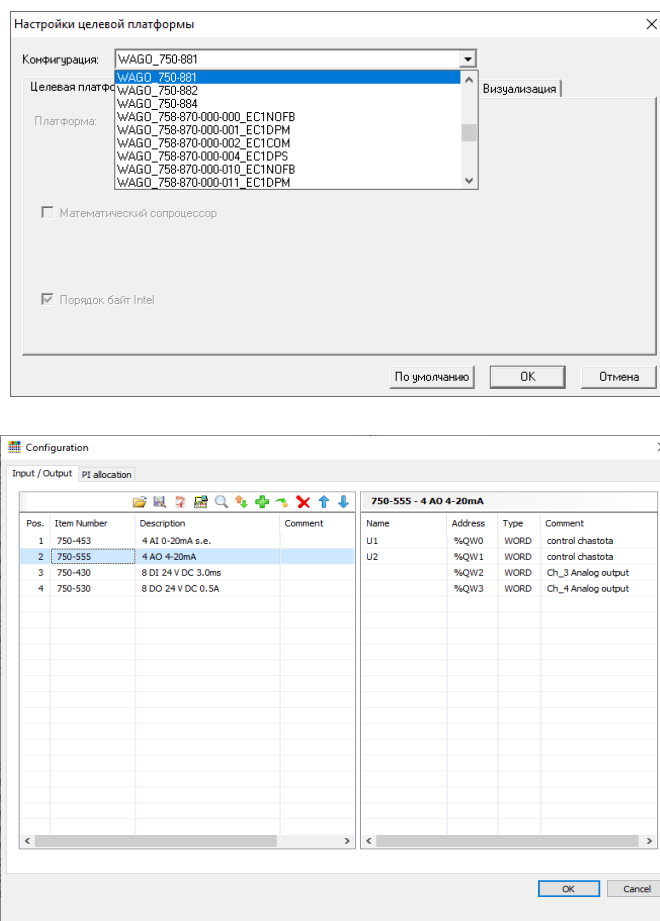


Рис. 6.9 – Вікно вибору контролера у середовищі CoDeSys та конфігурування модулів ПЗО WAGO.

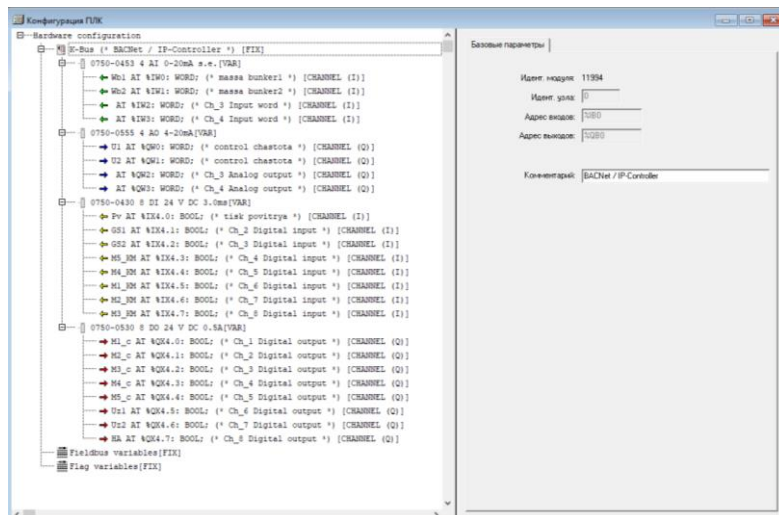


Рис. 6.10 – Фрагмент вікна конфігурування модулю ПЗО у CodeSys .

Завершив конфігурацію переходимо до програмної реалізації алгоритмів керування.

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

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

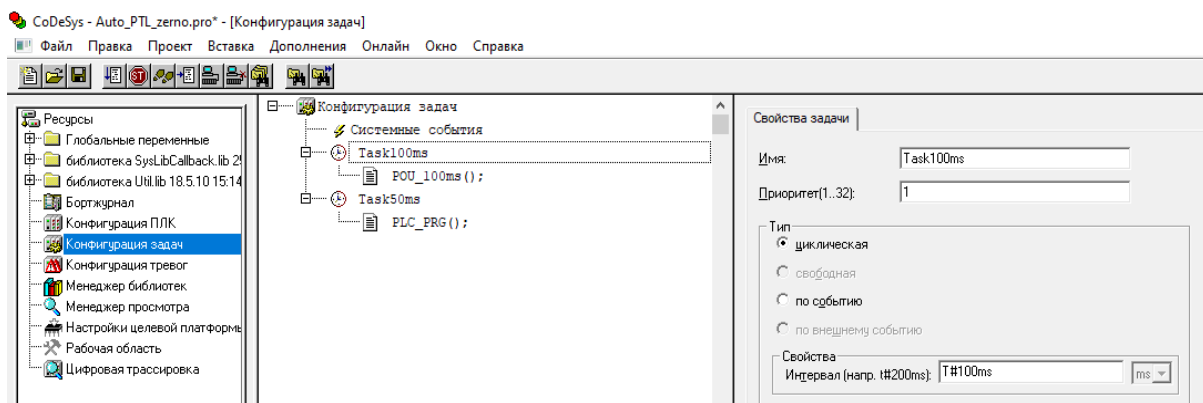


Рис. 6.11– Загальний вигляд вікна проекту при конфігуруванні задач.

The screenshot displays the SIMATIC Manager environment for a Siemens PLC project. The left-hand pane shows the project hierarchy, with the 'PID1' function block selected under the 'PID' category. The main workspace contains a detailed ladder logic diagram. The logic starts with a timer (TON) and a time-to-real conversion block (TIME_TO_REAL), followed by a division block (DIV) and a multiplication block (MUL). The output of the multiplication is then added to a constant value in an addition block (ADD). The result is fed into a PID controller block (PID1), which is configured with various parameters such as setpoint, feedback, and control limits. The PID1 block's output is then used to control a motor (M). The bottom status bar indicates the current step is 1.

99

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

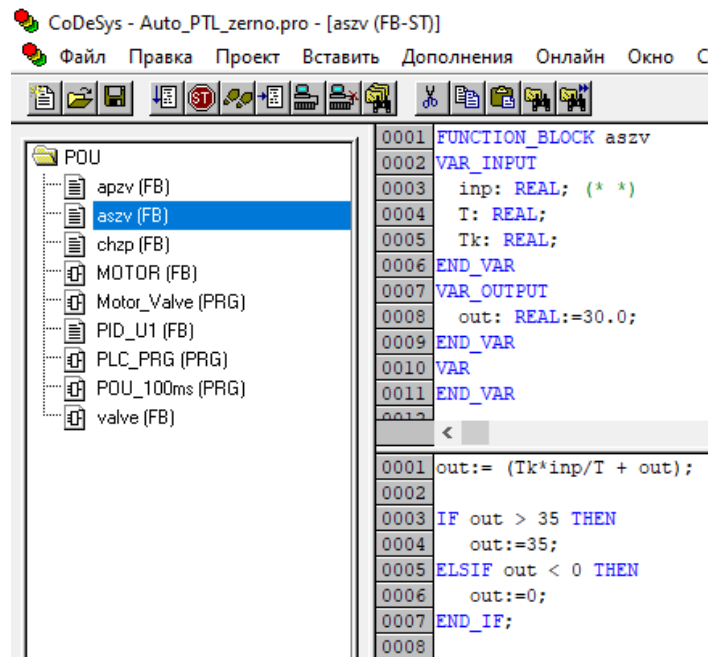


Рис. 6.14 – Фрагмент програми, яка реалізує астатичну інтегруючу ланку першого порядку з обмеженнями.

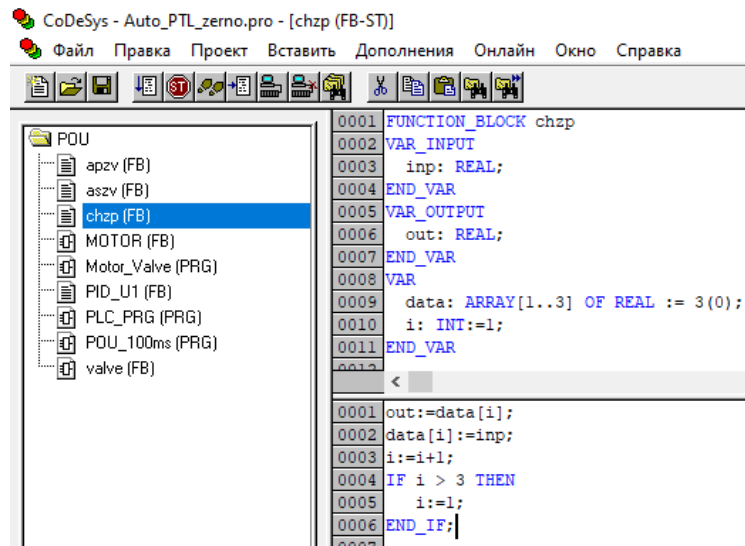


Рис. 6.14 – Фрагмент програми, яка реалізує астатичну інтегруючу ланку першого порядку з обмеженнями.

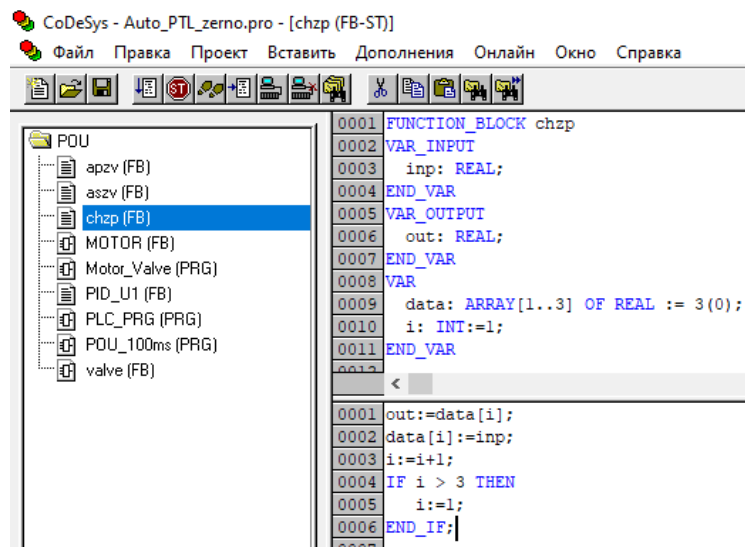


Рис. 6.15 – Фрагмент програми, яка реалізує ланку чистого запізнення.

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

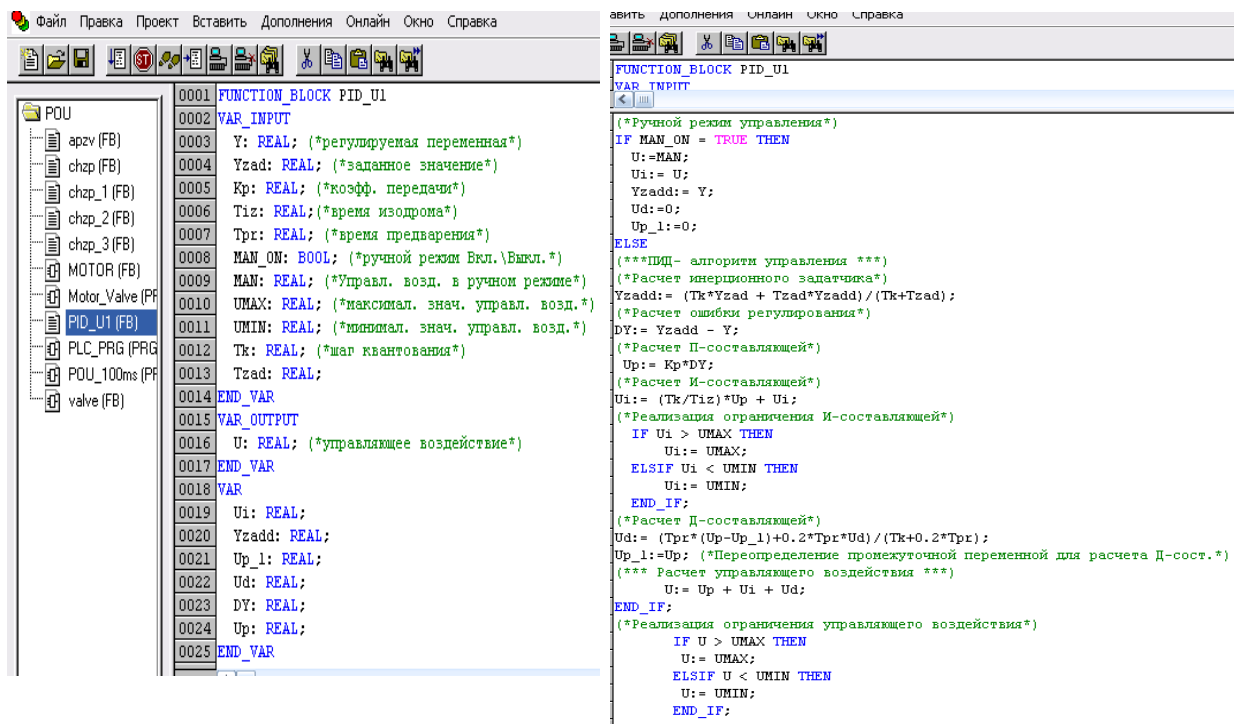


Рис. 6.16 – Код программы ПИД - регулятора.

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



Рис. 6.17 – Перехідні характеристики, отримані при тестуванні

алгоритмів регулювання на моделі ОК.

6.5. Програмна реалізація алгоритмів логічного керування

Програмна реалізація алгоритмів логічного керування виконана в програмному модулі PLC_PRG який обчислюється з кроком 0.05с.

Фрагмент програми що реалізує алгоритми автоматичного пуску та зупинки наведено на рис. 6.18 та 6.19.

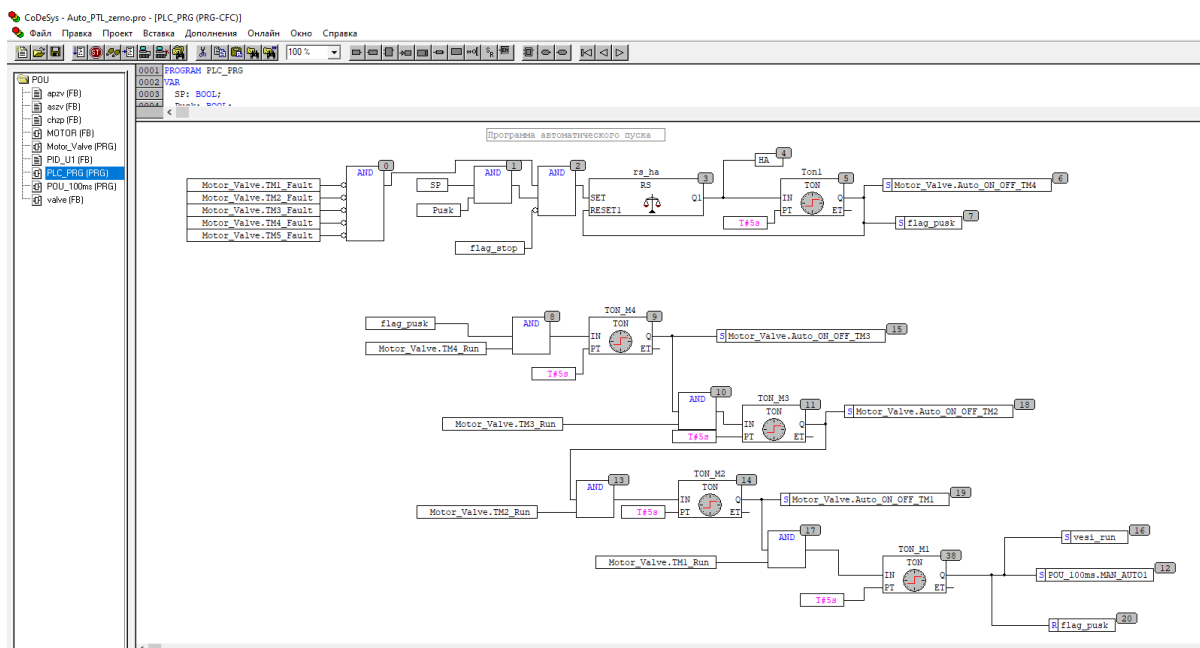


Рис. 6.18 – Фрагмент програми що реалізує алгоритми автоматичного пуску.

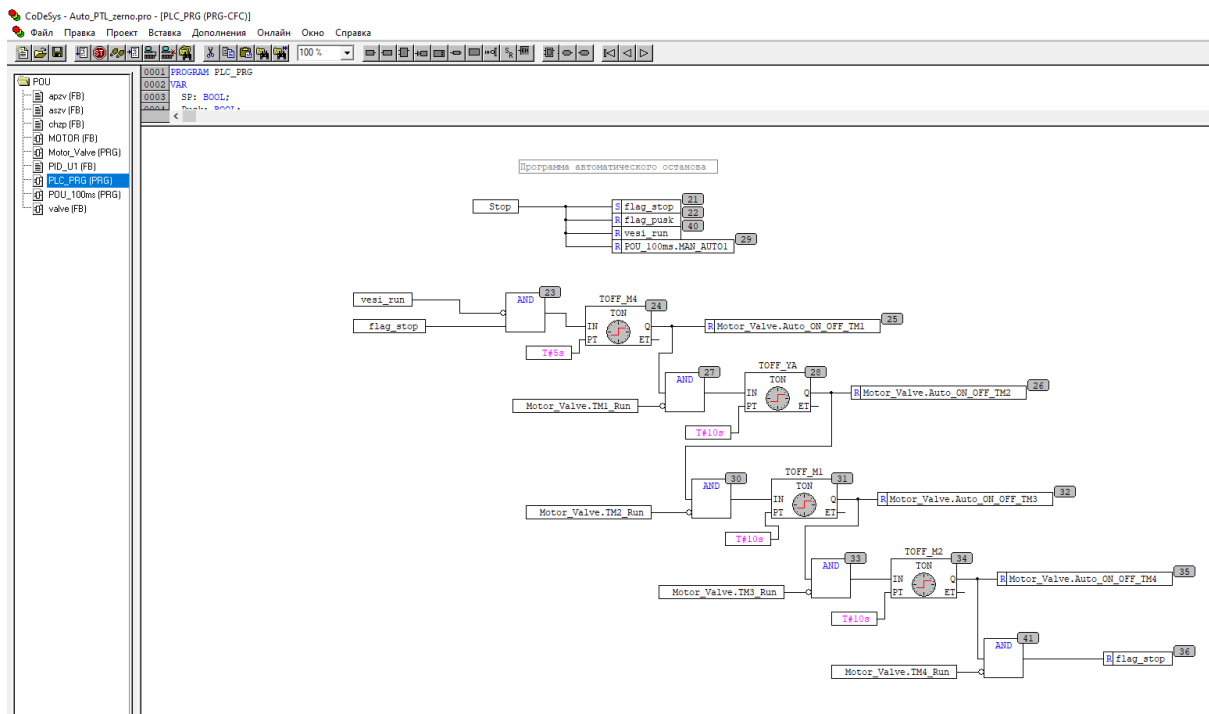


Рис. 6.19 – Фрагмент програми що реалізує алгоритми автоматичної зупинки.

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

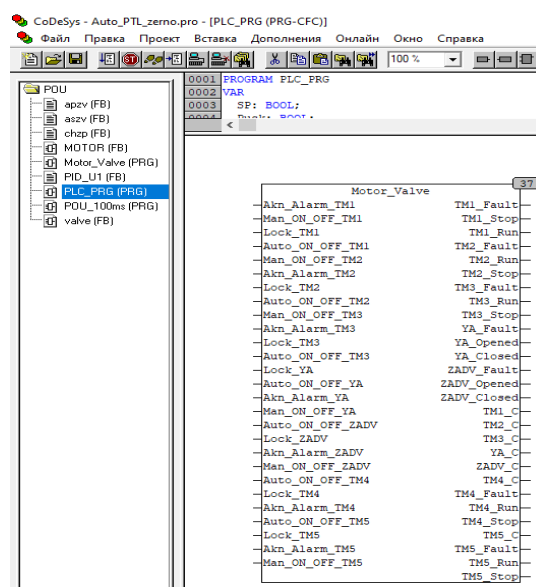


Рис. 6.20 – Фрагмент програми PLC_PRG з викликом модуля Motor_Valve.

Внутрішня структура програмного модуля Motor_Valve наведена на рис. 6.21.

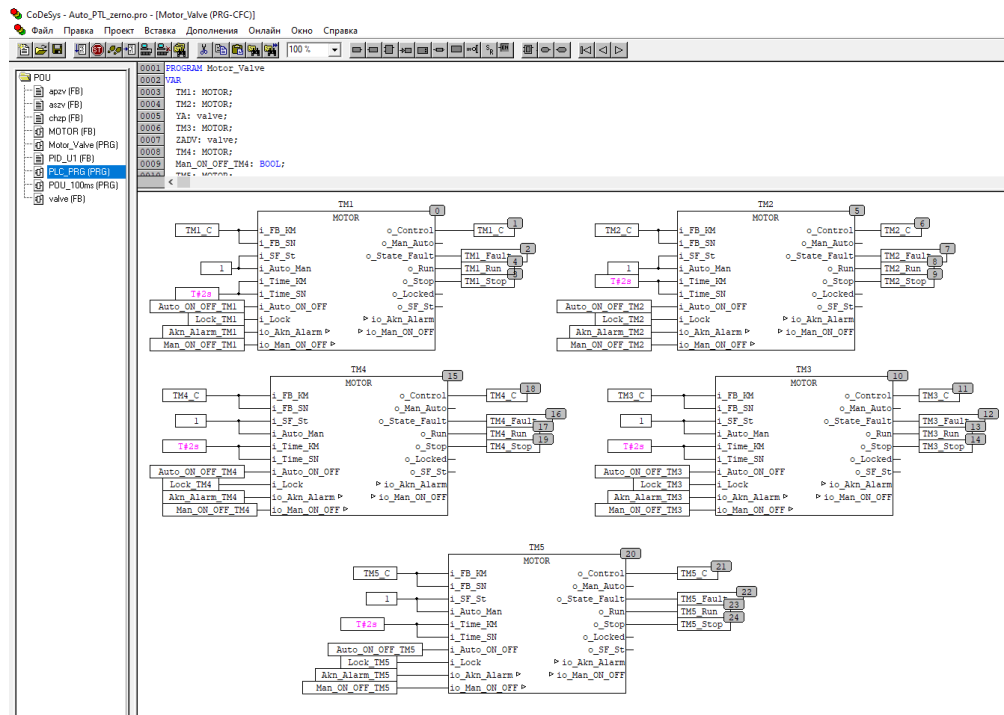


Рис. 6.21 – Фрагмент внутрішньої структури програмного модуля Motor_Valve

Декілька входів та виходів функціональних блоків управління двигунами та засувками з'єднуються з входами та виходами контролера для управління та аналізу стану двигуна. Внутрішня структура функціональних блоків керування двигуном на рис. 6.22 та 6.23.

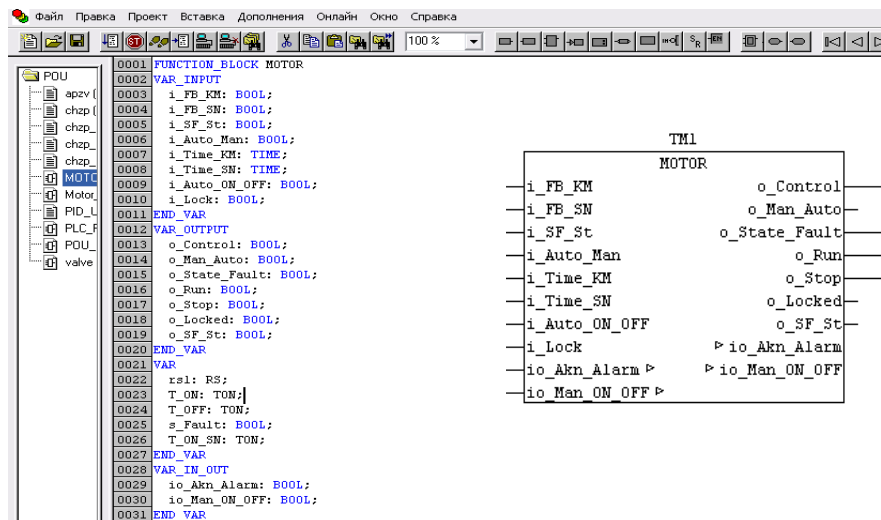
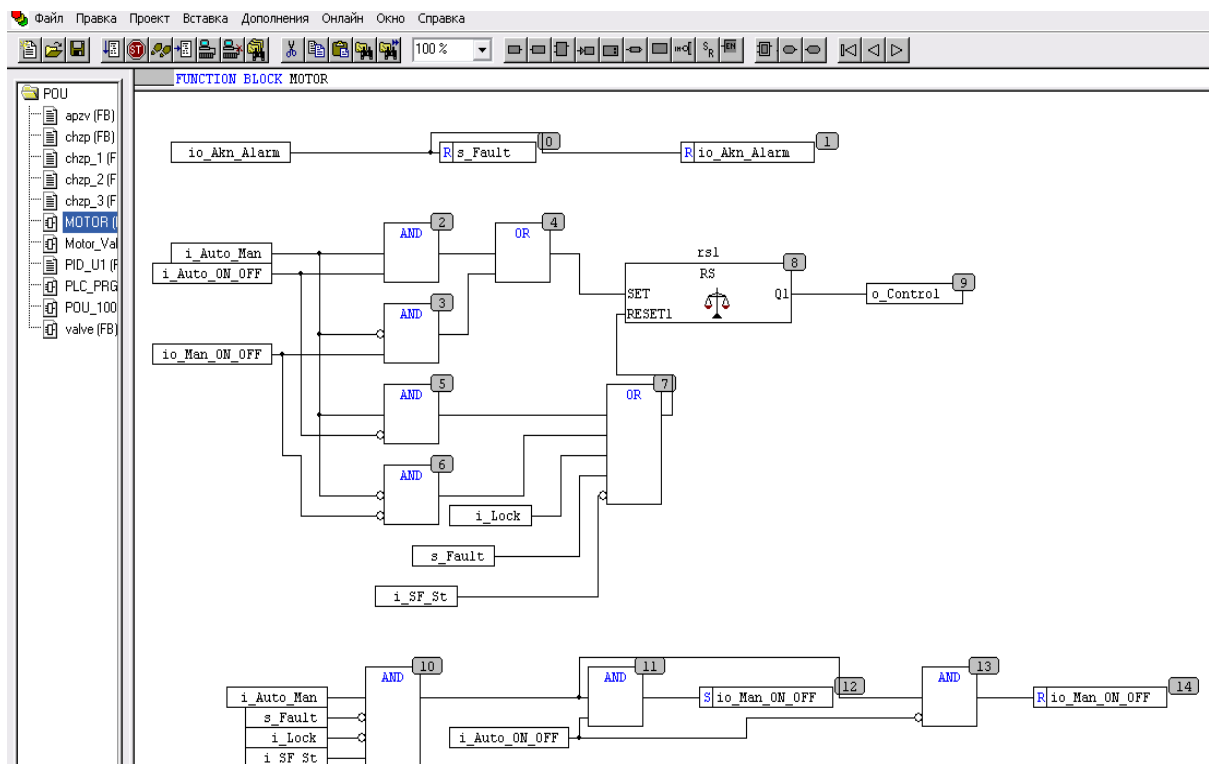


Рис.6.22 – Загальний вигляд блоку керування двигуном та список змінних підпрограми що його реалізує.



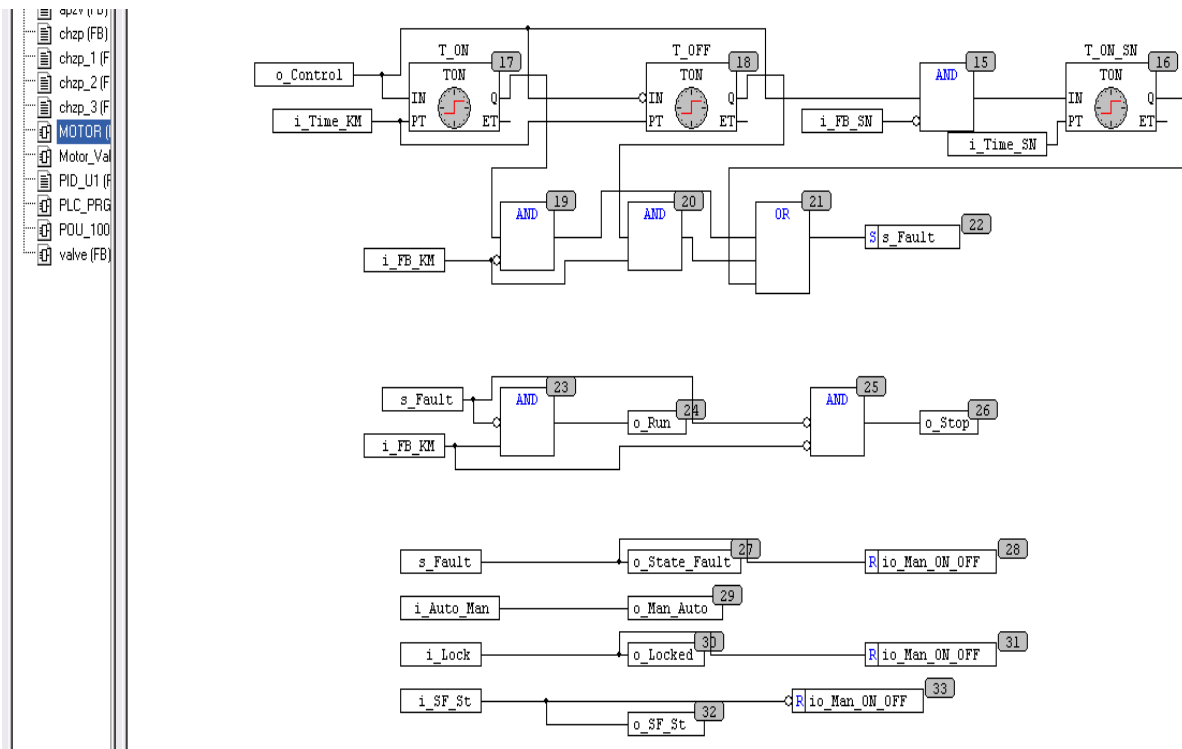


Рис. 6.23 – Фрагмент підпрограми що реалізує блоку керування двигуном.

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

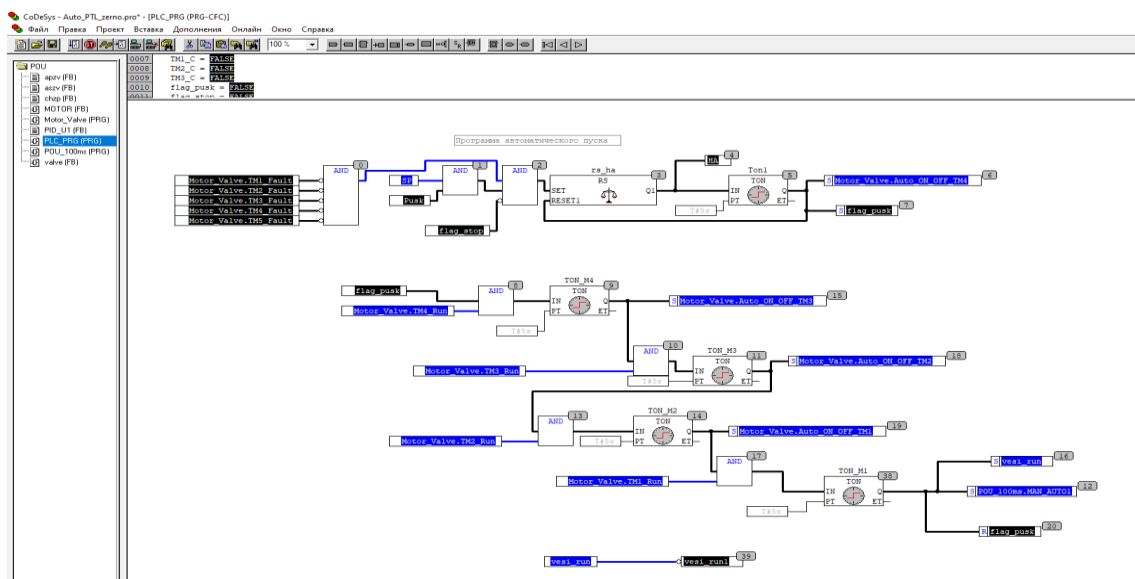


Рис. 6.24 – Фрагмент програми (в режимі тестування) що реалізує алгоритм пуску.

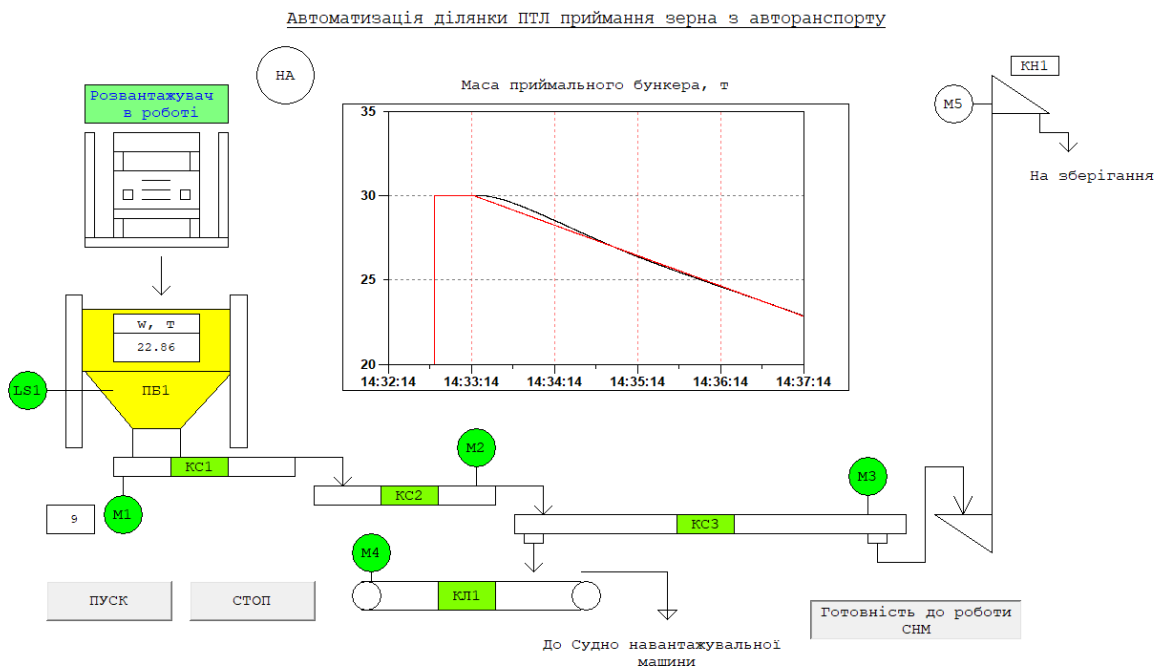


Рис. 6.25 – Фрагмент графічного інтерфейсу оператора.

Результати тестування програми у режимі емуляції контролеру, що реалізує управління пуском та остановом процесу нанесенням оболонок на пігулки підтверджують коректність реалізації програми моделі САР та програми логічного керування.

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

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

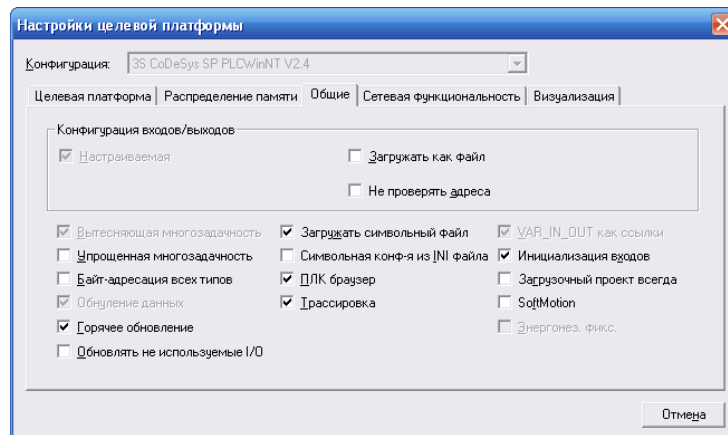


Рис. 6.26 – Загальний вигляд вікна вибору цільової платформи.

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

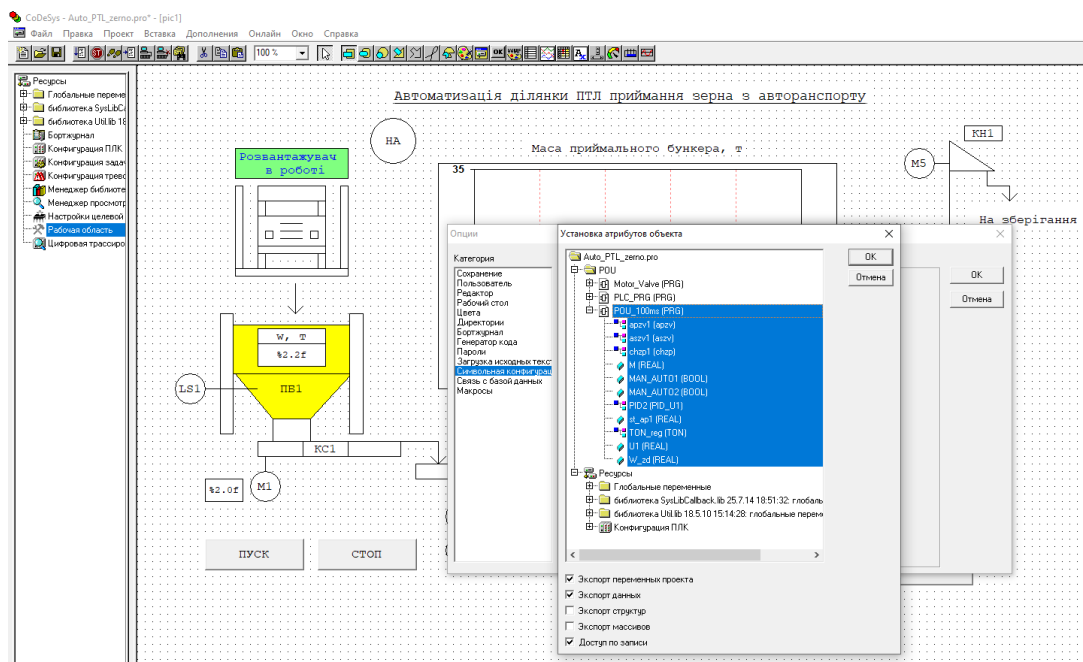


Рис. 6.27 – Фрагмент налаштування символічного файлу для обміну даними з використанням OPC - сервера.

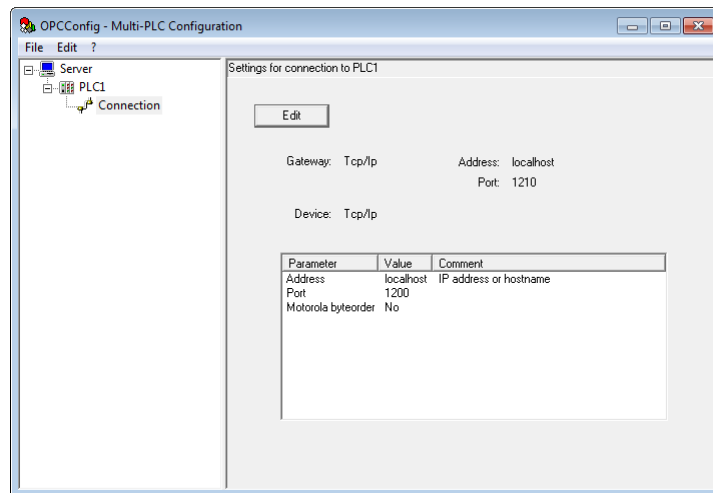


Рис. 6.28 – Вікно налаштування параметрів мережевого зв'язку для OPC - сервера.

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

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

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

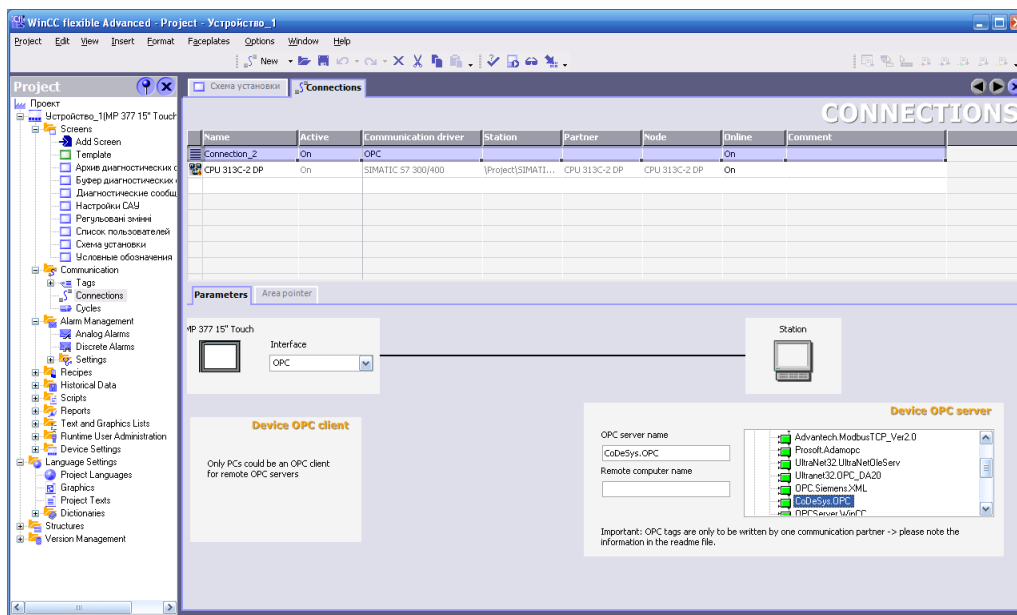


Рис. 6.29 – Вікно створення мережевого підключення до OPC сервера CoDeSys в SCADA системі WinCCFlexible.

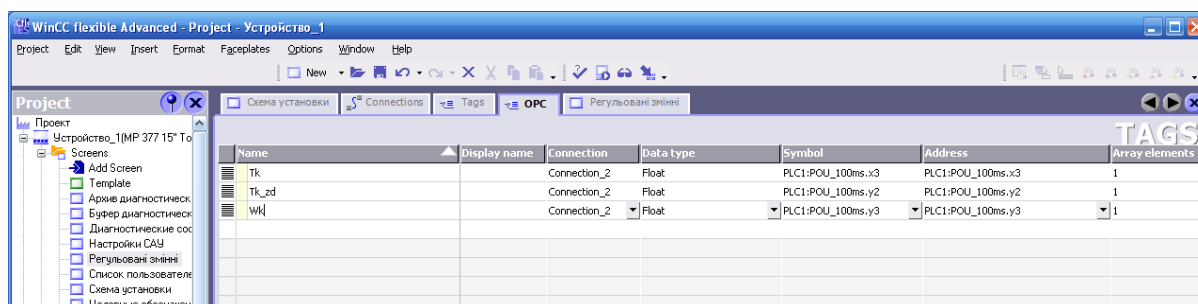


Рис. 6.30 – Вікно створення тегів пов'язаних з OPC сервером CoDeSys в SCADA системі WinCCFlexible.

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

6.7. Висновки за розділом

В даному розділі була розроблена технічна структура мікропроцесорного ядра системи процесу керування витоком зерна з приймального бункера станції розвантаження автомобілів у ПТС терміналу, здійснений вибір промислового контролера та його блоків вводу/виводу, в середовищі CoDeSys розроблені програми, які реалізують алгоритми логічного керування та регулювання, проведена їх перевірка, яка засвідчила роботоспроможність програм та їх відповідність алгоритмам керування.

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

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

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

1. Контролювати значення технологічних параметрів поточно транспортної лінії в процесі приймання зерна з автомобільного транспорту і задавати режими роботи обладнання.

2. Контролювати стан обладнання поточно транспортної лінії (включено, вимкнений, знаходиться в аварії і т.д.) і значення експлуатаційних параметрів обладнання.

3. Керувати запуском і зупинкою поточно транспортної лінії в ручному та автоматичному режимах управління.

4. Керувати окремим обладнанням ПТЛ в ручному режимі.

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

1) Мнемосхема ділянки. Основний екран із зображенням мнемосхеми процесу приймання зерна з автомобільного транспорту дозволяє контролювати хід процесу, керувати обладнанням, міняти режими роботи обладнання та контролювати виникнення порушень в роботі.

2) Графіки. Екран, призначений для відображення графіку зміни маси приймального бункера.

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

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

7.2. Розробка екранів АРМ оператора-технолога.

Шаблон екранів.

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

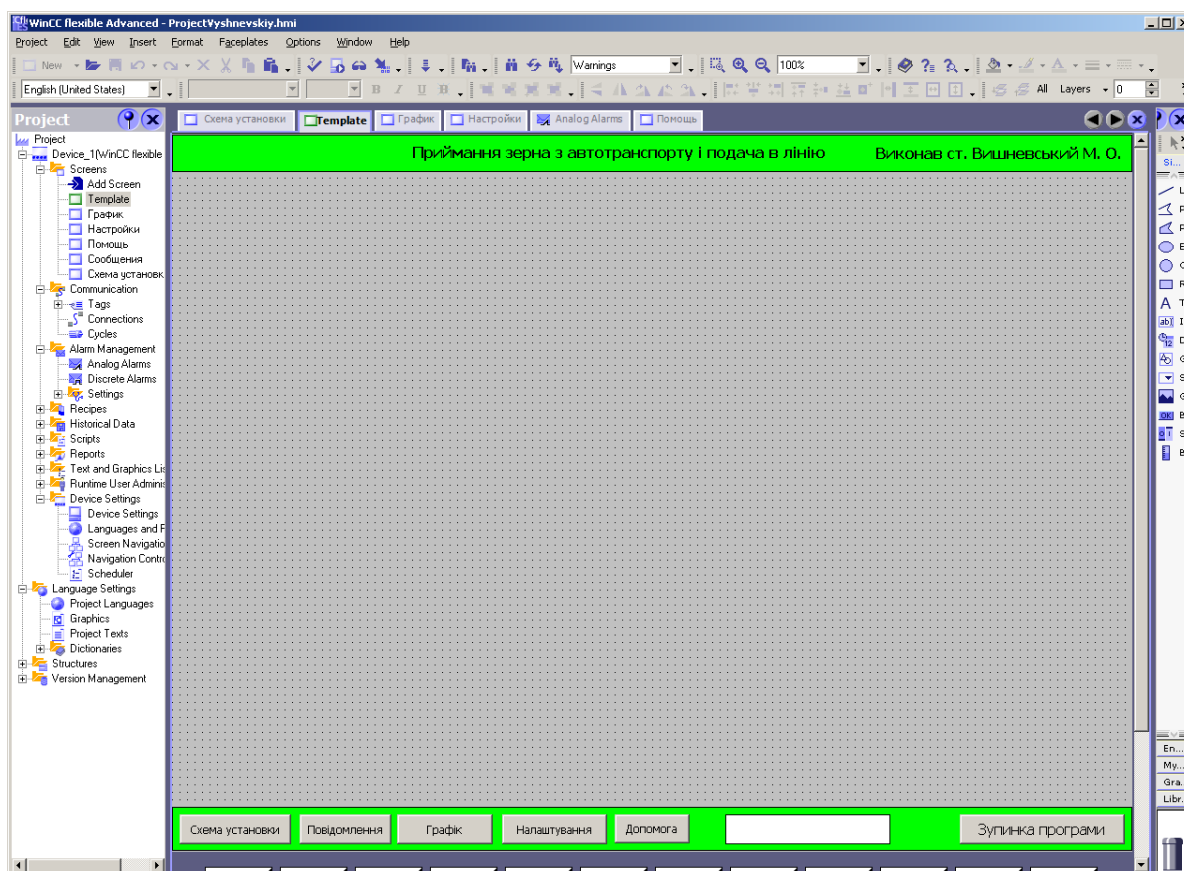


Рис.7.1 – Загальний вигляд шаблону вікон.

Шаблон екранів включає заголовок екрану і меню перемикавання екранів АРМ. Заголовок екрану створений з використанням типових елементів графічного редактора системи WinCCflexible. Він включає логотипи розробника проекту, загальна назва технологічного процесу. Висновок назви вікна здійснюється за допомогою виклику підпрограми (рис.7.2). Підпрограма викликається з системного події - «Change screen».

```

Sub DisplayCurrentScreenName( )
1  ' WARNING!
2  ' *****
3  ' This is a generated script.
4  ' Do not modify this script!
5  ' *****
6  '
7  '
8  Dim o
9  Set o = HmiRuntime.Screens("OverView").ScreenItems("TemplateTextFieldScreenName")
10 o.Text = HmiRuntime.BaseScreenName
11
12
13

```

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

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

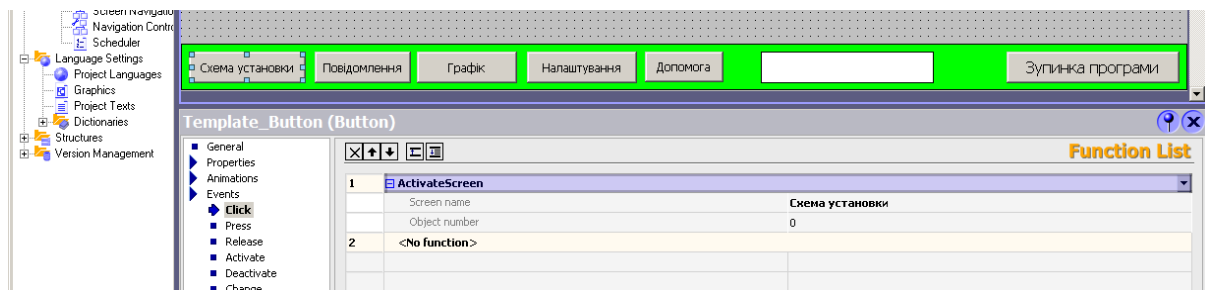


Рис.7.3 – Приклад використання системної функції «ActivateScreen» для перемикання екранів графічного інтерфейсу.

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

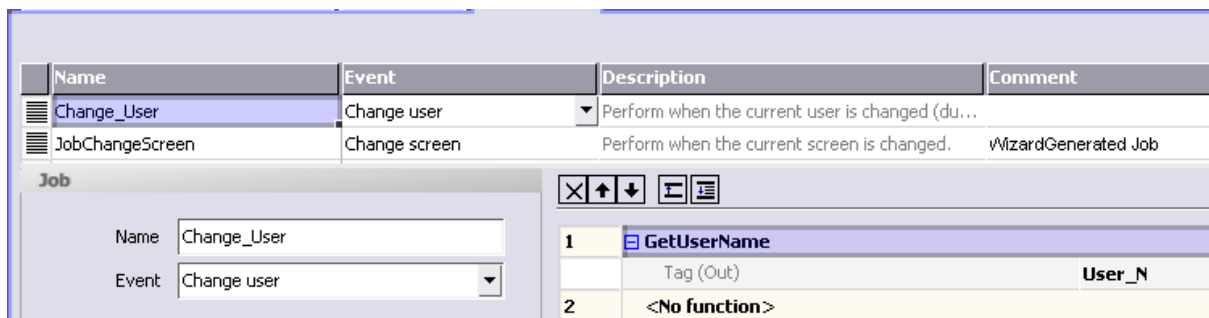


Рис. 7.4 – Вікно налаштування обробки системних подій в планувальнику завдань «Scheduler».

Мнемосхема ділянки.

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

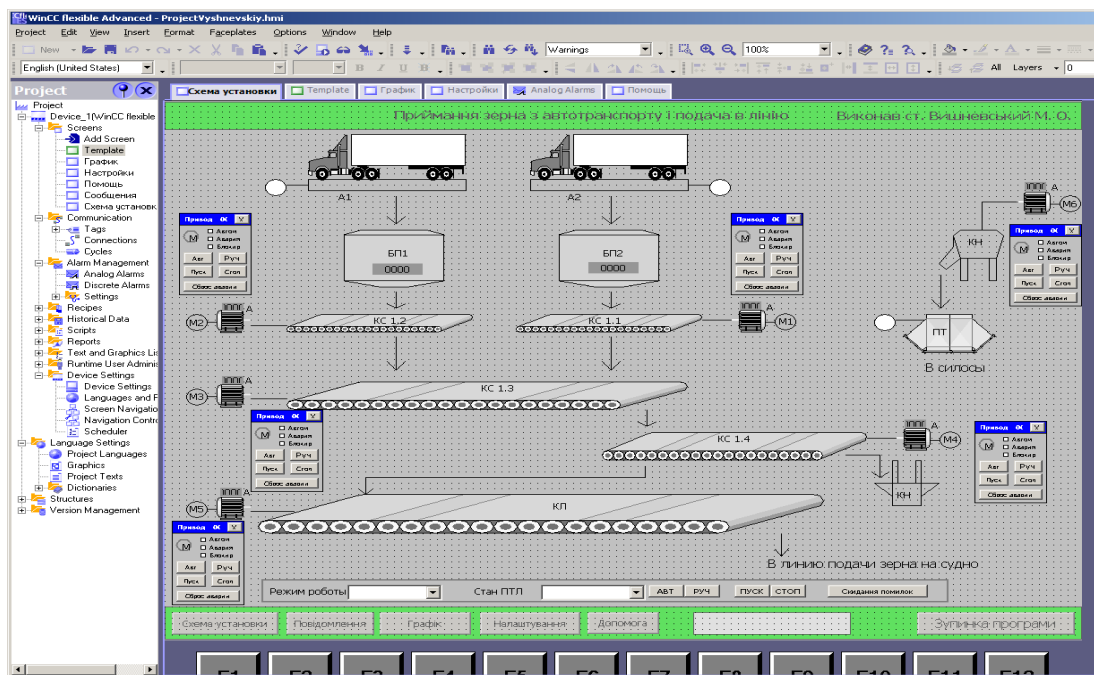


Рис. 7.5 – Загальний вигляд вікна «Схема установки».

Відображення поточних значень і введення заданих значень технологічних параметрів виконується з використанням елементів «IO Field», які пов'язують з відповідними тегамі. Відображення дискретних сигналів з датчиків виконується за допомогою елементів «Circle» за рахунок зміни їх кольору. Також зміною кольору елементів мнемосхеми волочильного стану або появою стрілок вказують напрямок потоку зерна, відображається включення двигунів і відкриття клапанів.

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

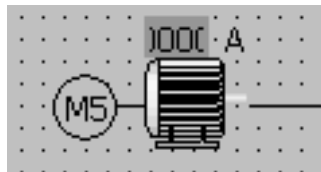


Рис. 7.6 – Екранні форми для контролю стану двигунів та виконавчих пристроїв.

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

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

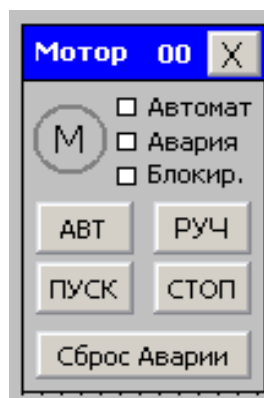


Рис. 7.7 – Екранні форми для керування двигунами.

Екранні форми управління також прив'язуються до тегів контролера і дозволяють оператору міняти режим роботи (АВТ / РУЧ) двигуна, управляти їх станом, підтвердити помилки при їх виникненні. На рис. 7.8 представлений приклад прив'язки тегів до екранної форми управління двигуном. Створені екранні форми згруповані в спеціальній бібліотеці і можуть використовуватися при створенні інших проектів.

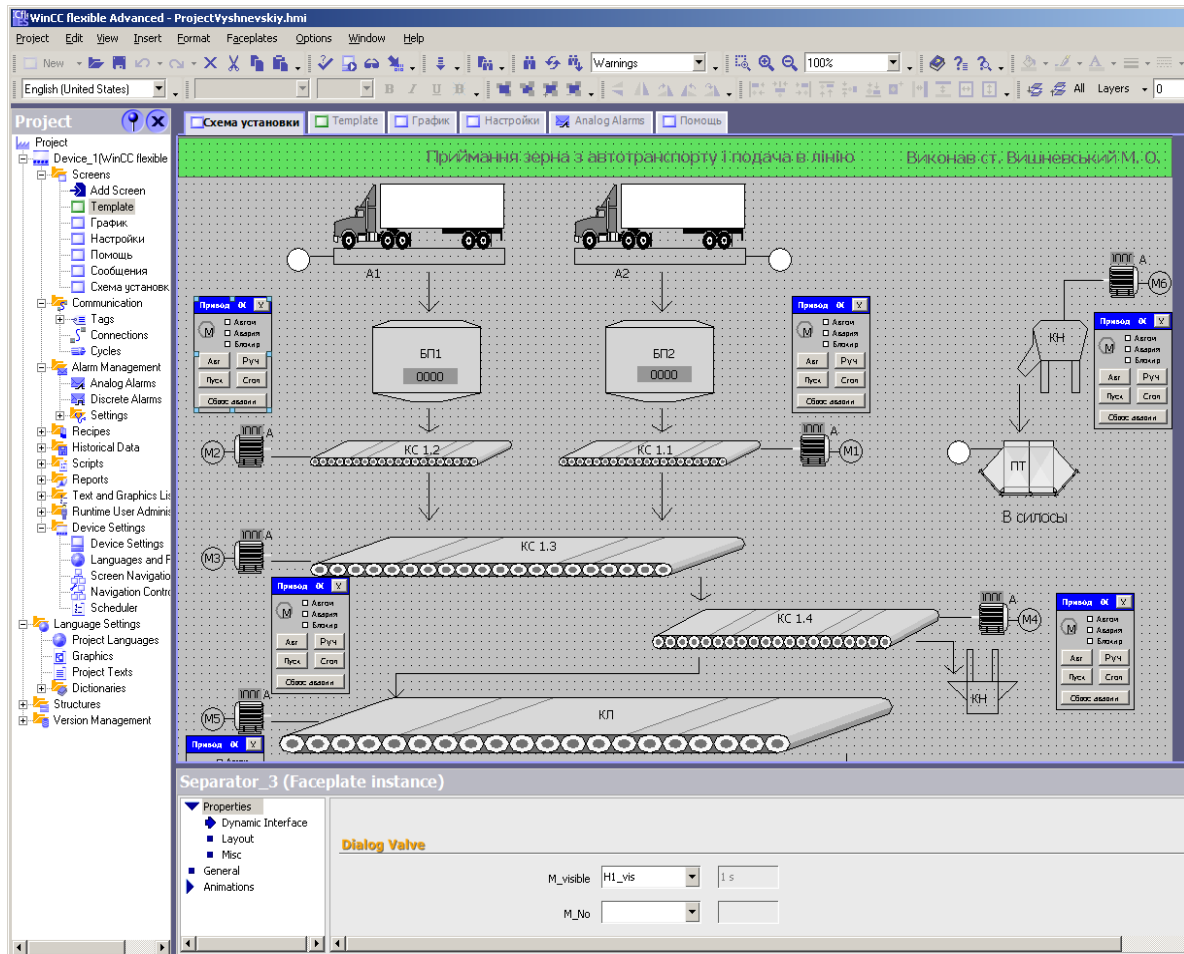


Рис. 7.8 – Фрагмент вікна прив'язки тегів до екранної форми управління двигуном.

На малюнку 7.9 представлений екран «Схема установки» при працюючому в автоматичному режимі керування поточною транспортною лінією приймання зерна з автомобільного транспорту з відкритими екранними формами управління засувками і двигунами.

Екранні форми управління викликаються натисканням лівої кнопки миші на відповідній екранній формі контролю стану двигуна або клапана. Детальну інформацію про екранних формах контролю стану двигунів або клапанів з розшифровкою їх станів оператор може отримати в екранній формі «Допомога» (рис. 7.10).

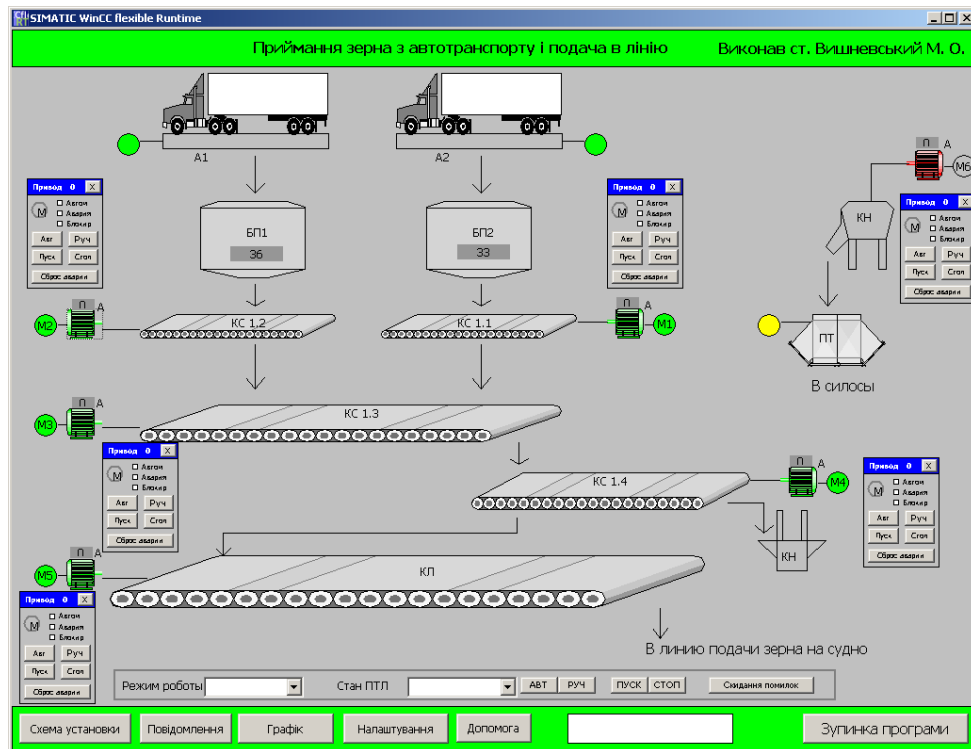


Рис. 7.9 – Загальний вигляд екрану «Схема установки»
при нормальній роботі.

Екран «Допомога»

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

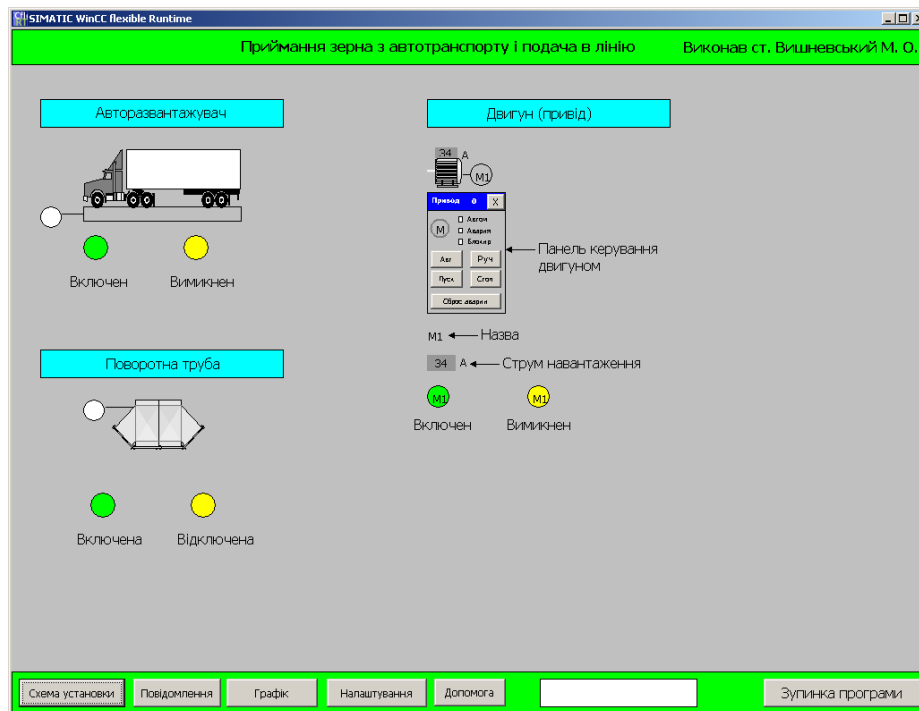


Рис.7.10 – Загальний вигляд екрану «Допомога».

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

Графіки зміни технологічних параметрів.

Для реєстрації змін основних технологічних параметрів в проекті передбачено вікна побудови графіків зміни маси приймальних бункерів. Для побудови графіків використовується елемент «Trend View» із стандартної бібліотеки SCADA - системи WinCCFlexible. На малюнку 7.11 представлений вікно реєстрації маси приймальних бункерів, а на малюнку 7.12 приклад налаштування елемента «Trend View» і його прив'язки до тегів контролера.

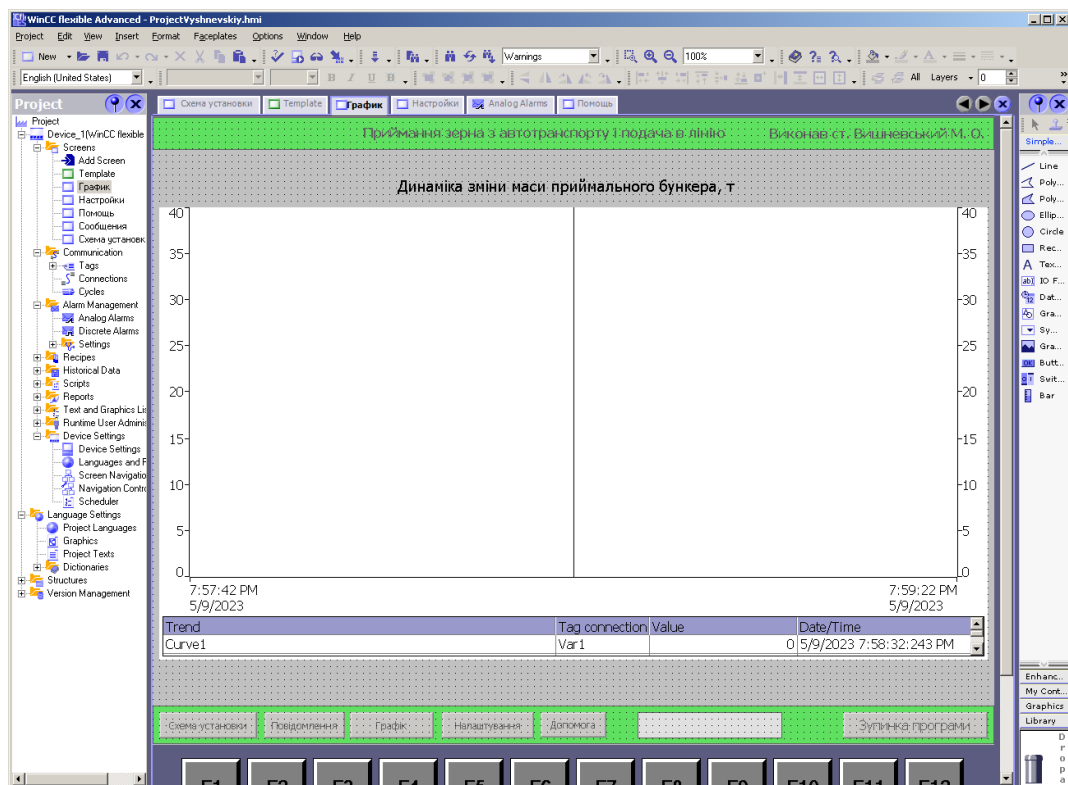


Рис.7.11 – Екран реєстрації маси приймальних бункерів.

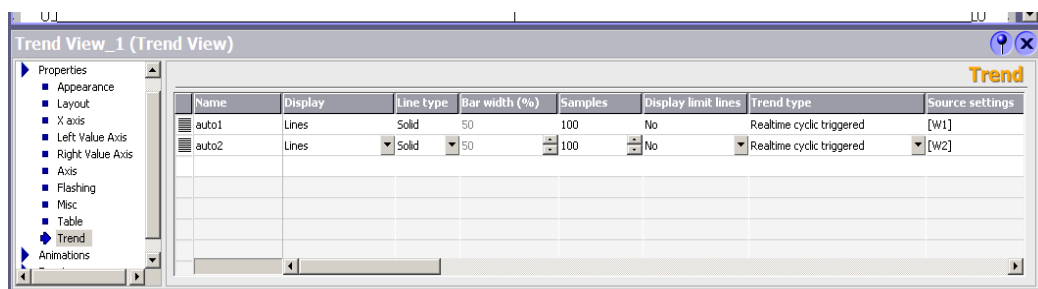


Рис.7.12 – Приклад налаштування елемента «Trend View».

На рис. 7.13 представлені графіки зміни маси приймального бункера для авторозвантажувача 1 та авторозвантажувача 2 під час їхнього заповнення зерном.

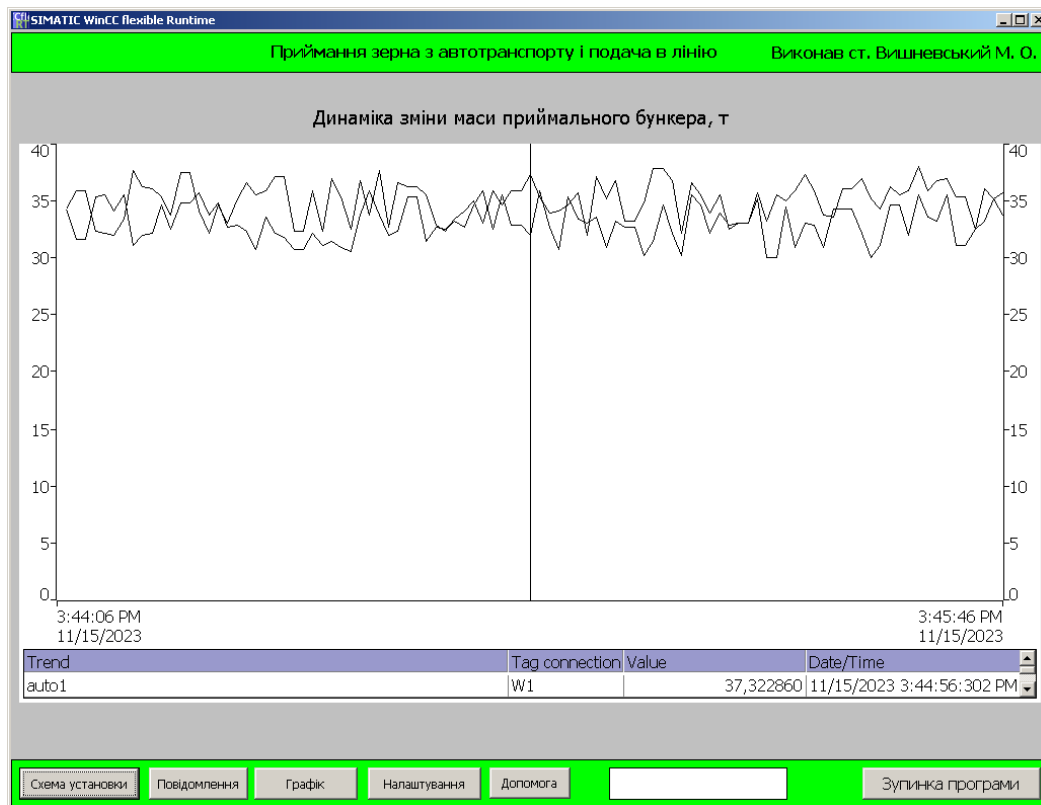


Рис. 7.13 – Графіки зміни маси приймального бункера.

Діагностичні повідомлення.

Для інформування оператора про стан технологічного процесу і події виникають з обладнанням процесу приймання зерна з автомобільного транспорту в проекті створена система повідомлень з використанням відповідного редактора SCADA - системи WinCCFlexible. Система повідомлень включає повідомлення обумовлені користувачем і системні повідомлення. Повідомлення, обумовлені користувачем, розділені на дискретні і аналогові і належать класам «Warnings» (попередження) і «Errors» (помилки). Повідомлення класу «Errors» інформують про критичні або небезпечних робочих станах заносяться в архів. Фрагменти списків дискретних і аналогових повідомлень, класів повідомлень представлені на малюнках 7.14 - 7.16.

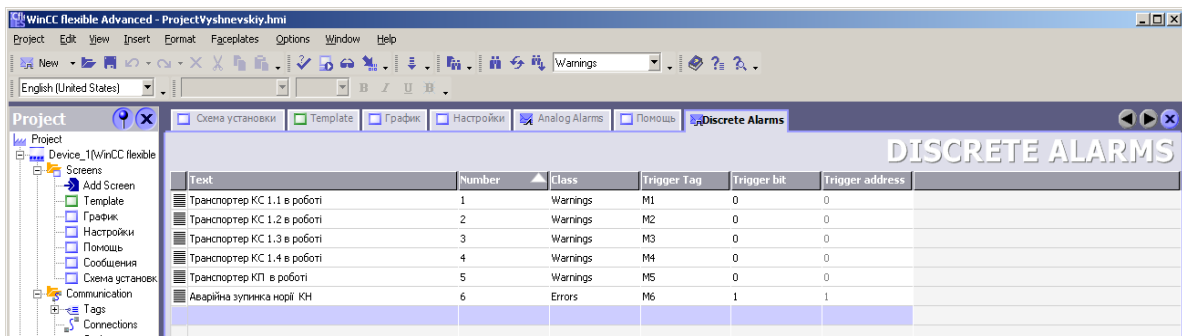


Рис.7.14 – Фрагмент вікна редактора дискретних повідомлень.

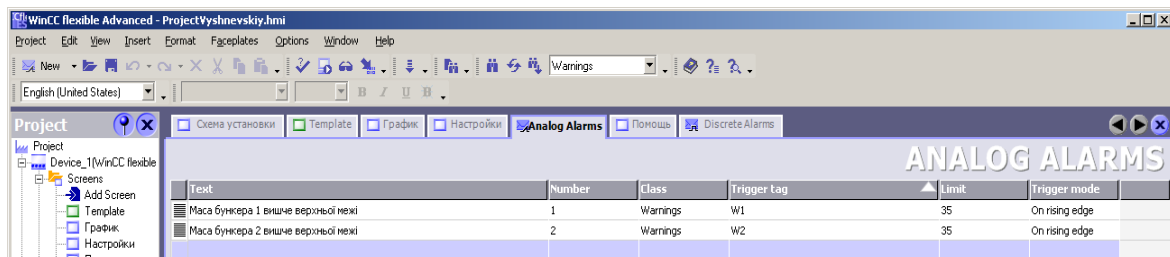


Рис.7.15 – Фрагмент вікна редактора аналогових повідомлень.

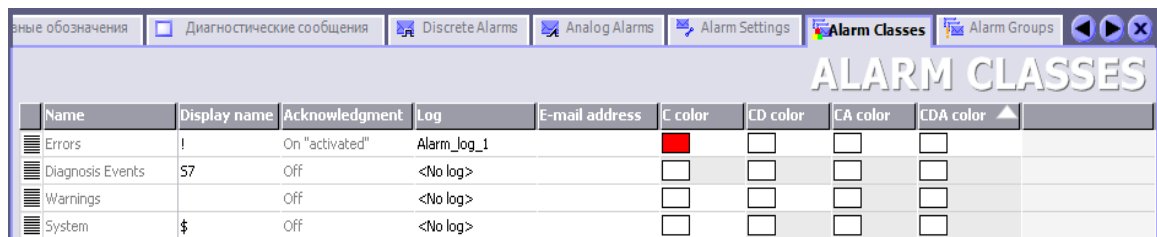


Рис. 7.16 – Загальний вигляд вікна класів повідомлень.

Відображення повідомлень на екрані виконується за допомогою елемента «Alarm View», який може бути налаштований на виведення поточних активних повідомлень, вмісту буфера повідомлень, вмісту архіву повідомлень. При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів.

На малюнку 7.17 представлений приклад екрану з елементами «Alarm View» налаштованими на виведення поточних активних робочих повідомлень і повідомлень про несправності, а на малюнку 7.18 представлено вікно властивостей елемента «Alarm View» налаштованого на виведення поточних активних повідомлень про несправності, що відносяться до класу «Errors».

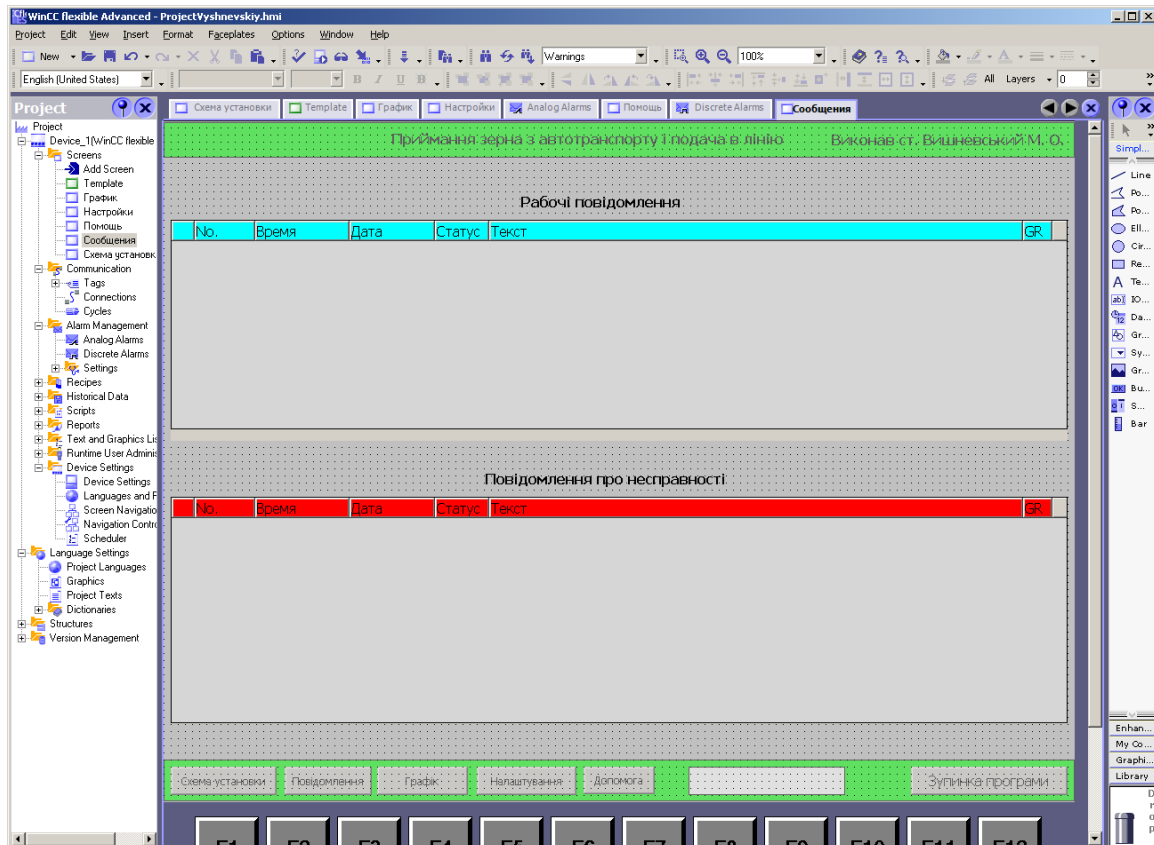


Рис.7.17 – Загальний вигляд екрану виведення поточних активних діагностичних повідомлень.

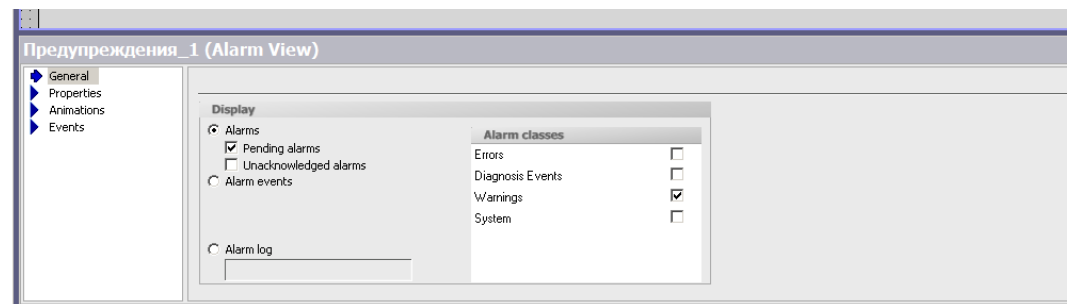


Рис. 7.18 – Загальний вигляд вікна налаштування властивостей елемента виведення повідомлень «Alarm View».

На рисунку 7.19 представлено екран, що демонструє роботу системи повідомлень для повідомлень, що визначаються користувачем. На екрані відображено поточні попередження та інформація про несправне обладнання.

SIMATIC WinCC flexible Runtime

Приймання зерна з автотранспорту і подача в лінію

Виконав ст. Вишневський М. О.

Рабочие сообщения

No.	Время	Дата	Статус	Текст	GR
1	4:18:23 PM	11/15/2023	C	Маса бункера 1 вище верхньої межі	0
3	3:39:41 PM	11/15/2023	C	Транспортер КС 1.3 в роботі	0
1	3:39:41 PM	11/15/2023	C	Транспортер КС 1.1 в роботі	0
2	3:39:41 PM	11/15/2023	C	Транспортер КС 1.2 в роботі	0
4	3:39:41 PM	11/15/2023	C	Транспортер КС 1.4 в роботі	0
5	3:39:41 PM	11/15/2023	C	Транспортер КП в роботі	0

Сообщения об неисправностях

No.	Время	Дата	Статус	Текст	GR
6	3:39:41 PM	11/15/2023	C	Аварійна зупинка норії КН	0

Схема установки

Повідомлення

Графік

Налаштування

Допомога

Зупинка програми

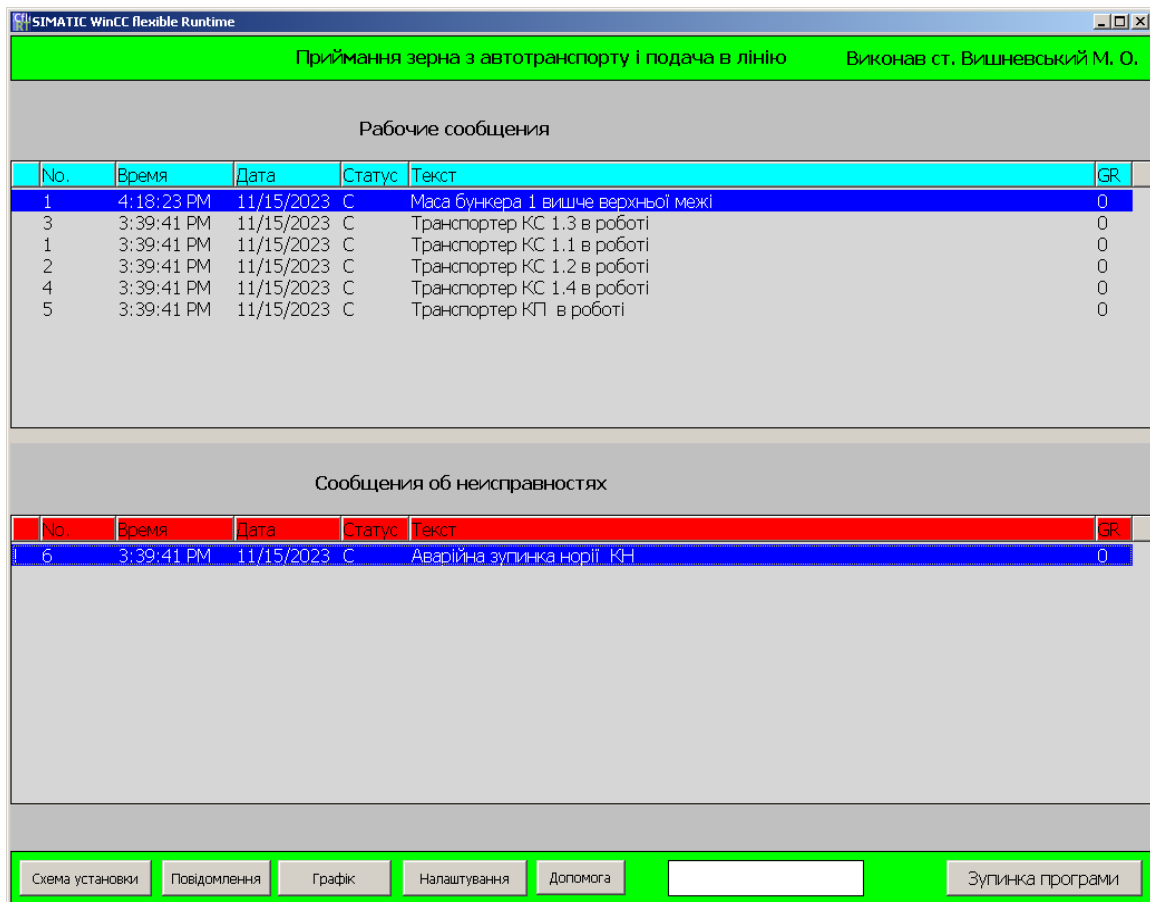


Рис.7.19 – Загальний вигляд екрану з поточними повідомленнями.

7.3. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ наладчика САУ

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

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

1. Управляти контурами регулювання:
 - Відображати поточні та задані значення регульованих перемінних;
 - Відображати поточні значення керуючих впливів;
 - Міняти значення настроювальних параметрів регуляторів;
 - Міняти задані значення регульованих змінних;

- Перемикати режими роботи регуляторів АВТ / РУЧ і формувати управляючі дії в ручному режимі.

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

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

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

5. Задавати граничні значення технологічних параметрів.

6. Виконувати адміністрування користувачів системи.

7. Виконувати аналіз системних повідомлень.

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

1. Налаштування САК.

2. Реєстрація.

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

7.4. Розробка екранів АРМ наладчика САК.

Налаштування САК.

Для виконання завдань налаштування контурів регулювання, тайм аутів на спрацьовування датчиків положення, тимчасових затримок для алгоритмів керування пуском і зупинкою, граничних значень технологічних параметрів у проекті передбачений екрани зміни налаштувань САК (рис.7.20).

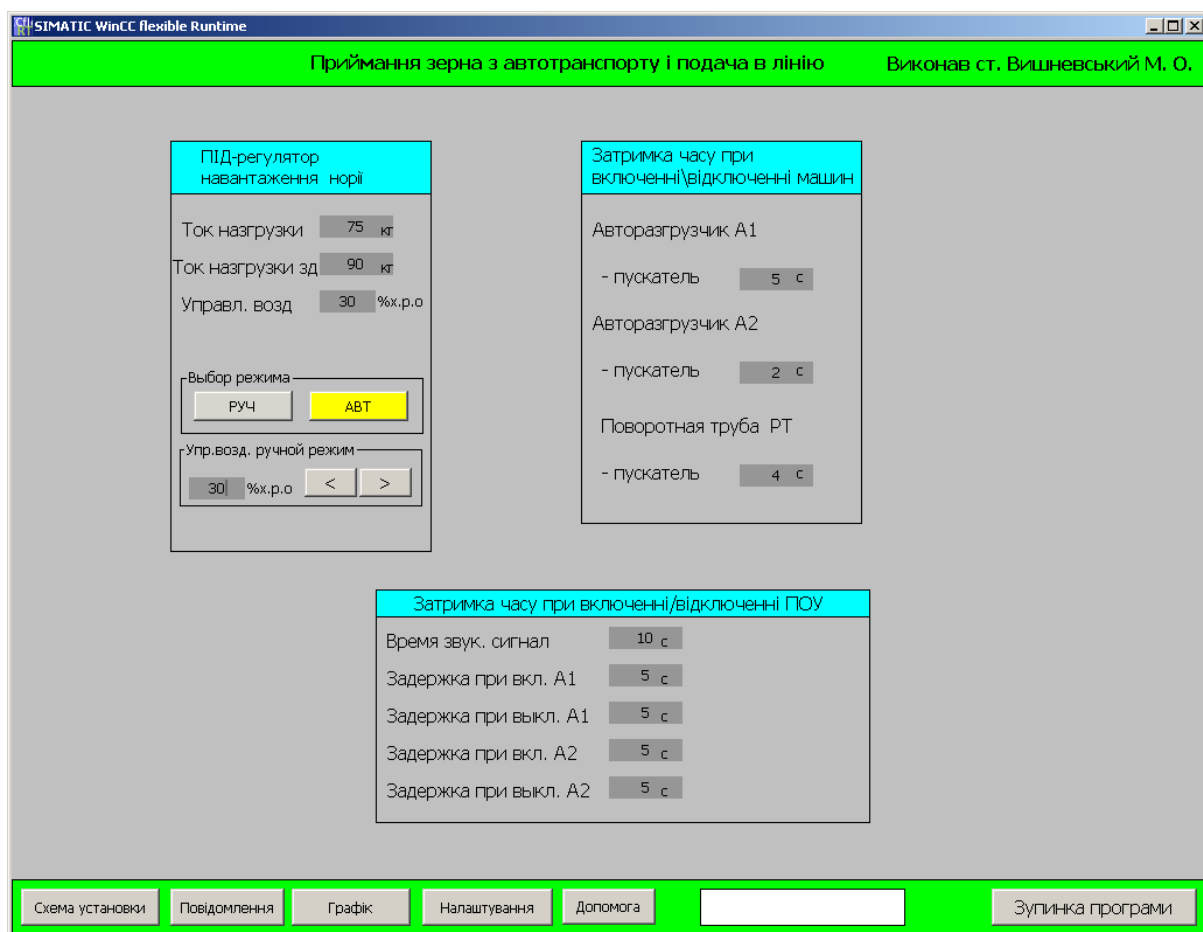


Рис.7.20 – Загальний вигляд екрану «Налаштування САК».

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

Список користувачів.

Екран «Реєстрація» (рис. 7.21) надає настройщику можливість виконувати роботу зі списком користувачів. Змінювати імена, паролі, групи існуючих користувачів. Додавати і видаляти користувачів системи. Реалізовано екран на основі елемента «User View».

Пользователь	Пароль	Группа	Время выхода
Admin	*****	Group (9)	5
PLC User	*****	Неправомо...	5
User1	*****	Group (1)	5

Рис. 7.21 – Загальний вигляд екрану «Реєстрація» з елементом «User View» при роботі програми.

7.5 Висновок за розділом

При виконанні розділу в середовищі SCADA - системи WinCCFlexible розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САК процесу керування витоком зерна з приймального бункера станції розвантаження автомобілів у ПТС терміналу. АРМ дозволяє контролювати хід технологічного процесу, задавати режими роботи, зокрема навантаження на норію, здійснювати перемикання режимів управління обладнанням (АВТ / РУЧ) і управляти в ручному режимі окремим обладнанням, проводити налаштування і налагодження САК. Відображати динаміку зміни технологічних параметрів, вести журнали подій, проводити адміністрування користувачів програми.

РОЗДІЛ 8. РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ САК ТА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ БЕЗПЕКИ

8.1 Опис функціональної схеми автоматизації

Зерно з авторозвантажувача зсипається у приймальний бункер розрахований на 45 т. Спрацьовує одразу тензодатчики (датчики ваги) WE1,2 (1а), в щиті виповнені як WY (1б), аналоговий вхідний AI сигнал котрих поступає в ПЛК, за цим, після заповнення бункера спрацьовує верхній датчик рівня LS1(2а) з лампочкою (2б), його дискретний вхідний сигнал DI одразу спрямовується в ПЛК. Зерно поступово попадає на живильник в якому встановлений частотний перетворювач показаний в щиті WC (1в), чий вихідний аналоговий AO сигнал поступає у ПЛК, також працює двигун M1 (3) дискретний вихідний DO сигнал котрого спрямовується до ПЛК.

Надалі наступні двигуни машин мають типові виконання з такими самими сигналами які потрапляють в ПЛК. З останньої машини (конвеєра) зерно потрапляє у лінію подачі зерна на судно.

8.2 Опис принципової електричної схеми з частотним перетворювачем

Розриви проводів йдуть до встановленого шкидкодіючого запобіжника f4 (для захисту частотника). Далі встановлені контакти контактора Q5, коли вони спрацюють під живлення. Частотник конвертує живлення в іншу частоту і видає це назовні до двигуна з місцевим захистом.

Частотник керується двома сигналами . Перший сигнал – сигнал дозволу, чи можливо обертання. Потім сигнал аналоговий 0-10В , котрий впливає на швидкість обертання . Якщо в нас виникла помилка , то можливо дистанційно дати напругу і зняти помилку це є квітування помилки.

Живлення однієї з фаз Q4 для аварійної зупинки. Так само для кнопки СТОП це Q5. Але цим вимкненням не потрібно зловживати у частотника.

Зупинка приводу виконується зняттям сигналу обертання . Переведення в автоматичний режим вмикає K5. K4 вимикає привід , коли виникає помилка. З'являється напруга і подавши 24В можна вимкнути K4 для зупинки двигуна.

8.3. Опис принципової електричної схеми живлення

В шафу автоматики напруга із однієї з фаз подається на контакти , далі через двосекційний вимикач напруга потрапляє на обмотку розподільного трансформатора , його функція – видалити постійні складові можливих завад. Із вторинної обмотки трансформатора через автоматичні перемикачі Q3, напруга потрапляє на два ідентичні блоки живлення G1 та G2 . Перший блок живлення використовується для живлення контролера зовнішніх ланок. Другий блок живлення застосований для живлення панелі оператора . Запобіжники f2 та f3 виконують функцію захисту від короткого замикання G1 та G2 . Для того щоб підключити при необхідності паяльник для роботи , в нас встановлені розетки які підключаються через диференціальний вимикач Q2 налаштований на 30мА.

8.4 Техніка безпеки

Організаційно -технічна підготовка монтажних робіт

Монтажу систем автоматизації повинна передувати підготовка згідно зі СНиП 3.01.01-85 і справжніми правилами.

У складі загальної організаційно -технічної підготовки повинні бути визначені замовником і узгоджені з генпідрядником і монтажною організацією:

а) умови комплектування об'єкта приладами, засобами автоматизації , виробами і матеріалами поставки замовника, що передбачають поставку їх на технологічний блок. вузол, лінію;

б) перелік приладів, засобів автоматизації, агрегатних і обчислювальних комплексів АСУ ТП, монтованих із залученням Шефмонтажні персоналу підприємств -виробників;

в) умови транспортування блоків щитів, пультів, групових установок приладів , трубних блоків до місця монтажу.

При підготовці монтажно організації до виробництва робіт

повинні бути : а) отримана робоча документація ;

б) розроблений і затверджений проект виробництва робіт ;

в) зроблене приймання будівельної та технологічної готовності об'єкта до монтажу систем автоматизації;

г) зроблене приймання обладнання (приладів ,засобів автоматизації, щитів, пультів , агрегатних і обчислювальних комплексів АСУ ТП) , виробів і матеріалів від замовника та генпідрядника ;

д) вироблена укрупнювального збирання вузлів і блоків ;

е) виконані передбачені нормами і правилами заходи з охорони праці та протипожежної безпеки.

До початку монтажу систем автоматизації монтажною організацією спільно з генпідрядником та замовником повинні бути вирішені наступні питання:

а) встановлені випереджаючі терміни будівництва спеціальних приміщень, призначених для систем автоматизації , що забезпечують

своєчасне проведення індивідуальних випробувань вводяться в дію технологічних ліній , вузлів і блоків;

б) визначено технологічні лінії , вузли , блоки і терміни їх передачі під індивідуальні випробування після виконання монтажу систем автоматизації;

в) передбачені необхідні виробничі майстерні , побутові та конторські приміщення, обладнані опаленням , освітленням та телефоном;

г) розроблено рекомендації та схеми підйому великогабаритних вузлів на проектні відмітки та їх переміщення через монтажні прорізи ;

д) передбачені постійні або тимчасові мережі , що підводять до об'єктів електроенергію , воду , стисле повітря , з пристроями для підключення обладнання та інструменту ;

е) передбачені у відповідності з проектом (робочим проектом) заходи, що забезпечують захист приладів і засобів автоматизації , щитів, пультів ,трубних і електричних проводок від впливу атмосферних опадів,грунтових вод і низьких температур , від забрудненні і пошкоджень , а засобів обчислювальної техніки - і від статичної електрики.

У робочій документації систем автоматизації , прийнятої до виробництва робіт, монтажна організація повинна перевірити наступне:

а) взаємозв'язки з технологічної, електротехнічної , сантехнічної та іншої робочою документацією ;

б) прив'язки у робочих кресленнях приладів і засобів автоматизації,що поставляються підприємствами-виробниками;

в) врахування вимог високої заводської і монтажної готовності обладнання , передових методів монтажних робіт , максимального перенесення трудомістких робіт в монтажно -заготівельні майстерні;

г) вказівки категорій трубних проводок у відповідності з рекомендованим додатком 2 ;

д) наявність вибухонебезпечних або пожежонебезпечних зон та їх межі, категорії, групи та найменування вибухонебезпечних сумішей; місця установки роздільних ущільнень і їх типи;

е) наявність документації на виконання робіт з монтажу та випробуванню трубних проводок на тиск понад 10 МПа (100 кгс/см²).

Приймання будівельної та технологічної готовності до монтажу систем автоматизації слід здійснювати поетапно за окремими закінченими частинами об'єкта (диспетчерські, операторські приміщення, технологічні блоки, вузли, лінії і т. п.).

Поставка на об'єкт виробів і матеріалів організацією, монтують системи автоматизації, повинна здійснюватися, як правило, за допомогою контейнерів.

В залежності від виконуваної роботи електромонтажника забезпечують наборами індивідуального інструменту. В даний час для електромонтажних робіт заводи випускають такі типові набори інструменту: НИЭ-3 — загального призначення; МКІ-3 — для монтажу кабельних ліній; НІСО і НІОМ — для обпресування наконечників; НСПУ — для пропановоздушної пайки; НДО — для зварювання гнучкої ошиновки НІК-4 — для монтажу вторинних ланцюгів.

У набір інструментів загального призначення входять наступні інструменти: плоскогубці комбіновані ППІ-200 з ізолюючими чохлами, гострогубці (кусачки) з ізолюючими чохлами, кліщі універсальні КУ-1, молоток слюсарний з дерев'яною ручкою, ніж монтерський, викрутки (В100х0,3; В150х0,5; В175х0,7; В200х1), метр (сталевий та дерев'яний), шило монтерское, ключ розвідний, сталевий шпатель, гипсовка гумова, показчик напруги І-192, пробник, окуляри захисні світлі, шнур розмічальний (довжиною 15м).

Кліщі КСІ-1 використовують для зняття ізоляції з круглих дротів і шнурів перетином 1,5 і 2,5 мм², а також для їх відкушування.

Кліщі універсальні КУ-1 застосовують при обробці одножильних, двошкульних і трьохжильних кабелів усіх марок перерізом 1,5 ;2,5; 4 мм².

Термоклещі ТК-1 використовують для зняття пластмасової ізоляції на будь-якій ділянці дроту. Кліщі забезпечені вилкою для включення в електричну мережу напругою 36 Ст.

Ніж монтерський НМ-2 складаний з запобіжником від самоскладывання призначений для зняття паперової ізоляції з проводів, кабелів, для зачистки жив і інших аналогічних робіт.

При монтажі широко використовують електричні і пневматичні гайковерти для загортання, затягування і викручування болтів і гайок, що дозволяє підвищити продуктивність праці порівняно з виконанням цих операцій вручну в середньому в 5 разів.

Електричні шуруповерти та гайковерти за характером затягування відносяться до двох груп: перша група — інструменти, в яких обертальний момент передається безпосередньо від двигуна до шпинделя; друга група — електрогайковерты з нерегульованим крутним моментом. Інструменти другої групи мають муфти, які перетворюють крутний момент, що передається від вала ротора, у обертально-ударні імпульси.

В даний час часто використовують пневматичні гайковерти реверсивні ударно-обертальної дії. Широке застосування при монтажі отримали серійно виготовляються механізовані шліфувальні інструменти для очищення металоконструкцій від іржі, підготовки поверхонь під зварювання, а також для шліфування та полірування різних поверхонь.

Рациональне використання механізованого шліфувального інструменту в значній мірі залежить від того, наскільки його параметри відповідають умовам виконуваної роботи. Так, для легких точних робіт доцільно застосовувати шліфувальні малогабаритні інструменти ІЕ-6103 і ІІ-2009А, які забезпечують досить високу

продуктивність при проведенні доводочних робіт, развалка паросточок у корпусів і кришок підшипникових опор, пригону площин, роз'єми підшипникових опор, доведення робочих поверхонь і т. д.

Для свердління гнізд у цегляних і гіпсолітових підставах під коробки прихованої проводки застосовують коронки КГС, для свердління отворів — спіральні свердла з твердосплавними напайками, для глибоких отворів — свердла з кручений сталі, кільцеве свердло (СК) зі штангою, перехідним хвостовиком і втулкою, буріки і т. п.

При виготовленні отворів в будівельних основах з бетону, цегли та інших матеріалів застосовують електросверлильні ручні машини на напругу 220 В з подвійною ізоляцією або на 36 У в комплекті зі спеціальним перетворювачем, який не тільки знижує напругу, але і підвищує частоту до 200 Гц.

Електросверлильні ручні машини по конструкції поділяють на три групи: з однією рукояткою пістолетного типу — для свердел діаметром 9мм; з двома рукоятками — центральної (закритою) і бічний — для свердел діаметром 10...16мм; двома боковими ручками і грудним упором — для свердел діаметром більше 16мм.

Успішно застосовують також пневматичні свердлильні інструменти, які обладнані ротаційними двигунами. Вони більш компактні і легше електричних.

При виконанні комплексу монтажних операцій: зенкування отворів, загвинчування і відгвинчування різьбових з'єднань, нарізування різьби, зачищення зварних швів, прямолінійною і фасонної різання листового металу і очищення поверхонь від окалини, іржі і старої фарби слід застосовувати механізований інструмент УПМ-0,3, який комплектують свердлувальним патроном для загвинчування шпильок, радіальної та торцевої дротяними щітками.

Для очищення поверхні від іржі, окалини, старої фарби і виконання інших технологічних операцій при проведенні монтажу обладнання широке застосування отримала механізована щітка, впровадження якої дозволило підвищити продуктивність праці на цих операціях на 25 %. Щітка складається з пневматичної реверсивного двигуна, пускового пристрою, кутовий головки і дротяної щітки з кожухом. Реверсивність механізованого інструменту значно підвищує термін служби дротяної щітки і збільшує продуктивність.

Для пробивних робіт електромонтажники використовують також механічні та електрофугальні молотки (ударні), наприклад ИЭ-4207 з подвійною ізоляцією і ручні електричні перфатори (ударно-обертальні), наприклад ИЕ-4709 або ИЕ-4713, призначені для пробивання отворів у бетоні та залізобетоні.

З допомогою електричних молотків та перфаторів можна виконувати різноманітні операції: свердлення отворів по металу; ударно-обертальне буріння отворів в бетоні, цеглі .

Для кріплення конструкцій, виробів і деталей часто застосовують поршневий піротехнічний монтажний пістолет ПЦ-52. Забивання дюбеля він здійснює ударом поршня переміщається в стволі пістолета за рахунок тиску порохових газів.

При фіксації дюбеля в направник пістолета на його циліндричну частину насаджують сталеву шайбу або використовують поліетиленовий наконечник. В якості джерела енергії використовують малогабаритні монтажні патрони (6,8 мм), заряджені бездимним порохом.

Електричні і пневматичні ножиці застосовують для прямолінійного і фасонної різання листової сталі середньої твердості і листів з кольорових металів.

Монтажні механізми і машини, що вимагають для свого обслуговування спеціально прикріпленого до них персоналу і

використовуються при виконанні транспортних, такелажних, вантажно-розвантажувальних та інших робіт (трейлери, трактори, автомобільні крани, автовишки), відносять до засобів великої механізації.

Вищою формою механізації робіт є комплексна, тобто заміна ручної праці механізованим на всіх операціях відповідного технологічного процесу. Механізація робіт, при якій монтажні технологічні процеси виконують комплексом механізмів, називається комплексною механізацією. При розробці схем комплексної механізації особливу увагу звертають на вибір найбільш раціональних методів виробництва робіт, засобів механізації та ефективних механізмів.

При наявності декількох різних комплексів механізмів їх вибір визначається техніко-економічними показниками. Засоби механізації, а також набір інструментів, найбільш часто використовуваних бригадою електромонтажників.

Індустріалізація електромонтажних робіт.

Під індустріалізацією монтажних робіт розуміється сукупність організаційно-технічних заходів, спрямованих на підвищення продуктивності праці, скорочення термінів провадження робіт, поліпшення якості й зниження собівартості монтажних робіт шляхом виконання більшої частини заготівельних робіт у монтажно-заготівельних майстернях (виробничих базах) і промислових підприємствах (заводах).

Основне завдання індустріального повнозбірного монтажу полягає в тому, щоб винести з монтажно-зона всі роботи з виготовлення виробів, конструкцій, вузлів і блоків на промислові підприємства й виробничі бази, максимально перетворивши монтаж у збірку й установку укрупнених і комплектних вузлів і блоків.

Повнозбірний монтаж здійснюється у дві стадії.

На першій стадії виконують організаційно-підготовчі роботи: вивчають проектно-кошторисну документацію, виготовляють проект провадження робіт, виконують заготівельні роботи (заготівля конструкцій, вузлів, блоків, їхня укрупнена зборка), погоджують із промисловими підприємствами поставку блокових щитів, окремих конструкцій і вузлів (стенди датчиків, штативи й т.п.). Одночасно із цими роботами перевіряють наявність закладних частин і прорізів у будівельних конструкціях й елементах будинків, наявність відбірних пристроїв на технологічному встаткуванні й трубопроводах, розмічають траси й встановлюють опорні конструкції для проводок і т.п. Роботи першої стадії виконують одночасно з основними будівельними й механомонтажними роботами.

Як показав досвід, на цій стадії робіт доцільно залучати пусконаладжувальний персонал для більш повного аналізу якості проектно-кошторисної документації; це дозволить уникнути можливих монтажних переробок у період пусконаладжувальних робіт.

На другій стадії виконують монтажно-збірні роботи безпосередньо на монтажній площадці: прокладають проводки по встановлених конструкціях, підключають трубні й електричні проводки до приладів, встановлюють і збирають трубні блоки, установлюють блоки щитів, вузлів кріплення й обв'язки приладів і засобів автоматизації .

На цій стадії особливо важлива своєчасна поставка укрупнених монтажних вузлів і блоків, раціональне розміщення й використання вантажопідйомних засобів як підрядною монтажною організацією, так і генпідрядником за графіком, а також оснащення монтажних бригад спеціалізованим інструментом і механізмами.

Другу стадію повнозбірного монтажу можна розділити на три основні етапи:

- 1) монтаж магістральних сполучних трубних й електричних проводок;
- 2) монтаж щитів і пультів в операторських (щитових) приміщеннях;
- 3) монтаж місцевих приладів.

Роботи другої стадії виконують після закінчення основних будівельних робіт паралельно з роботами суміжних монтажних організацій.

Повнозбірний монтаж повинен виконуватися при наявності будівельної й технологічної готовності об'єкта, що забезпечує безпечне ведення монтажних робіт, захист приладів, щитів і пультів, трубних й електричних проводок, що монтуються, від впливу атмосферних опадів, низьких температур, забруднень й ушкоджень.

Вимоги до проектної документації

Монтажні роботи виконують по проектно кошторисній документації, розробленої відповідно до «Інструкції про склад, порядок розробки, узгодження і затвердження проектно-кошторисної документації на будівництво підприємств, будинків і споруд» СН 202-81 і «Тимчасовими вказівками по проектуванню систем автоматизації технологічних процесів» ВСН 281-75. Проектування систем автоматизації здійснюється в одну стадію - робочий проект зі зведеним кошторисним розрахунком вартості або в двох стадій:

- 1) проект зі зведеним кошторисним розрахунком вартості,
- 2) робоча документація з кошторисами.

До складу робочої документації входять: схеми автоматизації (функціональні схеми автоматизації по ВСН 281-75); принципові електричні, пневматичні схеми; схеми з'єднань і підключення зовнішніх

проводок; загальні види щитів і пультів; таблиці з'єднань і підключення електричних і трубних проводок у щитах і пультах;

плани розташування засобів автоматизації і проводок; загальні види нетипових креслень на установку приладів і засобів автоматизації; специфікація устаткування (ГОСТ 21. 110-82); специфікація щитів і пультів; відомість вузлів і конструкцій; відомість типових креслень; локальний кошторис на придбання і монтаж технічних засобів автоматизації; пояснювальна записка.

Робоча документація автоматизації блоків технологічного устаткування повинна бути виконана відповідно до «Еталона монтажних креслень систем автоматизації промислових підприємств, проєктованих із застосуванням блоків агрегатованого устаткування» ЭТМ-78. У робочій документації блоків повинні бути передбачені сполучні пристрої (сполучні коробки для електропроводок, зборки з'єднувачів Для трубних проводок і т.п.) для підключення зовнішніх кіл системи автоматизації.

При розгляді проектно-кошторисної документації робіт особлива увага повинна бути звернена на наступні положення: робоча документація повинна бути виконана з орієнтацією на монтаж індустріальними методами і на максимальне виготовлення всіх необхідних конструкцій, вузлів і блоків за межами монтажної зони.

На плані розташування засобів автоматизації, електричних і трубних проводок, прилади і засоби автоматизації, що встановлюються поза щитами (на стінах, підлозі, колонах будинків, на відкритих площадках і т.п.), а також потоки електричних і трубних проводок, повинні бути координовані.

Прокладання електричних проводок у вибухо- та пожежобезпечних приміщеннях

У пожежонебезпечних зонах будь-якого класу кабелі і проводи повинні мати покриття і оболонку з матеріалів, що не поширюють горіння.

Застосування кабелів з горючою поліетиленовою ізоляцією не допускається.

У пожежонебезпечних зонах будь-якого класу застосування неізольованих проводів забороняється.

У пожежонебезпечних зонах будь-якого класу дозволяються всі види прокладки кабелів і проводів. Відстань від кабелів та ізольованих проводів, що прокладаються відкрито безпосередньо по конструкціях на ізоляторах, лотках, тросах і т. п. до місць відкрито збережених (розміщуваних) горючих речовин, повинно бути не менше 1 м.

Прокладання незахищених ізольованих проводів з алюмінієвими жилами в пожежонебезпечних зонах будь-якого класу має проводитися в трубах і коробах.

По естакадах з трубопроводами з горючими газами і рідинами, що проходять по території з пожежонебезпечної зони класу II-III, допускається прокладання ізольованих проводів у сталевих трубах, неброньованих кабелів в сталевих трубах і коробах, броньованих кабелів відкрито. При цьому сталеві труби електропроводки, сталеві труби та короби з неброньованими кабелями та броньовані кабелі слід прокладати на відстані не менше 0,5 м від трубопроводів, по змозі з боку трубопроводів з негорючими речовинами.

Для пересувних електроприймачів повинні застосовуватися переносні гнучкі кабелі з мідними жилами з гумовою ізоляцією, в оболонці, яка стійка до навколишнього середовища.

З'єднувальні і відгалужувальні коробки, застосовувані в електропроводках в пожежонебезпечних зонах будь-якого класу повинні мати ступінь захисту оболонки не менше IP43. Вони повинні виготовлятися зі сталі або іншого міцного матеріалу, а їх розміри повинні забезпечувати зручність монтажу і надійність з'єднання проводів.

Частини коробки, виконані з металу, повинні мати всередині ізолюючу викладку або надійну забарвлення. Пластмасові частини, крім застосовуваних у груповій мережі освітлення, повинні бути виготовлені з важкогорючою пластмаси.

У пожежонебезпечних зонах класів П-I, П-II та П-IIa допускається застосування шинопроводів до 1 кВ з мідними і алюмінієвими шинами зі ступенем захисту IP20 і вище, при цьому в пожежонебезпечних зонах П-I і П-II всі шини, у тому числі і шини відгалуження, повинні бути ізольованими. У шинопроводах зі ступенем захисту IP54 і вище шини допускається не ізолювати.

Нерозбірні контактні з'єднання шин повинні бути виконані зварюванням, а розбірні з'єднання - із застосуванням пристосувань для запобігання самовідгвинчування.

Температура всіх елементів шинопроводів, включаючи відгалужувальні коробки, що встановлюються в пожежонебезпечних зонах класу П-I, не повинна перевищувати 60°C.

Прокладка електричних проводок при мінусових температурах.

Незалежно від марки і місця прокладання кабелів усередині приміщень або поза їх прокладання кабелів проводять, як правило, при плюсовій температурі навколишнього повітря.

У холодну пору слід перенесення і кладку броньованого та не броньованого кабелю з паперовою ізоляцією без попереднього прогріву прокладають тільки в тому випадку, коли температура повітря протягом 24 год до початку прокладки не знижувалася хоча б тимчасово нижче 0°C. При необхідності прокладки кабелю при більш низьких температурах кабелі попередньо прогрівають.

Спосіб прогріву кабелю вибирають у відповідності з місцевими умовами. Барабани з кабелем поміщають в опалювальне приміщення, спеціальні тепляки, або прогрівають електричним струмом. При прогріві кабелю з барабанів видаляють обшивку.

Тривалість-прогріву кабелю залежить від температури повітря в приміщенні. Наприклад, при сталій температурі 20-30°C на прогрівання кабелю витрачається не менше 36 год. Для скорочення часу прогріву, що знаходиться в приміщенні кабелю, здійснюють циркуляцію нагрітого в калорифері повітря.

Прогрівання кабелю (на барабані) електричним струмом виробляють у встановлюваних поблизу від місця укладання кабелю брезентовому наметі або під спеціальним повстяно-брезентовим капотом. Барабан з кабелем встановлюють на кабельні домкрати або козли з таким розрахунком, щоб після закінчення прогріву, кабель можна було негайно розклати і укласти на місце.

В якості джерела струму застосовують спеціальні трифазні трансформатори потужністю 15-25 кВА, загальмовані асинхронні двигуни відповідної потужності, які використовуються в якості автотрансформатора і зварювальні трансформатори. Для прогріву кабелю трифазним струмом кінці жил кабелю з одного боку з'єднують разом. На місце сполук напоюють свинцевий ковпачок з таким розрахунком, щоб дно ковпачка не доходило до торців жил на 40-50 мм, так як при меншому відстані жили кабелю (до дна ковпачка) під час прокладки можуть його розірвати. На іншому кінці кабелю обробляють тимчасову кінцеву закладення і звільнені жили кабелю підключають до джерела струму. Прогрівання кабелю здійснюють за схемою. Після закінчення прогріву кабелю кінцеву закладення відрізають і для герметизації кабелю на кінець кабелю напоюють свинцевий або пластмасовий ковпачок.

При прогріві кабелю стежать за режимом прогріву за приладами, не допускаючи перевищення величини встановленого для даного кабелю струму.

Для контролю за температурою прогріву між двома верхніми витками кабелю щільно до броні або свинцевій оболонці прикріплюють термометр. Температура броні або свинцевої оболонки зовнішнього витка кабелю на барабані в кінці прогріву не повинна перевищувати 20°C при температурі зовнішнього повітря -10°C . Середня тривалість прогріву кабелю довжиною 250-350 м в залежності від температури повітря і перерізу жил кабелю становить 1-3,5 ч. Якщо в траншеї одночасно прокладають кілька кабелів, можна прогрівати одночасно два і більш барабанів, з'єднавши їх послідовно з трансформатором. Для з'єднання жил окремих кабелів на їх кінцях обробляють тимчасові кінцеві закладення.

Після закінчення прогріву кабелю і герметизації його кінців необхідно кабель укласти протягом не більше 1 год при температурі від 0 до -10°C і не більше 40 хв при температурі від -10 до -20°C . Якщо закінчити прокладання кабелю за цей час не представляється можливим, то роботи виконують з постійним прогріванням кабелю або з інтервалами, що не перевищують 40 хв.

Заправка кабелю та дроту в штепсельні колодки та в коробки для з'єднання.

Існує кілька різних способів з'єднання проводів: звичайна скрутка з шаром ізоляційної стрічки (або термоусадкою), скручування зі зварюванням кінців проводів, скрутка з ЗІЗ (наконечник з пружиною), з'єднання за допомогою затискачів Wago.

Штепсельні силові роз'єми представляють собою електричні контактні сполуки, які при необхідності легко можна під'єднати або роз'єднати між собою не вдаючись до спеціальних операцій (достатньо просто вставити штепселя один в одного або, навпаки, їх між собою роз'єднати).

Найпоширенішим прикладом електричних силових роз'ємів є звичайна штепсельна розетка.

У якісних штепсельних силових роз'ємах корпус повинен бути зроблений з пластмаси (високоміцної) не підтримує горіння, також володіє протиударною силою і відмінним ізолюючим здатністю.

Саме ж підключення електричних силових роз'ємів схоже з звичайним підключенням однофазних побутових розеток та штепсельних вилок, з цієї причини особливих труднощів це викликати не повинно. Живильна електрична напруга, за аналогією зі звичайною зв'язкою «вилка-розетка», подається на розетку (мама) силового штепсельного роз'єму, а воно знімається, і надходить на електричну навантаження, з виделки (тато) роз'єму. З'єднання відповідних проводів з контактами роз'ємів робиться за допомогою гвинтових затискачів на клемах.

Проходи кабелів через стіни та перекриття.

Проходи неброньованих кабелів, захищених і незахищених проводів через неспалімі стіни (перегородки) і міжповерхові перекриття повинні бути виконані у відрізках труб, або в коробах, або отворах, а через спалімі — у відрізках сталевих труб.

Конструкція і ступінь захисту лотків і коробів, а також спосіб прокладки проводів і кабелів на лотках і в коробах.

Спосіб установки коробів не повинен допускати скупчення в них вологи. Застосовуються короби для відкритих електропроводок повинні мати, як правило, знімаються або відкриваються кришки.

При прихованих прокладках слід застосовувати глухі короби.

Кабелі, які прокладаються по горизонтальній конструкції, стін, перекриттів, фермах і т. п. слід жорстко закріплювати в кінцевих точках, безпосередньо у кінцевих муфт, на поворотах траси, з обох сторін вигинів і у з'єднувальних і стопорних муфт.

Відстані між опорними конструкціями приймаються у відповідності з робочими кресленнями. При прокладанні силових і контрольних кабелів з алюмінієвою оболонкою на опорних конструкціях з відстанню 6000 мм повинен бути забезпечений залишковий прогин в середині прольоту: 250-300 мм при прокладанні на естакадах і галереях, не менше 100-150 мм в інших кабельних спорудах.

Конструкції, на які укладають неброньовані кабелі, повинні мати виконання, що виключає можливість механічного пошкодження оболонок кабелів. У місцях жорсткого кріплення неброньованих кабелів зі свинцевої або алюмінієвої оболонкою на конструкціях повинні бути прокладені прокладки з еластичного матеріалу (наприклад, листова гума, листової Полівінілхлорид); неброньовані кабелі з пластмасовою оболонкою або пластмасовим шлангом, а також броньовані кабелі допускається кріпити до конструкцій скобами (хомутами) без прокладок.

Кінці всіх кабелів, у яких в процесі прокладки порушена герметизація, повинні бути тимчасово загерметизовані до монтажу з'єднувальних і кінцевих муфт.

Проходи кабелів через стіни, перегородки і перекриття у виробничих приміщеннях та кабельних спорудах повинні бути здійснені через відрізки неметалевих труб. Зазори у відрізках труб, отворах і отвори після прокладки кабелів повинні бути закладені вогнетривким матеріалом, наприклад цементом з піском за об'ємом 1:10. глиною з піском — 1:3. глиною з цементом і піском — 1.5:1:11. перлітом спученим з будівельним гіпсом — 1:2 і т. п. по всій товщині стіни або перегородки. Зазори в проходах через стіни допускається не закладати, якщо ці стіни не є протипожежними перешкодами.

Вводи кабелів у будинки, кабельні споруди та інші приміщення повинні бути виконані в азбестоцементних безнапірних трубах в відфактурованих отворах залізобетонних конструкцій Кінці труб повинні

виступати із стіни будівлі в траншею, а при наявності вимощення через лінію останньої не менш ніж на 0,6 м і мати ухил у бік траншеї.

Маркірування електропроводки.

Дроти і кабелі маркують літерами.

Перша літера. Матеріал жили: А – алюміній, мідь – літери немає.

Друга літера. В позначенні дроти: П – провід (ПП – плоский дріт), К – контрольний, М-монтажний, МГ – монтажний з гнучкою жилою, П(У) або Ш – установчий, в позначенні кабелю матеріал оболонки.

Третя буква. В позначенні проводу та кабелю – матеріал ізоляції жил: або ВР – полівінілхлоридна (ПВХ), П – поліетиленова, Р – гумова, Н або НР – найритовая (негорюча гума), Ф – фальцьована (металева) оболонка, До – капронова, Л – лакована, МЕ – емальована, Про – оплетка з поліамідного шовку, Ш – ізоляція поліамідного шовку, З – зі скловолокна, Е – екранована, Г – з гнучкою жилою, Т – з несучим тросом.

Гумова ізоляція проводу може бути захищена оболонками:

В — полівінілхлоридна, Н — найритовая. Літери В і Н ставляться після позначення матеріалу ізоляції проводу.

Четверта буква. Особливості конструкції. А – асфальтований, Б – броньованими стрічками, Г – гнучкий (провід), без захисного покриття (силовий кабель).

Приклади позначення:

ППВ 2х1,5-380 – дріт мідний, з ПВХ ізоляцією, плоский, двожильний, площа перерізу жили 1,5 мм, на напругу 380 Ст.

ВВГ 4х2,5-380 – кабель з мідними жилами в ПВХ ізоляції, в ПВХ оболонці, без захисного покриття, 4-жильний, з площею перерізу жили 2,5 мм, на напругу 380 Ст. углими дротами, в обплетенні, Т – для прокладки в трубах.

Крім буквених позначень, марки проводів, кабелів та шнурів містять цифрові позначення: перша цифра – число жил, друга цифра

– площа перерізу, третя – номінальна напруга мережі. Відсутність першої цифри означає, що кабель або провід одножильні. Площі перерізу жив стандартизовані. Значення площ перерізів проводів, вибираються в залежності від сили струму, матеріалу жив, умов прокладки (охолодження).

В позначенні шнурів обов'язково повинна бути буква Ш.

Знаходження відповідних жил проводів і кабелів. Їх з'єднання між собою і для приєднання до затискачів апаратів і приладів називають продзвонкою. Ця операція проводиться після закінчення прокладання проводів і кабелів, встановлення вимикачів, світильників і розеток.

Монтаж регулюючих пристроїв.

Регулюючі органи (РО) і виконавчі механізми (ВМ) необхідно монтувати в суворій відповідності з проектом і робочими кресленнями, враховуючи важливу роль цих елементів в САР і їх вплив на роботу системи та її якісні показники. Основними типами РВ є клапани, засувки або заслінки. Як сервоприводів до них можна застосовувати залежно від виду енергоносія електричні, пневматичні і гідравлічні виконавчі механізми.

В залежності від типу РО та його ВМ вибирають їх розташування щодо регульованого об'єкта. Значне видалення РО від об'єкта викликає підвищений запізнювання в передачі регулюючого впливу.

При монтажі РО і ВМ слід забезпечити: зручність експлуатації і ремонту, можливість їх відключення без необхідності відключення технологічного трубопроводу або об'єкта, рівномірність і сталий режим потоку регульованої середовища в місці установки РВ, вільне переміщення рухомих частин, дотримання правил техніки безпеки. Перед монтажем необхідно перевірити відповідність встановлюються РО і ВМ їх проектним даним і характеристиками.

Електричні регулюючі органи монтують у відповідності з правилами монтажу електроапаратури.

Монтаж гідравлічних і пневматичних ІМ ведеться з урахуванням монтажно-експлуатаційних інструкцій. Основна увага приділяється герметичності трубних ліній, підвідних до ВМ сигнали тиску.

Монтаж електричних ВМ також ведеться у відповідності з інструкціями, причому особлива увага приділяється дотриманню правил пристрою електроустановок. Електричні проводки до НИМ виробляються так само, як і до приладів.

Після установки РО і ВМ перевіряють відповідність проекту або інструкції характеристик.

Часто виконавчі механізми САР забезпечуються, крім автоматичного, також дистанційним управлінням і показчиками положення, що встановлюються на щиті. В системі дистанційного керування повинна бути також перевірена відповідність фактичних положень ВМ і РО положеннями ключа дистанційного управління, а також показаннями показчика положення на щиті.

Техніка безпеки при монтажу приладів і засобів автоматизації.

Кріплення приладів на технологічному обладнанні і трубопроводах не повинні порушувати цілісність і роботоспроможність обладнання і трубопроводів, на яких вони встановлюються.

Забороняється виконувати: монтаж приладів масою більше 5 кг одним робітником; монтажні роботи на щитах до їх проектного закріплення; монтаж приладів з драбин.

В місцях установки приладів і засобів автоматизації, які важкодоступні для монтажу і експлуатаційного обслуговування, повинно бути до початку монтажу закінчено спорудження драбин, колодязів і площадок у відповідності з робочими кресленнями будівельної частини проекту.

Кріплення приладів і засобів автоматизації на несучих конструкціях (стінах, щитах і т.п.) виконуються стандартними кріпильними виробами без зірваних різьб, шпичів і граней з необхідною затяжкою різьбових з'єднань. При вібраціях в місцях встановлення приладів різьбові з'єднання повинна мати пристосування, які виключають самовільне їх відгвинчування (пружинні шайби, контргайки, шплінти і т.д.).

Матеріали прокладок і набивок, які необхідні при установці приладів і засобів автоматизації, повинні бути передбачені проектом у відповідності до умов роботи приладів і засобів автоматизації.

Заміна матеріалу, закладних конструкцій, карманів і т.д. і їх розмірів без дозволу проектної організації забороняється.

При перенесенні всі частини приладів, які відкриваються, повинні бути надійно закриті, а для рідинних приладів, рідина яка знаходиться в негерметичних ємкостях, повинна бути злита в спеціальну тару.

При індивідуальному опробуванні приладів і засобів автоматизації необхідно дотримуватися наступних заходів безпеки:

а) пробне включення електричних приладів та регуляторів (постановка схеми під напругу) необхідно виконувати тільки після ретельної перевірки правильності змонтованої схеми згідно проекту, надійності контактів на всіх приладах, апаратах і інших елементах схеми, а також після установки попереджувальних плакатів;

б) необхідно пересвідчитись у відсутності людей поблизу струмоведучих частин;

в) пробне заповнення пневматичних та гідравлічних приладів і регуляторів.

Індивідуальне опробування приладів проводиться тільки після відключення імпульсних ліній від технологічних апаратів та трубопроводів.

Вимоги до електробезпеки

Електричне обладнання та прилади, що застосовуються у вибухо-пожежо-небезпечних приміщеннях і зовнішніх установках за своїм виконанням повинні відповідати категорії та групі вибухо-пожежо-небезпечних середовищ, визначених у ПУЕ.

Обслуговування електроустановок здійснюється:

- а) черговим персоналом;
- б) оперативно-ремонтним персоналом (в установках без чергового персоналу).

Особи оперативного персоналу, які обслуговують електроустановки одноособові, і старші у зміні або бригаді, які закріплені за цією електроустановкою, повинні мати кваліфікаційну групу не нижче IV-го в установках з напругою вище 1000 В, і III-го в установках з напругою до 1000 В.

Захисні заземлення електроустановок.

Для забезпечення умов безпечності людей від ураження електричним струмом, захисту електрообладнання і електроустановок від перенапруги у відповідності до вимог ПУЕ повинні бути споруджені заземлюючі пристрої, до яких повинні бути надійно підключені металеві частини електроустановок та корпуси електрообладнання, які в наслідок порушення ізоляції можуть бути під напругою.

8.5 Висновки за розділом

В ході виконання розділу було розроблено варіант комплекту технічної документації САК

Розроблений комплект включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування технологічного процесу. В результаті виконання отримані навички з розробки технічної документації на системи автоматизації з використанням МПК, ПК та сучасних пристроїв автоматизації.

ВИСНОВОК:

В даній дипломній роботі, було розглянуто технологічний процес витоку зерна з прийомного бункера. Як об'єкт, був обраний прийомний бункер БП1. Розроблено його параметризовану та параметричну схему. Після цього було конкретизовано його основні регламенти, розроблено його моделі як об'єкта регулювання. Було розроблено і параметрично оптимізовано його алгоритми регулювання. Розроблено алгоритм керування даним технологічним процесом. Вибрано та використано набір технічних засобів, за рахунок яких можна провести модернізацію обладнання.

Була розроблена технічна структура мікропроцесорного ядра системи керування процесом витоку зерна з прийомного бункера, здійснений вибір промислового контролера та його блоків вводу/виводу, в середовищі CoDeSys розроблені програми, які реалізують алгоритми логічного керування та регулювання.

При виконанні роботи в середовищі SCADA - системи WinCCFlexible розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САК процесом витоку зерна з підвісового бункера.

В ході виконання роботи було розроблено варіант комплекту технічної документації САК. Розроблений комплект включає основні документи технічного забезпечення системи автоматизації керування технологічного процесу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з курсу «Мікропроцесорні і програмні засоби автоматизації» для бакалаврів 6.050202 денної та заочної форми навчання / Укладачі: В.М. Левінський, А.І. Павлов, М.Т. Степанов. – Одеса: ОНАХТ, 2011р. – 13.с
2. Хобін В.А. Конспект курсу лекцій по дисципліні «Ідентифікація і моделювання технологічних об'єктів» для студентів спеціальності 7.092501 денної та заочної форм навчання. - Одеса: ОНАХТ, 2016р
3. Хобін В.А. Конспект курсу лекцій по дисципліні «Теорія автоматичного керування» для студентів спеціальності 7.092501 денної і заочної форм навчання. - Одеса: ОНАХТ, 2007. – 87 с.
4. Муратов В.Г. «Метрологія та основи вимірювання. Конспект лекцій». Частина 1,2,3. - Одеса: ОНАХТ, 2012р.
5. Методичні вказівки до виконання комплексного курсового проекту з дисципліни «Метрологія та технологічні вимірювання галузі»/ Скл. Муратов В.Г. - Одеса: ОНАХТ, 2012р.
6. Методичні вказівки до виконання КІ по курсу "Проектування систем автоматизації" для студентів спеціальності 6.050202 денної та заочної форм навчання / Скл. Ю.М. Скаковський, В.І. Старичков. -Одеса:ОГАПТ, 2016. 35
7. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади: навч. посіб. / В.Г. Муратов. — Вид. 3-є, допов.— Одеса :ОНТУ, 2023.— 390 с.

Додаток А

Таблиця А – Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації

Поз.	Найменування	Кіл.	Примітка
WE1-WE2 (1а)	Аналоговий тензодатчик колонного типу Keli ZSFC-A		
WY1-WY2 (1б)	Блок перетворення сигналів тензодатчиків БПТ-3		
LS1-LS2 (2а)	Датчик (сигналізатор) кордонного рівня сипучих матеріалів ротаційного типу ДР-15		
WC (1в)	Частотний перетворювач Siemens Sinamics G120 6SL3224-0BE22-2AA0		
HS	Пристрій плавного пуску NJR2-37D		

Додаток Б

Таблиця Б – Попередній перелік обладнання до принципової електричної схеми з частотним перетворювачем

Поз.	Найменування	Кіл.	Примітка
1в	Частотний перетворювач SiemensSinamics G120 6SL3224-0BE22-2AA0	1	
Q2	Автоматичний вимикач IC60N 3P 50A C (A9F79350)	2	
Q5	Контактор ІЕК КМІ 35012 50А 220В/АС3	1	
,K5K6K7	Реле проміжне 220В НН62Р	3	
K4	Реле проміжне 24в		
F5	Запобіжник ПТ 1А	1	
F4	Запобіжник швидкодіючий трифазний ПТ 1А		
S7	Ключ вибору режиму	1	
S5	Кнопка СТОП ЧЕРВОНА ХВ2-ЕН142 АСКО-УКРЕМ	1	
S6	Кнопка СТОП ЧЕРВОНА АСКО-УКРЕМ		

Додаток В

Таблиця В – Попередній перелік обладнання до принципової електричної схеми живлення

Поз.	Найменування	Кіл.	Примітка
G1,G2	Джерело живлення MeanWell DR-4524 input:100-240Vac 1.5A 50/60 Hz output:24V 2A	2	
Recept1	Розетка на DIN-рейку із заземленням Schneider Electric DIN 2P+E 16A 250 В без шторок білий A9A15310	1	
Q1	Автоматичний вимикач VIKO 2P 6A	1	
T1	Трансформатор розділовий 220-220В-500ВА	1	
F2,F3	Запобіжник ПТ 1А	2	