

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



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**на тему: «Автоматизація процесу керування перевантаженням зерна
потокowo-транспортною лінією елеватора»**

Здобувач: О.В. Бондаренко
4 курс, група А-40

Керівник: доцент І.М. Світий

Консультанти:

доцент І.М. Світий
доцент В.М. Левінський

Кваліфікаційна робота допускається до захисту.

Рішення кафедри від _____.2026 р., протокол № ____.

Завідувач кафедри АТЕіРС _____ О.М. Жигайло
(підпис)

Одеса – 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри АТПіРС
І.М. Світий

«5» січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувач Бондаренко Олександр Віталійович

1. Тема роботи «Автоматизація процесу керування перевантаженням зерна потоково-транспортною лінією елеватора»

2. Керівник кваліфікаційної роботи Хобін Віктор Андрійович, д.т.н., професор

Пункти 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ № 743-03 від 31.12.2025 р.

3. Строк подання здобувачем випускної кваліфікаційної роботи на кафедру «12» червня 2026 р.

4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали індивідуальних завдань виробничої і переддипломної практик, курсових і самостійних робіт, комплексне кваліфікаційне завдання (для заочників).

5. Зміст кваліфікаційної роботи (розділи, які потрібно розробити):

Розділ 1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК.

Розділ 2. Розробка концептуальної моделі об'єкта управління, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання.

Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів автоматичного регулювання, порівняльний аналіз САР.

Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів автоматичного логічного керування технологічною ділянкою.

Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.

Розділ 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.

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

Розділ 8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.

Розділ 9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання « 9 » січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач Бондаренко О.В.

Керівник роботи Хобін В.А.

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 Бондаренко О.В.
Прізвище, ініціали
Підпис

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра Бондаренка Олександра Віталійовича «Автоматизація процесу керування перевантаженням зерна потоково-транспортною лінією елеватора» викладена на 207 сторінках, кількість таблиць - 16, рисунків –155, додатків – 5, джерел з переліку посилань - 17.

Ключові слова: автоматизація, об'єкт керування, система автоматичного керування, імітаційне моделювання, оптимальний параметричний синтез, програмований логічний контролер, АРМ оператора, принципова електрична схема.

Об'єкт розробки – система автоматичного керування процесом зберігання плодоовочевої продукції.

Мета роботи – підвищення техніко-економічних та екологічних показників функціонування процесу зберігання плодоовочевої продукції, які досягаються за рахунок підвищення динамічної точності контурів САР, зниження числа аварійних ситуацій, покращення взаємодії з оператором-технологом.

Методи дослідження – методи теорії автоматичного керування, ідентифікації об'єкту керування, імітаційного моделювання.

Отримані результати – розроблені алгоритми керування, які забезпечують підвищення динамічної точності стабілізації регульованих змінних як в перехідних, так і в сталих режимах роботи САР; алгоритми пуску і зупинки обладнання; програми для ПЛК, що реалізують ці алгоритми; розроблені інтерфейси АРМ оператор-технолога і наладчика САР; фрагменти документації технічного забезпечення системи керування.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів та одиниць.....	11
Вступ.....	12
Розділ 1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК.....	14
1.1 Автоматизована ділянка технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів.....	14
1.1.1 Історична довідка.....	14
1.1.2 Узагальнена схема технологічного процесу.....	15
1.1.3 Розгорнута схема ТП ділянки.....	15
1.1.4 Опис конструкції ТА.....	16
1.1.5 Формулювання (у загальному виді) умов, при яких можливо і економічно доцільно реалізувати розглянутий ТП.....	22
1.1.6 Параметризація схеми ТП.....	23
1.1.7 Первинний аналіз параметрів ТП та ТА.....	24
1.1.8 Поглиблений аналіз регламентованих параметрів.....	24
1.1.9 Поглиблений аналіз параметрів, які впливають на регламентовані параметри ТП.....	26
1.1.10 Розробка параметричної схеми ТП.....	27
1.2 Виявлення існуючого рівня автоматизації ділянки ТП	28
1.2.1 Оцінка існуючого рівня реалізації функції регулювання для технологічних та експлуатаційних параметрів.....	28
1.2.2 Функції логічного (логіко-програмного) управління, оцінка існуючого рівня їх реалізації.....	30
1.3 Аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко-економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК.....	31

1.3.1 Вплив вхідних сировинних, енергетичних, механічних параметрів ТП на вихідні параметри, які складають техніко-економічний та екологічний регламенти.....	32
1.3.2 Потенційні джерела економічної ефективності від впровадження поліпшених функцій регулювання та логічного керування.....	32
1.3.3 Кінцева економічна ціль модернізації системи.....	32
1.3.4 Інші цілі модернізації системи автоматичного керування.....	33
1.4 Висновки за розділом.....	34
Розділ 2. Розробка концептуальної моделі об'єкта управління, структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей його компонентів, їх реалізація у середовищі імітаційного моделювання.....	35
2.1 Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання.....	35
2.1.1 Аналіз параметричної схеми технологічного процесу та перехід від параметрів до змінних об'єктів управління.....	35
2.1.2 Концептуальна модель (структурна схема) об'єкта керування.....	36
2.2 Структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей каналів перетворення об'єкта керування.....	37
2.3 Ідентифікація математичних моделей неконтрольованих збурень об'єкта керування.....	45
2.4 Реалізація математичних моделей у середовищі комп'ютерного імітаційного моделювання, проведення з ними комп'ютерних експериментів для обґрунтування їх адекватності об'єкту-оригіналу.....	57
2.5 Висновки за розділом.....	59
Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів автоматичного регулювання, порівняльний аналіз САР.....	60
3.1 Конкретизація задач регулювання процесом керування перевантаженням зерна потоково-транспортною лінією елеватора.....	60
3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури.....	63

3.3 Структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності і її аналіз.....	76
3.3.1 Аналіз особливостей об'єкта регулювання.....	76
3.3.2 Розробка структурної схеми САР підвищеної динамічної точності.....	76
3.3.3 Виведення передаточної функції коригуючого зв'язку для САР з прогнозуванням вільного руху.....	77
3.3.4 Розробка структурної схеми цифрового імітаційного моделювання і параметричний оптимальний синтез САР підвищеної динамічної точності.....	78
3.4 Висновок за розділом.....	85
Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів автоматичного логічного керування технологічною ділянкою.....	86
4.1 Аналіз існуючого рівня реалізації функцій логічного (логіко-програмного) керування технологічною ділянкою та модернізація комплексу технічних засобів для автоматизації цих функцій.....	86
4.2 Формалізація регламентів функціонування технологічної ділянки при технологічному пуску, технологічній зупинці, блокування передаварійних ситуацій та аварійній зупинці технологічного процесу у вигляді блок-схем та їх опис.....	87
4.3 Розробка алгоритмів автоматичного керування: технологічним пуском та зупинкою, блокування передаварійних ситуацій та аварійної зупинки технологічної ділянки у вигляді блок-схем та їх опис.....	90
4.4 Розробка функціональної логічної схеми процесу керування технологічною ділянкою, з використанням типових символічних позначень логічних елементів, та її детальний опис.....	94
4.5 Імітаційне моделювання системи логічного керування.....	97
4.6 Висновки за розділом.....	98

Розділ 5. Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі.....	99
5.1 Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації й обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів і місць їх розміщення.....	99
5.1.1 Середовища, параметри яких підлягають контролю, вимірюванню, регулюванню, конкретизація їх характеристики.....	99
5.1.2 Характеристики виробничих приміщень, де розташовуються технічні засоби автоматизації.....	99
5.2 Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання	100
5.2.1 Перелік параметрів, які підлягають вимірюванню, їх фізично досяжні діапазони зміни, необхідні діапазони вимірювальних засобів, необхідної точності вимірювання.....	100
5.2.2 Розподіл представлення інформації користувачу в рамках АРМ.....	101
5.2.3 Вибір типів датчиків та перетворювачів з урахуванням властивостей середовищ і приміщень.....	102
5.2.4 Підвищення точності для окремих вимірювальних каналів, альтернативні шляхи рішення.....	120
5.3 Вибір технічних засобів реалізації керуючих дій на технологічний процес і керування обладнанням.....	121
5.4 Вибір альтернативних варіантів технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі.....	124
5.5 Висновки за розділом.....	134
Розділ 6. Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.....	135
6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж.....	135
6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування.....	137
6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання.....	145

6.4 Висновки за розділом.....	149
Розділ 7. Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.....	150
7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панеллю оператора, її конфігурування.....	150
7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога.....	152
7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.....	152
7.4 Тестування системи керування.....	161
7.5 Висновки за розділом.....	164
Розділ 8. Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.....	165
8.1 Опис основних технічних рішень із побудови САК та склад документації її технічного забезпечення.....	165
8.2 Розробка схеми автоматизації та специфікацій на технічні засоби системи.....	166
8.3 Розробка принципів схем.....	168
8.4 Розробка схем живлення.....	172
8.5 Розробка схем компонування технічних засобів у щиті або шафі. Складання креслення загального виду щита оператора АРМ.....	172
8.6 Охорона праці.....	173
8.7 Висновки за розділом.....	177
Розділ 9. Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК.....	178
9.1 Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації.....	178
9.2 Розрахунок поточних витрат при роботі базового та нового зразка системи управління та контролю.....	183
9.3 Розрахунок показників виробничої діяльності підприємства.....	189
9.4 Висновки за розділом.....	191

Загальні висновки.....192

Список літератури.....193

Додаток А.....195

Додаток Б.....196

Додаток В.....197

Додаток Г.....202

Додаток Д.....206

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА ОДИНИЦЬ

ОК – об’єкт керування

САР – система автоматичного регулювання

САК – система автоматичного керування

ТП – технологічний процес

ПЛК – програмований логічний контролер

ПТЛ – потоково-транспортна лінія

АРМ – автоматизоване робоче місце

ВСТУП

Одним із стратегічних напрямів розвитку виробничої сфери економік усіх країн є підвищення її ефективності. На сучасному етапі світового науково-технічного прогресу розвиток мікроелектроніки, мікропроцесорної техніки та інформаційних технологій створив замість аналогової, цифрову основу для розробки та реалізації автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП). Ця цифрова основа надає АСУ ТП практично необмежені обчислювальні ресурси для розвитку алгоритмів усіх рівнів ієрархії управління, що сприяє розширенню та поглибленню розв'язуваних завдань і фактично зробило автоматизацію найдешевшим і швидкоокупним засобом підвищення ефективності існуючих технологічних процесів без будь-яких змін їхньої техніки та технологій.

Транспортування зерна є важливим та енергоємним технологічним процесом сушильно-складських комплексів (елеваторів). Технологічний процес транспортування зерна реалізується за допомогою потоково-транспортних систем що складаються з окремих транспортних ліній.

Актуальність задачі підвищення ефективності функціонування процесу ділянки загального технологічного процесу (ТП) – перевантаженням зерна потоково-транспортною лінією (ПТЛ) елеватора— обґрунтовується високою енергоємністю та інерційністю процесу, а також ризиками виникнення аварійних режимів. Потоково-транспортна лінія, до складу якої входять силос, шиберна засувка, стрічкові конвеєри, норія та бункерні ваги, працює в режимах, близьких до номінальної продуктивності. Недозавантаження призводить до зниження продуктивності та неефективного використання електроенергії, а перевантаження норії спричиняє утворення «підпору» зерна в башмаку, аварійні зупинки, підвищений знос стрічок і ковшів, накопичення зернового пилу та створення пожежо- та вибухонебезпечних ситуацій. Удосконалення системи автоматичного керування (САК) дозволяє забезпечити стабільну роботу ПТЛ у режимах, максимально наближених до

номінальних, але безпечних для обладнання, що є ключовим для підвищення загальної ефективності сушильно-складського комплексу.

Складовими ефективності функціонування обраної ділянки ТП є: енергетична (зниження питомих витрат електроенергії), продуктивна (збільшення обсягів відвантаження без додаткових капітальних витрат), експлуатаційна (подовження ресурсу механічного обладнання та зменшення кількості аварійних зупинок), безпекова (запобігання пожежо- та вибухонебезпечним ситуаціям).

Принципова можливість їх кількісної оцінки на етапі розробки САК підтверджується наявністю вимірюваних параметрів (струмів двигунів, продуктивності норії за струмом, положення засувки) та лінеаризованими математичними моделями каналів керування, реалізованими в середовищі імітаційного моделювання MATLAB/Simulink.

Доцільними напрямками розвитку САК для даного ТП є: оптимізація параметрів налаштування регуляторів (ПІ- та ПІД-алгоритмів) на основі структурної та параметричної ідентифікації моделей об'єкта та удосконалення алгоритмів регулювання продуктивності норії за опосередкованим вимірюванням з урахуванням великих інерційних властивостей, перехід до САК з прогнозуванням; врахування в системі керування додаткових умов блокування розвитку аварійної ситуації (датчики підпору, обриву стрічки...).

Принципи вибору технічних та програмних засобів автоматизації передбачають використання сучасних мікропроцесорних контролерів, засобів захисту електродвигунів, промислових датчиків струму, а також середовища MATLAB/Simulink для імітаційного моделювання та налагодження алгоритмів.

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

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

1.1.1 Історична довідка

Зернова галузь України є перспективним сегментом розвитку аграрного ринку, та має потенціал як на вітчизняному, так і на світовому ринках. Вона визнається як стратегічною, галузь забезпечує продовольчу безпеку держави, сприяє підвищенню добробуту населення та зміцнює конкурентоспроможність країни. Основними зерновими культурами, що вирощуються в Україні, є пшениця, кукурудза та ячмінь.

Важливим завданням галузі є забезпечення належних умов зберігання та транспортування зерна. Основні обсяги перевезень зерна здійснюються залізничним транспортом, а експорт переважно проходить через морські порти.

Переміщення зерна за допомогою потоково-транспортних систем є одним із найбільш енергоємних процесів на елеваторах. Обсяги переміщення зерна в межах потоково-транспортних систем елеваторів на порядок перевершують обсяги його виробництва. Це зумовлює актуальність задачі зниження тривалості транспортування та питомих енерговитрат на виконання цих процесів.

1.1.2 Узагальнена схема технологічного процесу

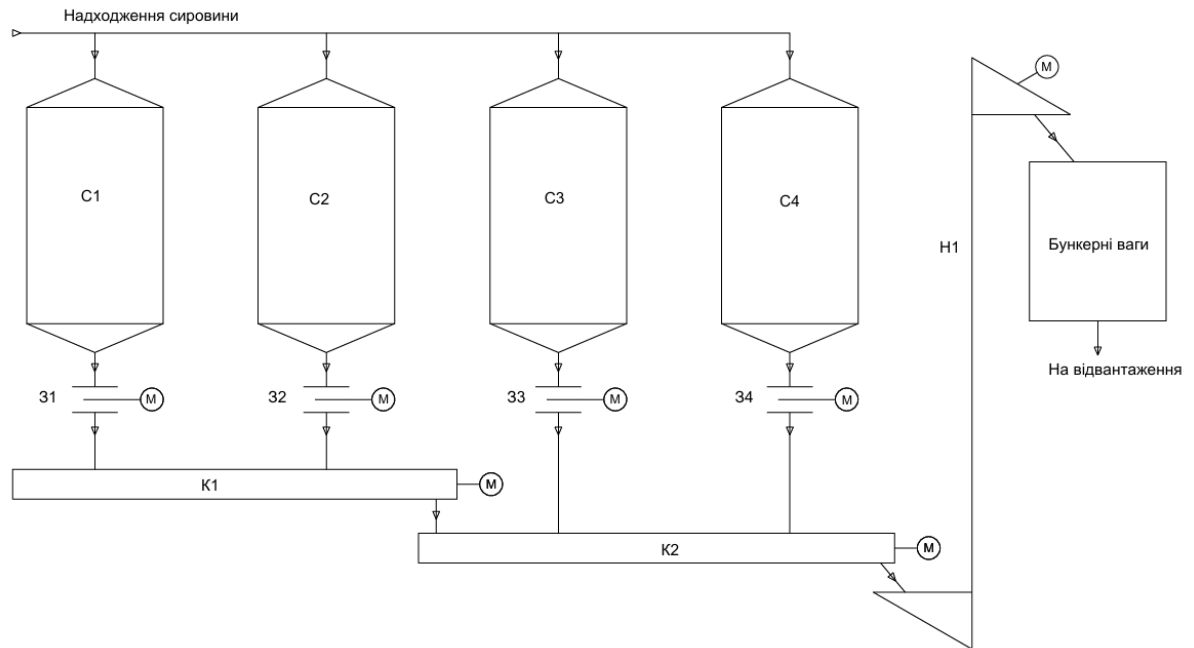


Рис. 1.1 – Узагальнена схема технологічного процесу(ТП)

На рисунку представлена спрощена потоково-транспортна система ПТС відвантаження зерна на залізничний та автомобільний транспорт із сушильно-складського комплексу ємністю 20 тисяч тон. Насіння з силосів елеватора за допомогою стрічкових транспортерів і норії потрапляє для зважування на бункерні ваги, потім подається на відвантаження. У даній схемі виділимо окрему ділянку – потоково-транспортну лінію ПТЛ для силоса С1.

1.1.3 Розгорнута схему ТП ділянки

Суть технологічного процесу полягає у переміщенні зерна, що зберігається у силосі, у транспортний засіб шляхом його дозованого випуску з силосу, горизонтального та вертикального транспортування потоково-транспортною лінією з контролем і підтриманням заданої продуктивності.

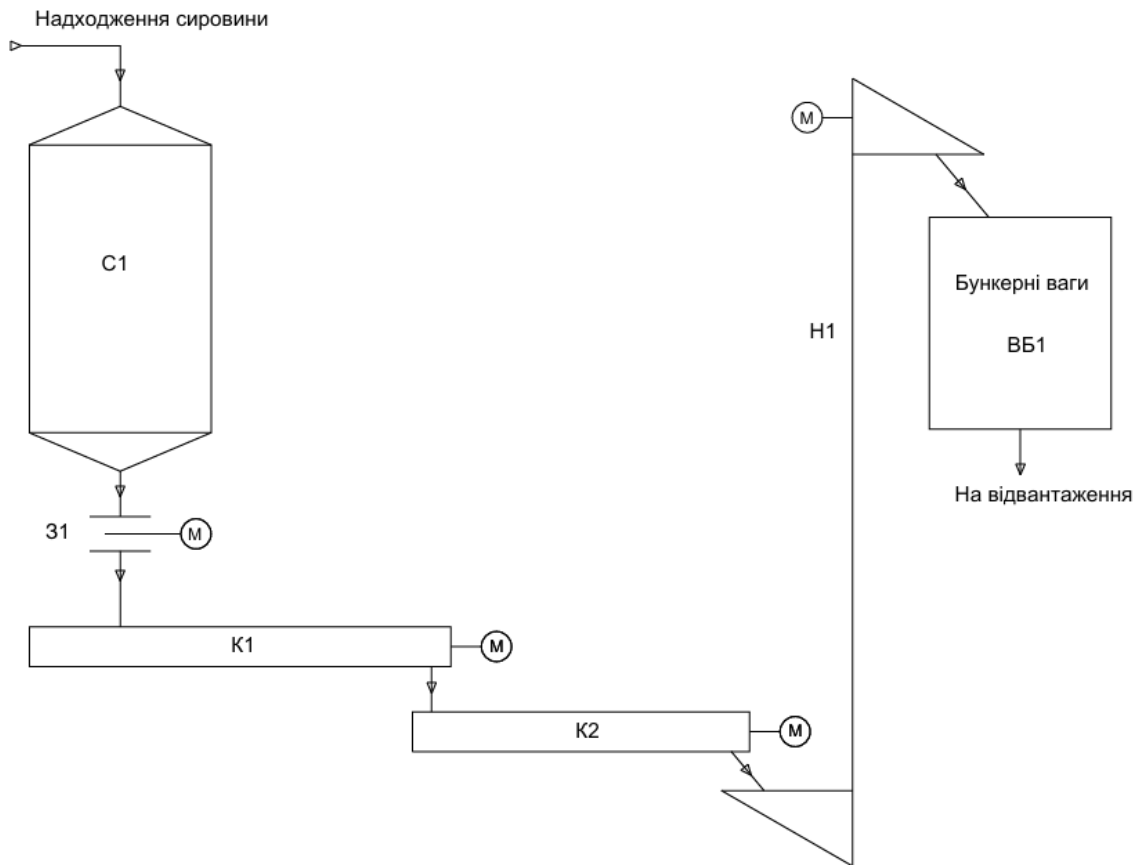


Рис. 1.2 – Технологічна схема процесу відвантаження зерна

Насіння з силосу елеватора C1 через засувку 31 за допомогою стрічкових транспортерів(конвеєрів) K1 та K2 і норії H1 потрапляє для зважування на бункерні ваги Б1, після чого подається на відвантаження на залізничний або автомобільний транспорт.

1.1.4 Опис конструкції ТА

- Силос C1 для зберігання зерна, ємність 5 тис. тон;



Рис. 1.3 – Приклад силосу ємністю 5 000 тон фірми «GOLDRAIN»

- Підсилосна засувка 31 рейкового типу з приводним електродвигуном (ПЕД):
 - розмір випускного отвору 300х300 мм;
 - номінальний час відкриття/закриття(при частоті живлення 50Гц) – 30с;

Шиберна засувка складається з чавунного або сталевого корпусу, всередині якого в спеціальних напрямних за допомогою зубчасто-рейкового механізму пересувається засувка. Один із кінців валика зубчастої шестерні є приводним. У разі ручного приводу на вал одягають блок із ланцюгом, а при механічному приводі вал із муфтою приєднують до редуктора.



Рис. 1.4 – Шиберна засувка виробництва ТОВ "ПРОМСНАБ" (Україна)

- стрічкові конвеєри К1 і К2:
 - номінальна продуктивність (по насипній пшениці масою $0,75 \text{ т/м}^3$) – 100т/год.;
 - швидкість стрічок 2,14 м/с
 - загальні довжини К1 – 79м, К2 – 41м
 - робочі довжини/час проходження сипучого матеріалу (СМ) К1 – 79м/32,8 с , 63м/26,1 с , 37 м/15,4 с; К2 – 41 м/19,2 с; 13 м/6,1 с;
 - потужність ПЕД К1 – 11кВт, К2 – 5.5кВт

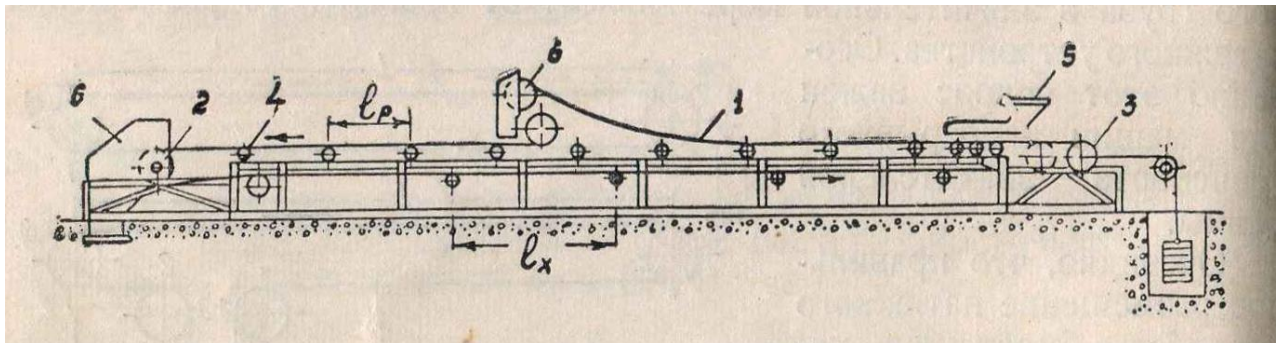


Рис. 1.5 – Конструкція стрічкового конвеєра

- 1 – стрічка
- 2 – приводний пристрій
- 3 – натяжний пристрій
- 4 - роликоопори
- 5 – живильний пристрій
- 6 – розвантажувальний пристрій

Стрічковий транспортер складається із замкнутої гнучкої стрічки, натягнутої між двома кінцевими барабанами, з яких є приводним, а інший, здебільшого натяжним. Стрічки по всій довжині підтримуються роликowymi опорами. Одна, а іноді й обидві гілки стрічки є робочими. Для подачі матеріалів на транспортер служить живильний, а для розвантаження - розвантажувальний пристрій. Робочі органи транспортера монтують на

станині, яка залежно від призначення та місця встановлення машини може мати різну форму.



Рис. 1.6 – Приклад стрічкового конвеєра KMZ Industries (Україна)

- норія Н1
 - номінальна продуктивність (по насипній пшениці масою 0,75 т/м³) – 100т/год.;
 - швидкість стрічки – 2,86 м/с;
 - висота – 25м;
 - час проходження СМ – 8.7 с
 - потужність ПЕД – 18.5 кВт;

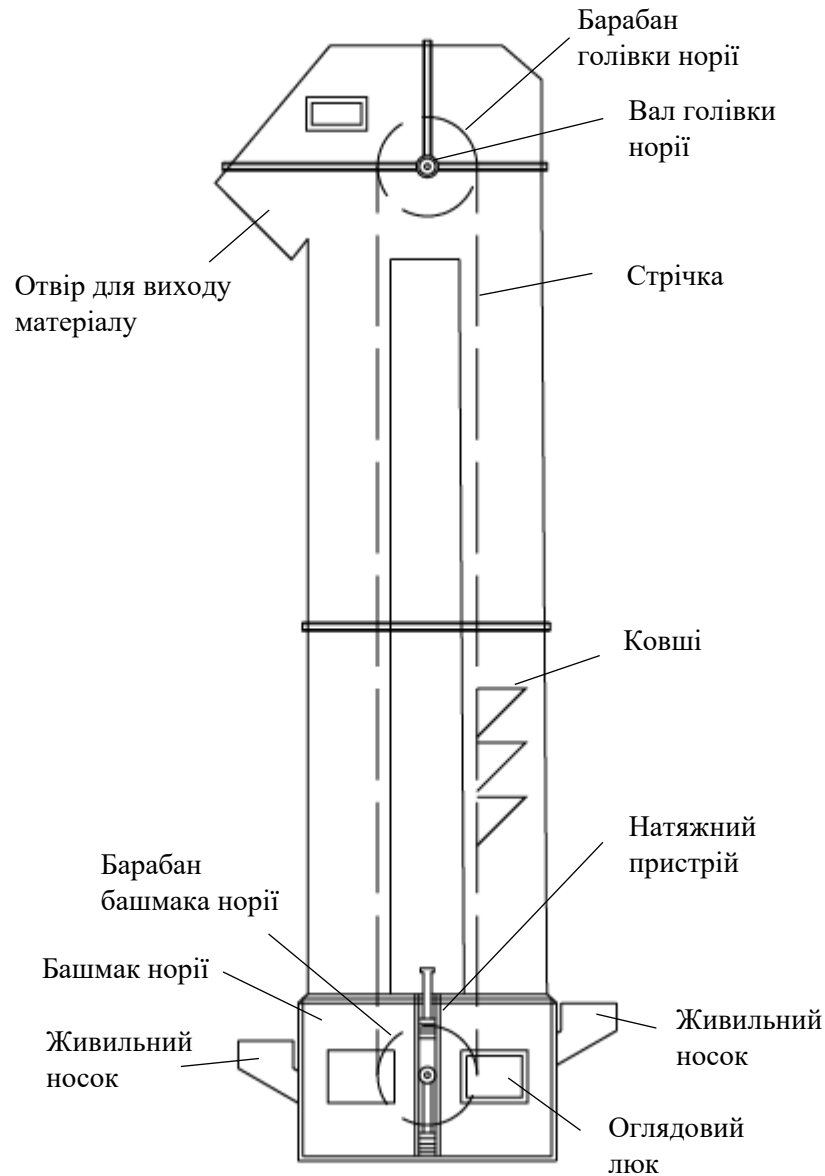


Рис. 1.7 – Конструкція норії

Норія складається з нескінченного тягового органу з ковшами, що огинає верхній та нижній барабани. Нижня частина норії, башмак, складається з насаджених на вісь барабана або зірочок кожуха і живильних носків. Верхня частина норії - голівка складається з приводного валу, що спирається на два підшипника, і насадженого на нього барабана (зірочок), кожуху та приводного механізму. Між черевиком і голівкою норії тяговий орган з ковшами прямокутного перетину.

Під час руху тягового органу закріплені на ньому ковші зачерпують матеріал з черевика норії та транспортують його до голівки норії, де під дією сил тяжіння та інерції матеріал висипається з ковша і потрапляє в розвантажувальний отвір, звідки подається за призначенням.

Сипучий вантаж на норію подається через живильні носки.



Рис. 1.8 – Приклад норії виробництва ТОВ "ОЛИС" (Україна)

- бункерні ваги



Рис. 1.9 – Приклад бункерних ваг фірми «Сведа, ЛТД», ВБА-640-Е-180

1.1.5 Формулювання (у загальному виді) умов, при яких можливо і економічно доцільно реалізувати розглянутий ТП

Мета ведення процесу – транспортування заданого продукту у заданій кількості за одиницю часу при мінімальних енергетичних витратах.

Технологічний процес доцільно й технічно можливо реалізовувати за виконанням наступних вимог:

- Силос містить не менше 500 т зерна
- Кількість відвантажуваного зерна за одиницю часу не повинна бути меншою за 100 т/год
- Струми двигунів конвеєрів і норії не повинні перевищувати номінальні значення
- Ступінь завантаження(продуктивність) норії не повинна перевищу номінальну для запобігання підпору
- Під ПТЛ підставлений порожній залізничний вагон (або автомобіль-зерновоз) з відкритими люками
- Підсилосна засувка З1, конвеєри К1, К2 та норія Н1 справні.

- Стрічки, ковші та підшипники не мають критичного зносу.
- Датчики підпору зерна в башмаку норії, датчики обриву стрічки норії справні та відкалібровані.
- Бункерні ваги та система обліку продуктивності справні.
- Відсутні люди в зоні роботи конвеєрів і норії.
- Система аспірації увімкнена та справна

1.1.6 Параметризація схеми ТП

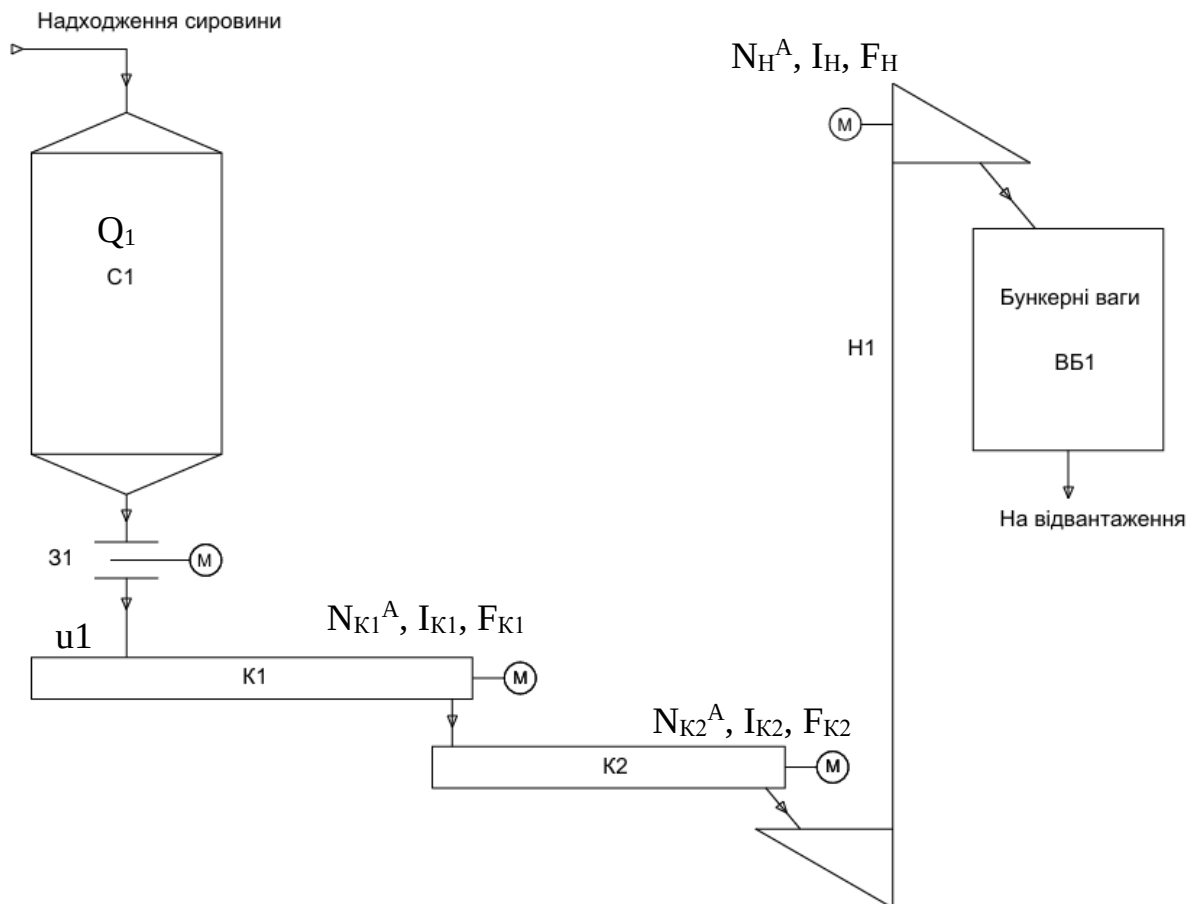


Рис. 1.10 – Параметризована технологічна схема процесу

Позначення на параметризованій технологічній схемі:

I_{K1} – вимірюваний струм двигуна стрічкового конвеєра K1

I_{K2} – вимірюваний струм двигуна стрічкового конвеєра K2

I_H – вимірюваний струм двигуна норії

F_H – продуктивність норії

F_{K1} - продуктивність конвеєра K1

F_{K2} – продуктивність конвеєра K2

N_{K1}^A – діюча (активна) потужність двигуна стрічкового конвеєра K1

N_{K2}^A – діюча (активна) потужність двигуна стрічкового конвеєра K2

N_H^A – діюча (активна) потужність двигуна норії

$u1$ - положення регулюючого органу, що регулює подачу сипучого матеріалу з силоса C1

1.1.7 Первинний аналіз параметрів ТП та ТА

Поділимо параметри ТП на дві групи:

А) параметри, значення яких або характер їхньої зміни, регламентовані Правилами ведення ТП та експлуатації ТА: F_H , I_{K1} , I_{K2} , I_H , F_{K1} , F_{K2}

Б) параметри, зміни значень яких впливають на регламентовані параметри: Q , N_{K1}^A , N_{K2}^A , N_H^A , $u1$

1.1.8 Поглиблений аналіз регламентованих параметрів

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 відвантаження зерна таким параметром є продуктивність норії F_H , яка є постійною у ході всього технологічного процесу.

Експлуатаційний регламент – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів технологічного обладнання. Такими параметрами є струми приводних електродвигунів конвеєрів I_{K1} , I_{K2} і норії I_H .

Техніко-економічний і екологічний регламент визначає умови ефективності ведення процесу і його екологічності. Він являє собою набір номінальних або гранично припустимих значень техніко-економічних і екологічних параметрів. До цієї групи параметрів можна віднести продуктивність конвеєрів F_{K1} і F_{K2} .

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.

Відхилення в продуктивності норії нижче гранично припустимого значення призводить до недозавантаження, зниження продуктивності та неефективного використання потужності двигуна. Перевищення гранично припустимого значення цим параметром призводить до перевантаження і як наслідок підвищеному зносу стрічки та ковшів, скороченню ресурсу.

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

Таблиця 1.1 – Таблиця регламентів

Назва параметрів	Позначення	Одиниці вимірювання	Номінальне значення параметру або ф-ція зміни нормально го значення	Припустимі відхилення від номіналу		
				Тривалі ($t \rightarrow \infty$)	Короткочасні ($0 < t < \infty$)	
				величина	величина	час, сек
Продуктивність норії	F_H	т/год	100	± 5	± 15	120

1.1.9 Поглиблений аналіз параметрів, які впливають на регламентовані параметри ТП

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. До цієї групи параметрів віднесемо параметр якості зерна у силосі Q.

Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводить до технологічного встаткування ззовні й витрачається на зміну властивостей продуктів. До цієї групи параметрів віднесемо діючу(активну) потужність двигунів стрічкових конвеєрів (N_{K1}^A , N_{K2}^A) і норії N_H^A .

Механічні (або інші специфічні) параметри технологічного обладнання характеризують стан її робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо положення регулюючого органу u1.

1.1.10 Розробка параметричної схеми ТП

Параметризована схема технологічного процесу має змістовний характер. Формалізація опису взаємозв'язків між параметрами технологічного процесу досягається за рахунок переходу до формалізованої параметричної схеми. При цьому ті параметри, що відбивають мету функціонування об'єкта моделювання і додаткові вимоги до нього, тобто ті параметри, що регламентовані, будуть вихідними, а параметри, що відбивають умови функціонування об'єкта - вхідними. Зв'язок між вхідними і вихідними параметрами – причинно наслідковий.

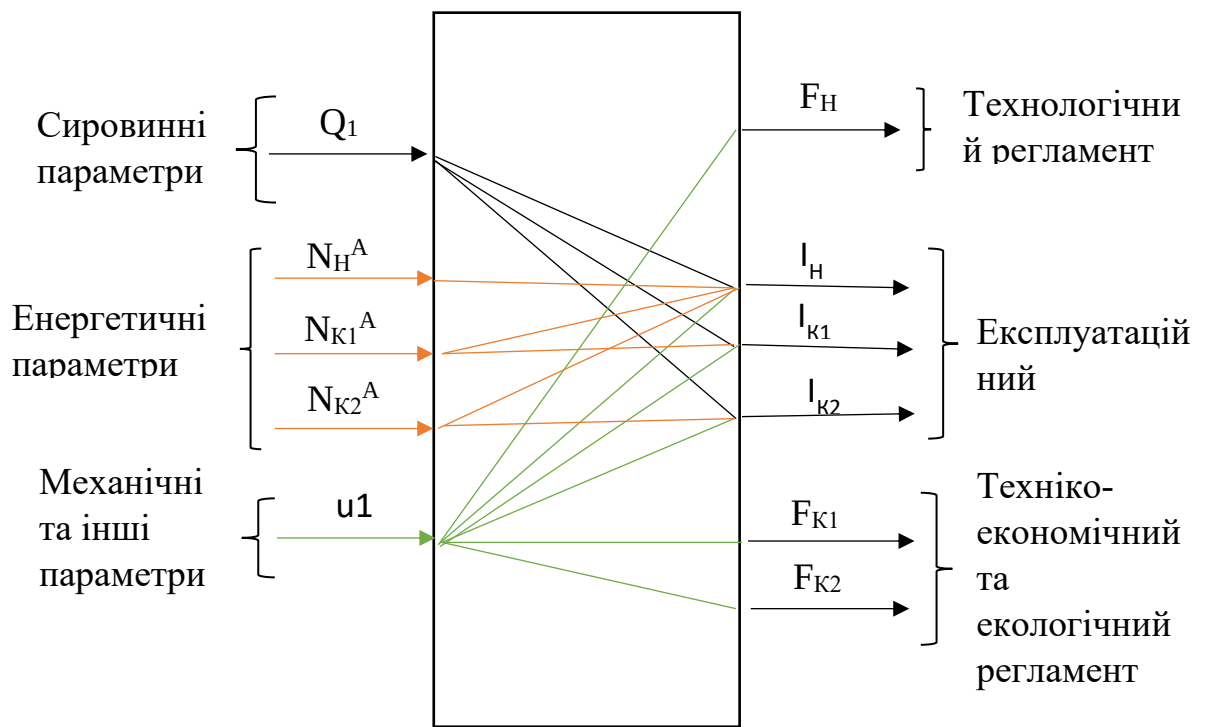


Рис. 1.11 – Параметрична схема ТП

1.2. Виявлення існуючого рівня автоматизації ділянки ТП

1.2.1. Оцінка існуючого рівня реалізації функції регулювання для технологічних та експлуатаційних параметрів

У відповідності до п. 1.1.8 основними технологічними та експлуатаційними параметрами об'єкта керування є продуктивність норії F_H та струми приводних електродвигунів конвеєрів і норії (IK1, IK2, IH).

Нижче для кожного з цих параметрів проведено оцінку необхідності регулювання, існуючих керуючих впливів, найбільш суттєвих контрольованих збурень та рівня реалізації функції регулювання на підприємстві:

Продуктивність норії (F_H , технологічний параметр). Цей параметр є ключовим показником ефективності роботи всієї потоково-транспортної лінії і безпосередньо визначає виконання планового завдання на відвантаження зерна. Відхилення продуктивності нижче регламентного рівня призводить до недозавантаження обладнання, зниження загальної продуктивності лінії та неефективного використання електроенергії. Перевищення верхньої межі допуску викликає підпір зерна в башмаку норії, підвищений знос стрічки та ковшів, аварійні зупинки, а в критичних випадках — небезпеку пожежі або вибуху через накопичення зернового пилу. Тому параметр F_H вимагає постійного регулювання для підтримання його у вузькому діапазоні біля номінального значення.

Безпосереднє вимірювання продуктивності норії в умовах реальної експлуатації є ускладненим, тому на практиці застосовують опосередковані методи її визначення. Одним з поширених є метод оцінювання продуктивності за струмом навантаження електродвигуна норії.

У цьому випадку продуктивність норії визначається за допомогою коефіцієнта перетворення, який встановлює залежність між струмом навантаження електродвигуна та продуктивністю норії і визначається експериментально під час налагодження обладнання.

Застосування опосередкованого вимірювання продуктивності норії за струмом навантаження електродвигуна дозволяє здійснювати безперервний контроль продуктивності в реальному часі, лінеаризувати модель об'єкта керування в робочому діапазоні та реалізувати систему автоматичного регулювання продуктивності ПТЛ і підвищити енергоефективність її роботи.

У подальшому під продуктивністю норії як регульованою координатою будемо розуміти саме вираховану за струмом продуктивність норії.

На підприємстві для регулювання продуктивності норії використовується керуюча дія u_1 (положення підсиленої шиберної засувки), яка відображена на параметричній схемі технологічного процесу. Зміна ступеня відкриття засувки безпосередньо впливає на витрату зерна, що надходить на конвеєри та норію.

Параметром, що впливає на зміни продуктивності ПТЛ, є якість зерна у силосі Q (вологість, сипучість, наявність домішок, насипна щільність) – відноситься до неконтрольованих збурень. Зміни цих властивостей сировини впливають на швидкість витікання зерна через засувку та заповнення ковшів норії навіть при незмінному положенні u_1 .

Струми приводних електродвигунів (I_{K1} , I_{K2} , I_H , експлуатаційні параметри). Ці параметри характеризують ступінь завантаження обладнання і є прямими індикаторами безаварійної роботи. Перевищення номінальних значень струмів призводить до перегріву двигунів, прискореного зносу механічних частин (стрічки, підшипників, редукторів), спрацьовування захисту та аварійних зупинок лінії. Недозавантаження, навпаки, свідчить про неефективне використання. Регулювання струмів необхідне для запобігання аварійним режимам і забезпечення тривалого ресурсу обладнання.

Для регулювання струмів двигунів на підприємстві також використовується керуюча дія u_1 — положення шиберної засувки. Зменшення відкриття засувки знижує подачу зерна і, відповідно, навантаження на всі двигуни лінії.

Найбільш суттєвим збуренням, що впливає на струми двигунів, є знову ж якість зерна у силосі Q , яка змінює механічне навантаження на транспортує обладнання.

1.2.2 Функції логічного (логіко-програмного) управління, оцінка існуючого рівня їх реалізації

Технологічний пуск ТА. Перед пуском ПТЛ проводиться огляд, очищення і перевірка датчиків (рівня, обриву, завалу) перевіряється готовність приймального обладнання. Пуск починається з кінцевого обладнання щоб зерно не накопичувалось у ще не включених ділянках. Першою вмикається норія. Наступним вмикається конвеєр, що подає зерно в норію. За потреби вмикається другий конвеєр. Після того як приймальна лінія готова, відкривається засувка потрібного силоса. Зерно самопливом зсипається.

Технологічна зупинка. Зупинка здійснюється у зворотному порядку до пуску. Першою закривається засувка силоса. Дається витримка часу поки зерно повністю вийде з конвеєра. Вимикається конвеєр. Витримка часу поки вийдуть залишки зерна з норі. Вимикається норія.

Передаварійна ситуація. Умовою блокування передаварійної ситуації є перевищення допустимого рівня завантаження норії. Функція блокування передаварійної ситуації виконується «автоматично», але з можливістю перемикавання на «вручну». В «автоматичному» режимі контролер керує положенням засувки в залежності від рівня завантаження норії і не дозволяє йому вийти за межі допустимих значень. В ручному режимі у разі початку формування «підпору» зерна в черевіку норії оператор АРМу на деякий проміжок часу перекриває засувку.

Аварійна зупинка ТА. Умовою аварійної зупинки є спрацювання датчика рівня в черевіку норії що свідчить про «підпор» зерна в норії. Функція аварійної зупинки виконується «автоматично», але з можливістю перемикавання на «вручну». У разі аварійного сигналу, вимикається живлення

електродвигунів норії та подаючих конвеєрів і закривається засувка силосу. Активується блокування повторного запуску до скидання аварії.

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

1.3.1 Вплив вхідних сировинних, енергетичних, механічних параметрів ТП на вихідні параметри, які складають техніко-економічний та екологічний регламенти

До вхідних параметрів належать:

- Сировинні параметри: якість зерна Q (вологість, сипучість, насипна щільність, вміст домішок);
- Енергетичні параметри: активна потужність двигунів N_{K1}^A , N_{K2}^A , N_H^A ;
- Механічні параметри: положення регулюючого органу u_1 (ступінь відкриття шиберної засувки).

Зміна якості зерна Q призводить до збільшення або зменшення механічного навантаження на конвеєри та норію. Збільшення механічного навантаження призводить до зростання активної потужності двигунів (струм прямо пропорційний активній потужності P), відповідно, питомих витрат електроенергії на транспортування однієї тонни зерна. Перевантаження норії через нестабільну подачу матеріалу збільшує ризик підпору, що спричиняє додаткові енергетичні втрати під час аварійних зупинок і повторних пусків.

При відхиленні продуктивності норії F_H від номінального значення (100 т/год) в менший бік спостерігається недозавантаження обладнання, що знижує загальну продуктивність лінії та збільшує питомі енергетичні витрати. Перевищення номінальної продуктивності призводить до перевантаження, підвищеного зносу обладнання та зростання ймовірності аварійних ситуацій.

Таким чином, нестабільність вхідних параметрів безпосередньо впливає на питомі витрати електроенергії, продуктивність лінії, ресурс обладнання та екологічні показники (збільшення споживання електроенергії веде до непрямого зростання викидів CO₂ від електростанцій).

1.3.2 Потенційні джерела економічної ефективності від впровадження поліпшених функцій регулювання та логічного керування

Впровадження вдосконаленої системи автоматичного керування (САК) з покращеними функціями регулювання та логічного керування дозволяє отримати економічний ефект за рахунок:

- Зменшення питомих витрат електроенергії
- Збільшення обсягів відвантаження зерна
- Зменшення витрат на ремонт і обслуговування обладнання
- Зменшення браку та втрат продукції
- Зниження екологічного навантаження

1.3.3 Кінцева економічна ціль модернізації системи

Кінцевою економічною ціллю модернізації САК є збільшення прибутку підприємства від діяльності сушильно-складського комплексу за рахунок підвищення ефективності роботи потоково-транспортної лінії відвантаження зерна.

Конкретними економічними показниками, які планується покращити, є:

- Зниження питомих витрат електроенергії на відвантаження 1 тонни зерна, %;
- Збільшення продуктивності ПТЛ (середньодобового обсягу відвантаження зерна), т/добу;

- Зменшення питомих витрат на ремонт і технічне обслуговування обладнання, грн/т;
- Зменшення втрат зерна під час транспортування та аварійних зупинок, т/рік.

Досягнення цих показників очікується за рахунок:

- Підвищення динамічної точності системи автоматичного регулювання продуктивності норії;
- Впровадження автоматичного логічного керування технологічним пуском, зупинкою та аварійним захистом ПТЛ.

1.3.4 Інші цілі модернізації системи автоматичного керування

Окрім економічних цілей, модернізація САК дозволить досягти наступних важливих результатів:

- Підвищення безпеки експлуатації та вибухопожежобезпеки. Автоматичне блокування підпору зерна, перевантаження та обриву стрічки суттєво зменшить ризик виникнення пожежі або вибуху зернового пилу.
- Поліпшення умов праці операторів. Зменшення ручного контролю та частоти аварійних втручань.
- Підвищення екологічних показників. Зниження загального споживання електроенергії призведе до зменшення непрямих викидів забруднюючих речовин в атмосферу.
- Збільшення терміну служби обладнання. Стабільна робота в оптимальних режимах без частих перевантажень і аварійних зупинок продовжить ресурс стрічок конвеєрів, ковшів норії та приводних двигунів.
- Підвищення загальної надійності потоково-транспортної лінії та рівня автоматизації виробництва.

1.4 Висновки за розділом

У розділі проведено аналіз ТП. Визначено технічні характеристики агрегатів та умови їх ефективної експлуатації. Виконано параметризацію ТП, проведено класифікацію регламентованих параметрів та параметрів, що на них впливають.

Визначені потенційні джерела економічної ефективності від модернізації САК, сформульовано цілі модернізації: підвищення динамічної точності регулювання продуктивності, забезпечення безаварійної роботи обладнання та покращення умов праці оператора.

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

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

2.1.1. Аналіз параметричної схеми технологічного процесу та перехід від параметрів до змінних об'єктів управління

Загальною метою функціонування підприємства в цілому є виконання планових завдань або договірних зобов'язань по номенклатурі і об'єму продукції, а також одержання при цьому певного економічного ефекту. Останній характеризується показниками прибутку, собівартості, розмірами сплачених штрафних санкцій і т. і.

Декомпозиція загальної («глобальної») цілі для більш низьких рівнів виробничої ієрархії призводить до наступних цілей:

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

б) на рівні окремих одиниць технологічного обладнання (локальні цілі) – виконання технологічних, експлуатаційних та техніко-економічних регламентів, зокрема – оптимізація роботи окремих одиниць обладнання («локальна» оптимізація).

Необхідною умовою вирішення завдань управління є наявність керуючих впливів, які, повинні бути вхідними змінними (координатами) ОК. Для завдань регулювання, такими керуючими (регулюючими) впливами, насамперед, є дії, які цілеспрямовано можуть змінювати витрати матеріальних і енергетичних потоків, а саме - положення регулюючих органів. Кількість регулюючих впливів має дорівнювати кількості регульованих змінних.

Для процесу транспортування зерна до управляючих впливів доцільно віднести положення регулюючого органу, регулюючого подачу сипучого матеріалу з силоса С1.

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

Для процесу приймання зерна входні впливи, крім керуючого впливу і контрольованого збурення f_k , віднесемо до неконтрольованих збурення f_l . Детерміновану складову цього збурення адитивно докладемо до керуючих дій, а стохастичну складову – до регульованої координати.

2.1.2. Концептуальна модель (структурна схема) об'єкта керування

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 транспортування зерна наведена на рис. 2.1.

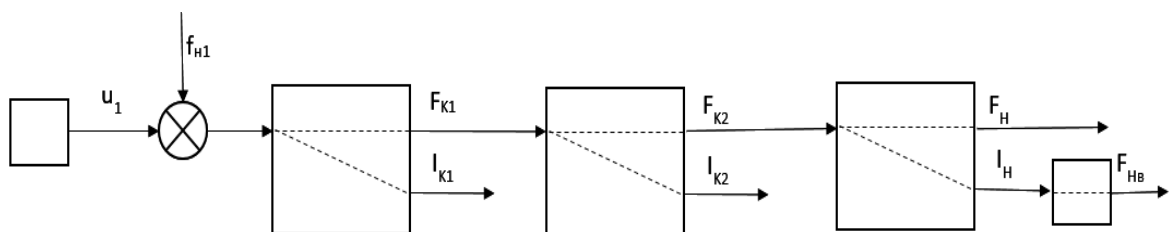


Рис. 2.1 – Структурна схема процесу транспортування зерна як об'єкту регулювання

Позначення на схемі:

I_{K1} – вимірюваний струм двигуна стрічкового конвеєра K1;

I_{K2} – вимірюваний струм двигуна стрічкового конвеєра K2;

I_H – вимірюваний струм двигуна норії;

F_H – продуктивність норії;

F_{K1} - продуктивність конвеєра K1;

F_{K2} – продуктивність конвеєра K2;

F_{HB} – вирахувана за струмом продуктивність норії;

u_1 – положення регулюючого органу, що регулює подачу сипучого матеріалу з силоса C1.

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

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

Для технологічного процесу відвантаження зерна за каналом управління ОК має властивість самовирівнювання. Зі збільшенням керуючого впливу (відкриваючи засувку), збільшується продуктивність норії. При постійному вхідному впливі (положенні регулюючого органу) продуктивність стабілізується на сталому рівні.

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

Активні експерименти можуть проводитися тільки з каналами, вхідні змінні яких доступні для цілеспрямованої зміни. Ними, насамперед, є керуючі дії. Для досліджуваного ОК (ПТЛ відвантаження зерна) доступним для цілеспрямованої зміни є канал керування $u_1 \rightarrow F_{HB}$. З розуміння простоти

організації вхідних дій і мінімізації витрат часу на проведення експерименту та обробки його результатів, оберемо ступінчасту вхідну дію.

План експерименту полягає в наступному:

- 1) за допомогою зміни керуючої дії u_1 домагаємося такого значення керованої змінної F_{HB} , котра знаходилися б в околиці її номінального значення. Для нашого ОК значенню $u_1 = 47\%$ х.р.о. буде відповідати значення керованої змінної 100 т/год.
- 2) Чекаємо закінчення перехідного процесу в каналі та настання сталого режиму, при якому вихідна змінна перестане змінюватися.
- 3) Змінимо керуючу дію ступінчастим чином на 3% х.р.о. у момент часу 100с.
- 4) Реєструємо зміну вихідної змінної до настання нового сталого режиму,
вхідну дію у такому разі можна не реєструвати.

Коефіцієнт перетворення струму норії в продуктивність a заздалегідь розрахований за формулою:

$$a = \frac{F_H^1 - F_H^0}{I_H^1 - I_H^0}, \text{ де} \quad (2.1)$$

I_H^1 – «дійсний» струм ПЕД норії при 50% х.р.о.

I_H^0 – «дійсний» струм ПЕД норії при 47% х.р.о.

F_H^1 – «дійсна» продуктивність норії при 50% х.р.о.

F_H^0 – «дійсна» продуктивність норії при 47% х.р.о.

$$a = \frac{100\text{т/год} - 91,1\text{т/год}}{49\text{А} - 45,5\text{А}} = \frac{8,9\text{т/год}}{3,5\text{А}} = 2,54 \frac{\text{т/год}}{\text{А}}$$

Під «дійсною» продуктивністю або «дійсним» струмом розуміється що значення отримано експериментальним шляхом на реальному об'єкті, але так як проводити експеримент на реальному об'єкті неможливо то

використовується наближена до реальної математична модель ПТЛ побудована в середовищі імітаційного моделювання Simulink.

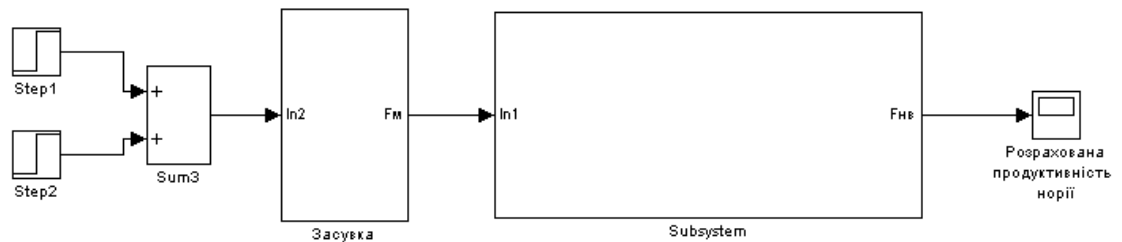


Рис. 2.2 – Схема моделювання

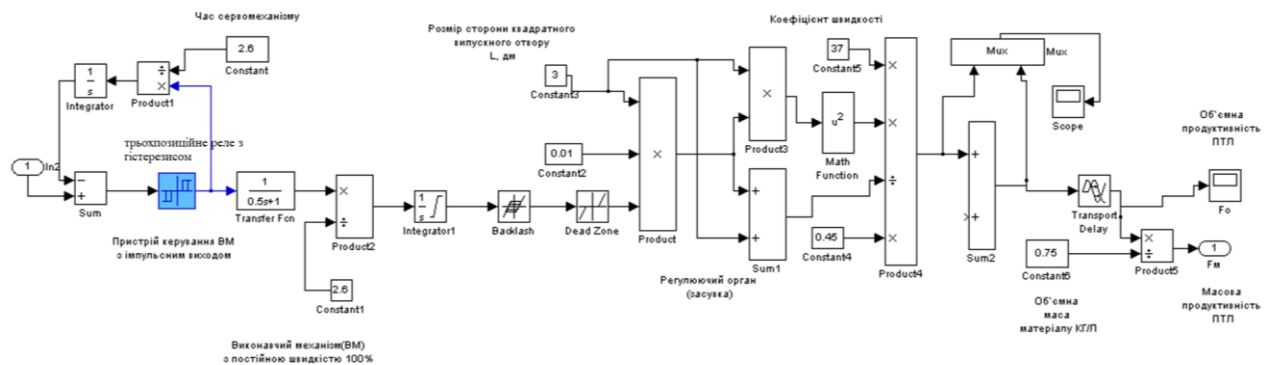


Рис. 2.3 – Внутрішня будова блоку Засувка

Засувка обладнана імпульсним виконавчим механізмом. Особливістю даного типу виконавчого механізму є те, що керування здійснюється не безперервним сигналом, а короткочасними імпульсами керування.

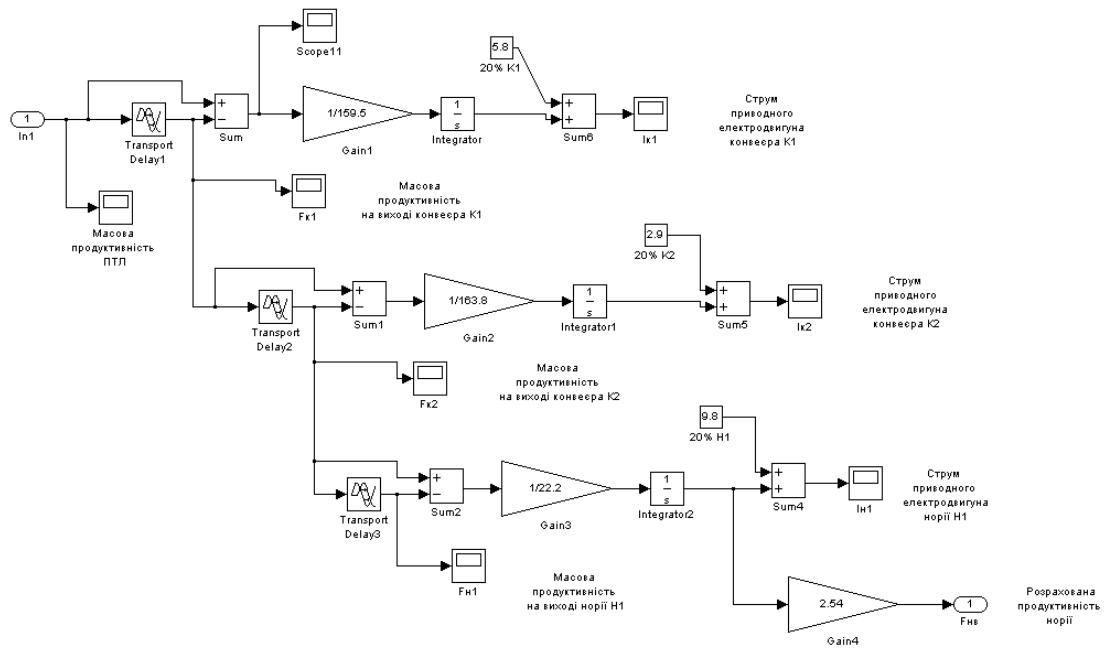


Рис. 2.4 – Внутрішня будова блоку Subsystem

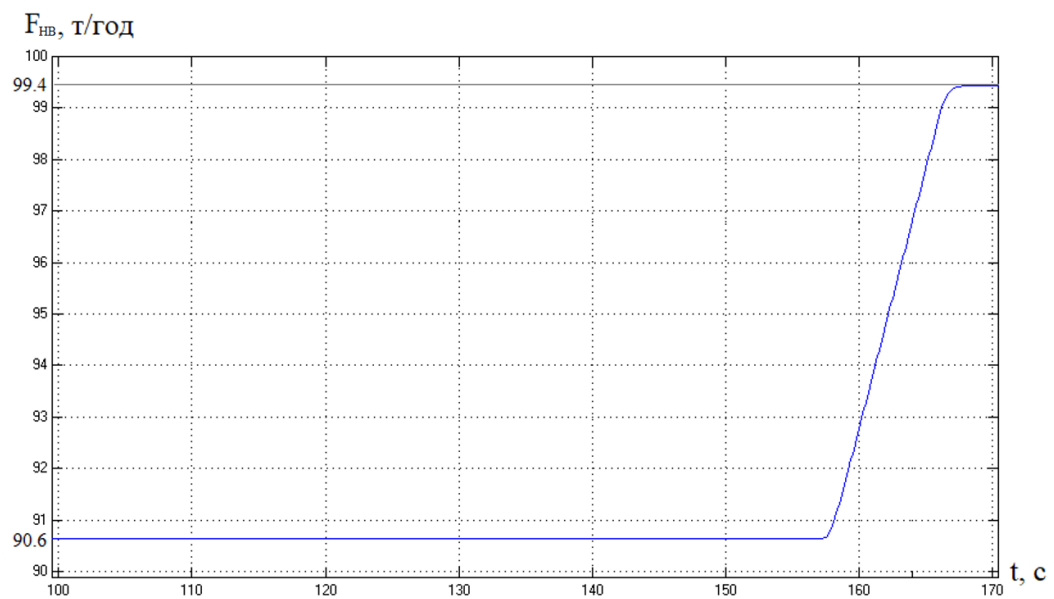


Рис. 2.5 – Результат експерименту

За результатами активного експерименту (рис. 2.5) можна зробити висновок, що канал управління нашого ОК має властивість самовирівнювання, а значить його модель може бути описана передаточними функціями: першого та другого порядку:

$$\text{Передаточна функція ОК першого порядку: } W_o(P) = \frac{k_o \exp\{-\tau_o P\}}{T_o P + 1} \quad (2.2)$$

Передаточна функція ОК другого порядку: $W_o(P) = \frac{k_o \exp\{-\tau_o P\}}{(T_o P + 1)^2}$ (2.3)

Для параметричної ідентифікації моделей ОК зі статичними властивостями необхідно знайти:

- коефіцієнт передачі ОК k_o ;
- сталу часу T_o ;
- час запізнення τ_o ;

Коефіцієнт передачі ОК визначимо за формулою:

$$k_o = \frac{F_{HB}^1[\text{т/год}] - F_{HB}^0[\text{т/год}]}{I_H^1[A] - I_H^0[A]} \quad (2.4)$$

Коефіцієнт передачі ОК: $k_o = \frac{99.44\text{т/год} - 90.65\text{т/год}}{50A - 47A} = 2.93 \left[A \cdot \frac{\text{т}}{\text{год}} \right]$

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

Методика «2-х спільних точок» (Мініної), моделі 1-го порядку

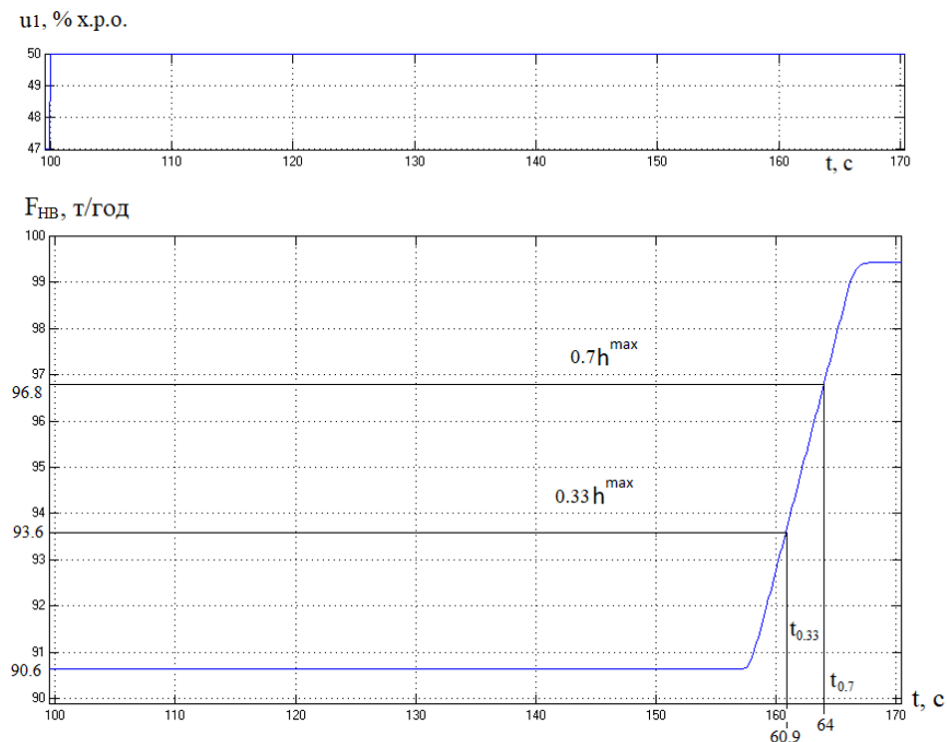


Рис. 2.6 – Перехідна характеристика лінійної моделі за методикою «2-х спільних точок», моделі 1-го порядку

$$\Delta h^{max} = 99.44 - 90.65 = 8.79 \frac{\text{Т}}{\text{год}}$$

$$0.7h^{max} = 90.65 + 0.7 \cdot 8.79 = 96.8 \frac{\text{Т}}{\text{год}}$$

$$0.33h^{max} = 90.65 + 0.33 \cdot 8.79 = 93.55 = 93.6 \frac{\text{Т}}{\text{год}}$$

$$t_{0.7} = 64 \text{ с}$$

$$t_{0.33} = 60.9 \text{ с}$$

$$\tau_0 = 0.5(3t_{0.33} - t_{0.7}) \quad (2.5)$$

$$\tau_0 = 0.5(3 \cdot 60.9 - 64) = 59.35 = 59.4 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0.7} - \tau)/1.2 \quad (2.6)$$

$$T_0 = (64 - 59.4)/1.2 = 3.8 \text{ с}$$

Передаточна функція моделі 1-го порядку: $W_o(P) = \frac{2.93 \cdot e^{-59.4p}}{3.8p+1}$

Методика «2-х спільних точок» (Мініної), моделі 2-го порядку

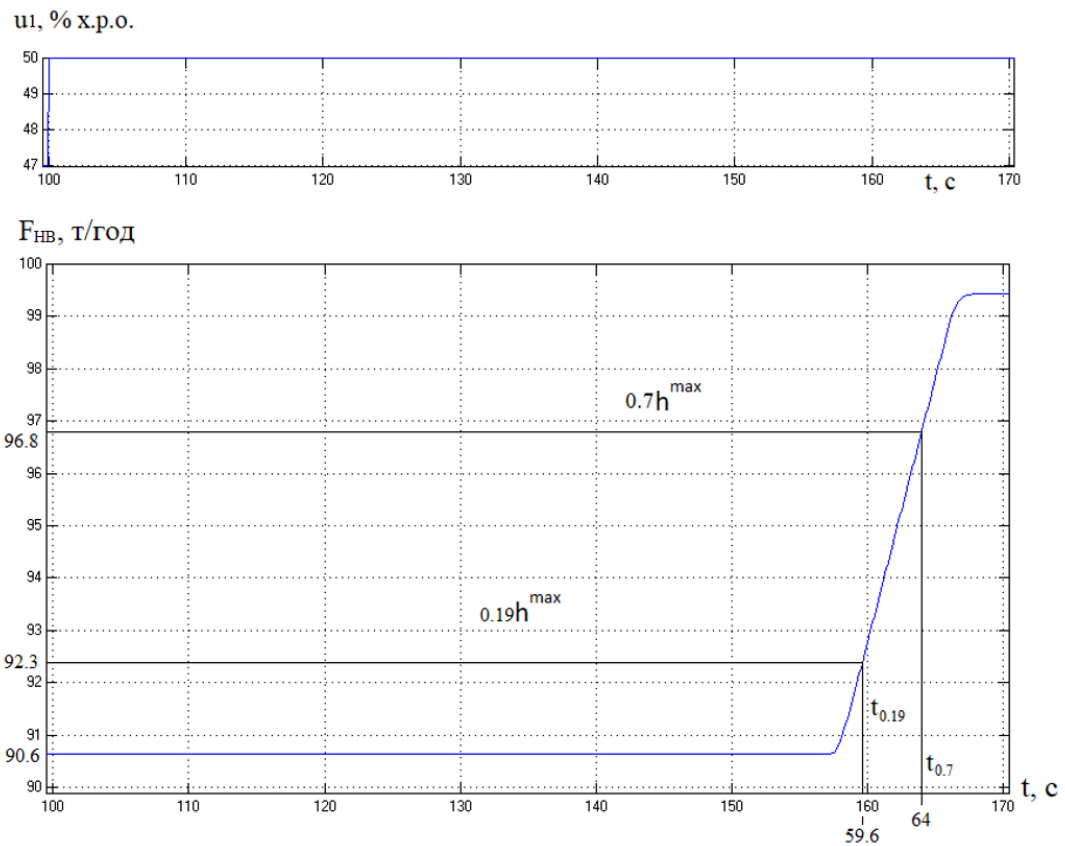


Рис. 2.7 – Перехідна характеристика лінійної моделі за методикою «2-х спільних точок», моделі 2-го порядку

$$\Delta h^{max} = 99.44 - 90.65 = 8.79 \frac{\text{Т}}{\text{год}}$$

$$0.7h^{max} = 96.8 \frac{\text{Т}}{\text{год}}$$

$$0.19h^{max} = 90.65 + 0.19 \cdot 8.79 = 92.3 \frac{\text{Т}}{\text{год}}$$

$$t_{0.7} = 64 \text{ с}$$

$$t_{0.19} = 59.6 \text{ с}$$

$$\tau_0 = 0.5(3t_{0.19} - t_{0.7}) \quad (2.7)$$

$$\tau_0 = 0.5(3 \cdot 59.6 - 64) = 57.4 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0.7} - \tau)/2.4 \quad (2.8)$$

$$T_0 = (64 - 57.4)/2.4 = 2.75 \text{ с}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК: $W_o(P) = \frac{2.93 \cdot e^{-57.4p}}{2.75p+1}$

Проведемо експерименти для визначення статичної характеристики ОК.
Результати експериментів занесено у таблицю 2.1 експериментальних даних.

Табл. 2.1 – Результати експерименту для визначення статичної
характеристики ОК

I _н , А	9,8	11,9	17,9	26,4	36,7	49	62,7
F _{нв} , т/год	0	5,4	20,5	42,2	68,2	99,4	134,2

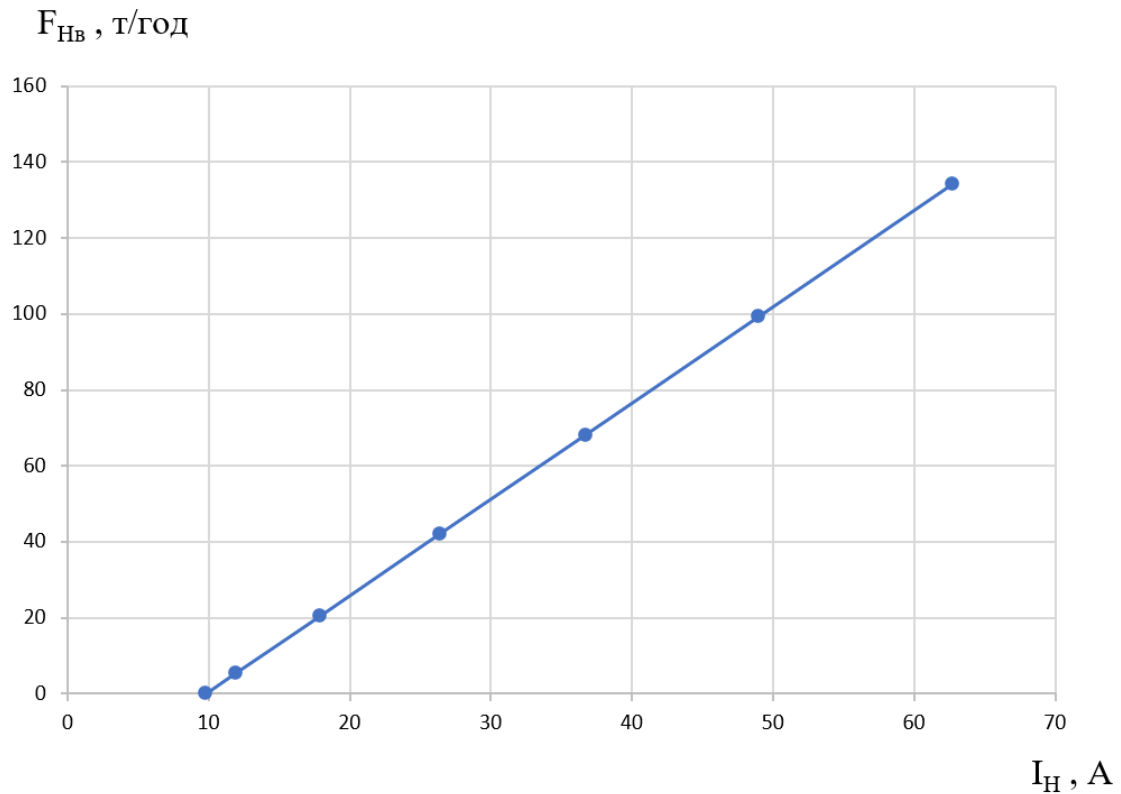


Рис. 2.8 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК за каналом « $I_H - F_{HB}$ »

Проведемо структурну і параметричну ідентифікацію моделі за каналом « $I_H - F_{HB}$ » ОК:

$$F_{HB} = a_1 \cdot (I_H - a_0) \quad (2.9)$$

Параметр a_1 було задано в процесі ідентифікації

$$a_1 = \Delta F_{HB} / \Delta I_H = 2.54 \frac{\text{т/год}}{A}$$

$$a_0 = I_H - F_{HB} / a_1 = 9,8 - 0 / 2,54 = 9,8 A$$

Отже, статична характеристика за каналом « $I_H - F_{HB}$ » досліджуваного ОК може бути описана наступною залежністю:

$$F_{HB} = 2,52 \cdot (I_H - 9,8). \quad (2.10)$$

2.3 Ідентифікація математичних моделей неконтрольованих збурень об'єкта керування.

Неконтрольовані збурення є невід'ємною складовою будь-якого реального технологічного об'єкта регулювання (ОР), у тому числі потоково-транспортної лінії (ПТЛ) відвантаження зерна.

Поняття «неконтрольоване збурення» відображає наявність великої кількості конкретних факторів, вплив кожного з яких на регульовану змінну (продуктивність норії $F_{\text{НВ}}$) окремо є відносно слабким. Виділення їх як контрольованих збурень потребувало б додаткових засобів вимірювання, ускладнення структури САР та значних витрат ресурсів на ідентифікацію, що в більшості випадків є недоцільним.

Ігнорувати неконтрольовані збурення неможливо, оскільки їх сукупний вплив на регульовану змінну є суттєвим. Саме тому системи автоматичного регулювання (САР) технологічних процесів практично завжди будуються за принципом замкненого контуру регулювання (керування за відхиленням), який забезпечує компенсацію сукупної дії цих збурень.

Сукупність великої кількості слабо корельованих між собою випадкових факторів, що мають приблизно однакові масштаби впливу, можна розглядати як єдиний випадковий процес. Згідно з центральною граничною теоремою, такий процес має щільність розподілу ймовірності, близьку до нормального (гауссівського) розподілу. Це обґрунтовує доцільність ідентифікації неконтрольованих збурень саме як випадкового процесу.

Дія всіх збурень, у тому числі неконтрольованих, завжди проявляється через зміни регульованої змінної $F_{\text{НВ}}$. Тому інформація для ідентифікації моделей неконтрольованих збурень — це записи змін регульованої змінної в робочому режимі. Надалі дію неконтрольованих збурень доцільно приводити до регульованої змінної (адитивно сумувати з нею). Методом еквівалентних структурних перетворень ці збурення можна привести до точки прикладання

регулюючого впливу u_1 , зберігаючи при цьому відповідність фізичних розмірностей.

Фізична суть неконтрольованих збурень для ПТЛ відвантаження зерна включає: зміни властивостей зерна (вологість, засміченість); зміни технічного стану обладнання (ступінь зносу обладнання, налипання матеріалу); зміни зовнішніх умов (температура та вологість повітря в приміщенні, коливання напруги живлення двигунів).

Діапазони зміни цих факторів є відносно вузькими в робочому режимі, але їх сукупний вплив призводить до відхилень продуктивності ПТЛ. Як змінну, з якою сумуватиметься модель неконтрольованих збурень, обрано регульовану змінну $F_{\text{нв}}$.

Оскільки можливості отримати реальні експериментальні дані немає, то з навчальною метою скористаємось генератором даних. Для генерації результатів пасивного експеримента з метою дослідження неконтрольованих збурень встановлено, що:

- Мінімальне і задане значення регульованої координати для досліджуваного ОК $F_{\text{нв}} = 0$ т/год, $F_{\text{нв}} = 100$ т/год.
- Запізнення в каналі керування для досліджуваного ОК $\tau_0 = 59,4$ с.

Генерацію результатів пасивного експерименту буде забезпечувати програма `rgep` у середовищі Матлаб. Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованих збурень досліджуваного ОК наведені на рис. 2.9

Крок 1: Візуалізація досліджуваного ВП, результати оцінювання його найпростіших характеристик, ідентифікація щільності імовірності

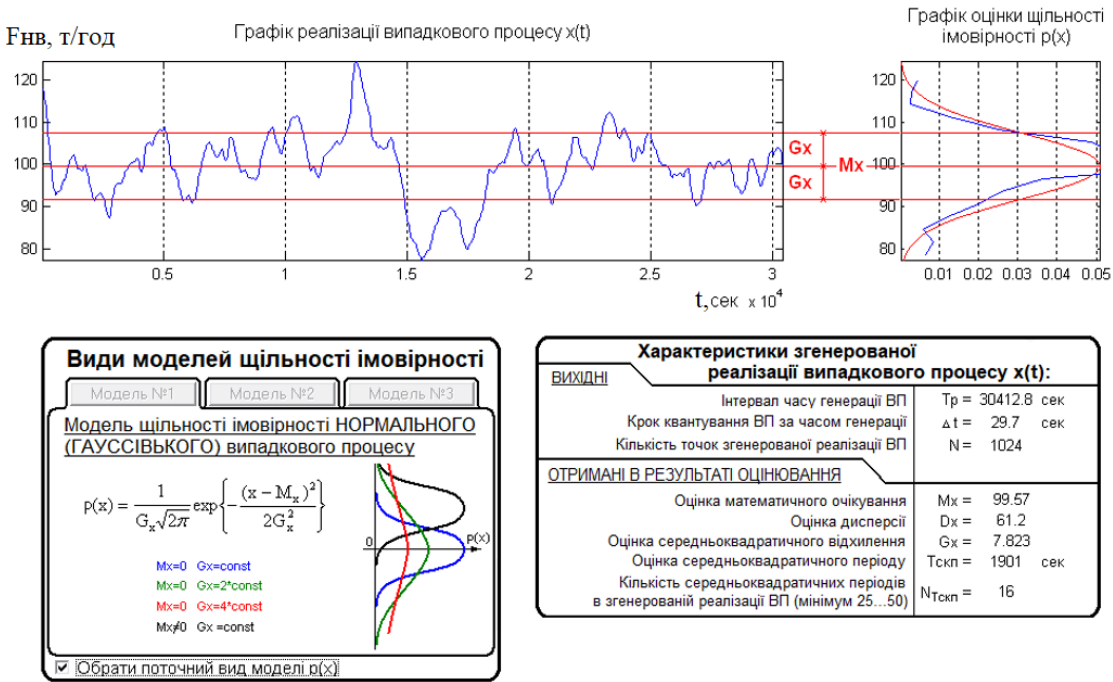


Рис. 2.10 – Оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу

Крок 2: Структурна ідентифікація моделей автокореляційної функції і спектральної щільності ВП

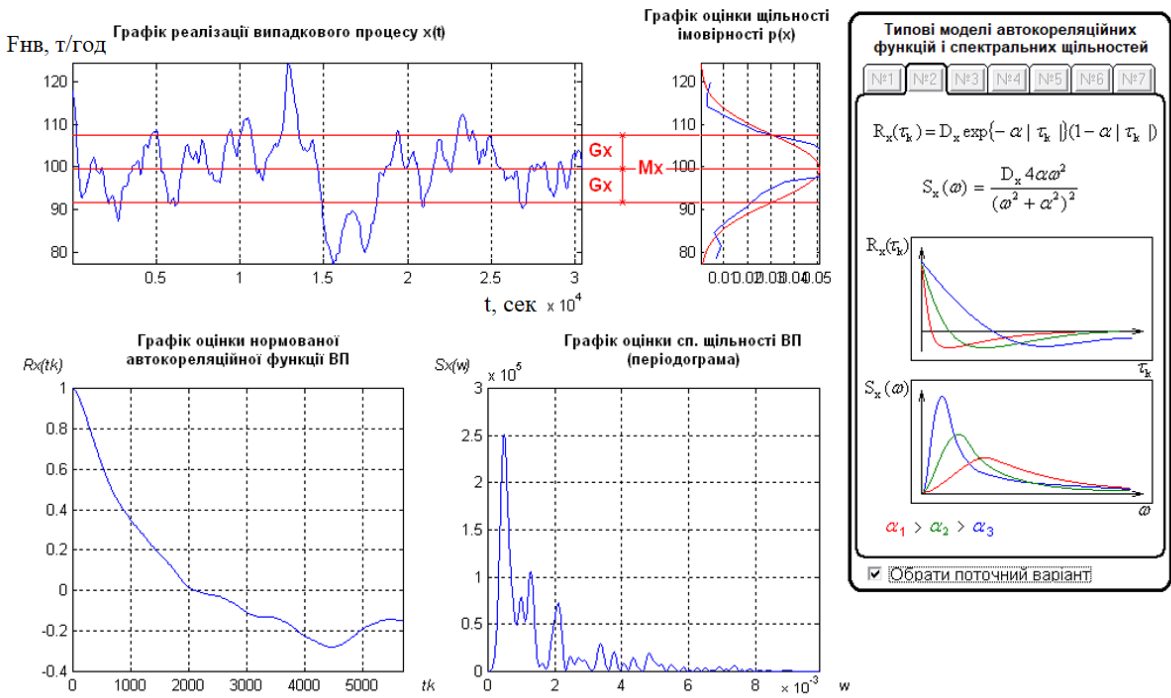


Рис. 2.11 – Оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу(продовження)

За результатами оцінювання нормованої кореляційної було обрано типову модель №2 кореляційної функції та спектральної щільності:

$$\text{Кореляційна функція: } R_f(\tau_K) = D_X \exp \{-a|\tau_K|\}(1 - a|\tau_K|) \quad (2.11)$$

$$\text{Спектральна щільність: } S_f(\omega) = \frac{D_X 4a\omega^2}{(\omega^2 + a^2)^2} \quad (2.12)$$

Наступним етапом проведемо параметричну ідентифікацію імовірнісних властивостей випадкових складових. Параметром обраної моделі випадкової складової збурень є коефіцієнт спаду a . Пошук значення цього параметра і буде параметричною ідентифікацією моделі стохастичної складової збурень. Пошук проводимо, у два етапи:

1) вибір початкового наближення параметру a

У нашому випадку формула для розрахунку початкового наближення має наступний вигляд: $a = \frac{1}{\tau_{K1}}$; $\tau_{K1} \approx 1000$, тому $a \approx 0,001$

2) пошук значення параметра, що забезпечить найкраще наближення моделі до її оцінки

Знайдемо оптимальне значення параметру a , виконавши процедуру оптимізації за спектральною щільністю.

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

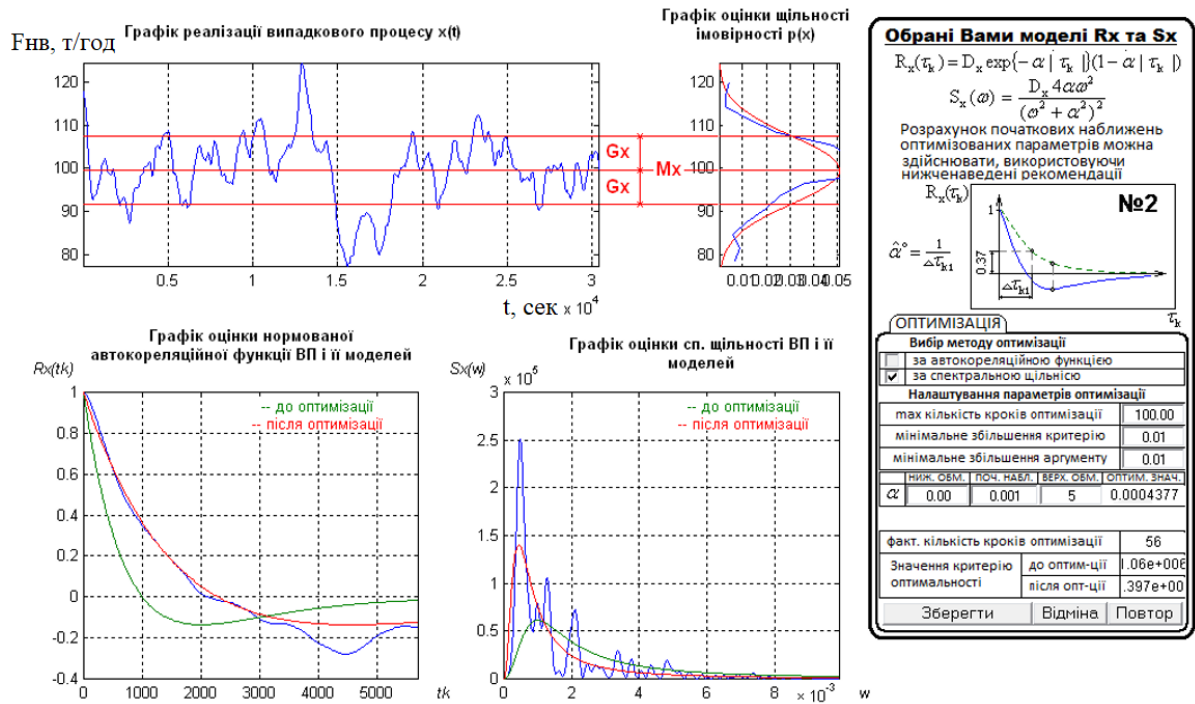


Рис. 2.12 – Параметрична ідентифікація моделі збурення за типовою моделлю №2

Крок 4: Підсумки ідентифікації моделей випадкових процесів

Таблиця результатів ідентифікації						
Номер моделі	α	β	A	C	γ	Значення критерію оптимізації
☒ 2	0.00043766	-	-	-	-	409236859771.07

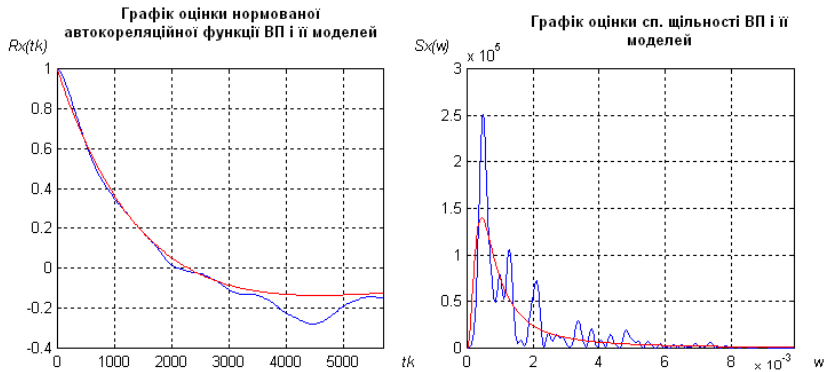


Рис. 2.13 – Результати параметричної ідентифікації

З результатів параметричної ідентифікації маємо, що $a^{\text{опт}} = 0,0004377$.

Для відтворення моделі збурень як стохастичних процесів (СП) із заданими властивостями будемо використовувати метод формуючого фільтру. Його можна подати у вигляді структурної схеми моделювання, зображеної нижче (рис. 2.14).

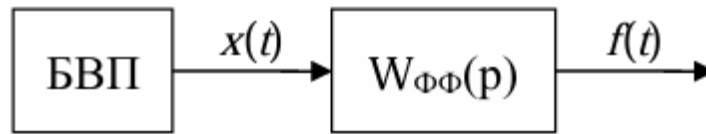


Рис. 2.14 – Базова модель випадкового процесу.

Для відтворення моделі стохастичного процесу із заданими властивостями спочатку треба визначити передаточну функцію формуючого фільтру $w_{\Phi\Phi}(p)$. Відомо, що спектральні щільності вхідного $x(t)$ та вихідного $f(t)$ сигналів взаємозв'язані:

$$|W_{\Phi\Phi}(j\omega)|^2 = \frac{S_f(\omega)}{S_x(\omega)} = W_{\Phi\Phi}(j\omega) \cdot W_{\Phi\Phi}(-j\omega) \quad (2.13)$$

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

$$S_x(\omega) = \sigma_x^2 \cdot \frac{2 \cdot \Delta t_r}{3} \quad (2.14)$$

де σ_x – середньоквадратичне відхилення процесу $x(t)$, Δt_r – крок генерації випадкового процесу.

Розрахуємо середньоквадратичне відхилення для налаштування генератора базового випадкового процесу σ_x та крок генерації Δt_r випадкового процесу: $\sigma_x = \frac{\sigma_f}{2}$ (2.15)

$$\Delta t_r = \frac{1}{(2 \dots 3) \cdot a} \quad (2.16)$$

$$\sigma_x = \frac{7,823}{2} = 3,9115$$

$$\Delta t_r = \frac{1}{(2 \dots 3)0,0004377} = 1\,142 \dots 762$$

Оберемо крок квантування $\Delta t_r = 800$

Після підстановки, маємо $S_X(\omega) = 3,9115^2 \cdot \frac{2 \cdot 800}{3} = 8\,160$

Шляхом математичних переторень, знаходимо передаточну функцію моделі збурень:

$$w_{\Phi\Phi}(p) = \frac{kp}{(Tp + 1)^2} \quad (2.17)$$

$$k = \frac{2\sqrt{D_f\alpha}}{\alpha^2} \quad (2.18)$$

$$T = \frac{1}{a} \quad (2.19)$$

$$k = \frac{2\sqrt{61,2 \cdot 0,0004377}}{0,0004377^2} = 1\,708\,602$$

$$T = \frac{1}{0,0004377} = 2\,285\,c$$

Після підстановки, маємо $w_{\Phi\Phi}(p) = \frac{1\,708\,602p}{(2\,285p+1)^2} = \frac{1\,708\,602p}{5\,221\,225p^2 + 4\,570p + 1}$

У відповідності до проведених розрахунків відтворимо модель вхідної дії.

Сигнал неконтрольованих збурень повинен відповідати таким статистичним параметрам:

$$M_f = 99,57 \text{ т/год}$$

$$\sigma_f = 7,823$$

$$a = 0,0004377$$

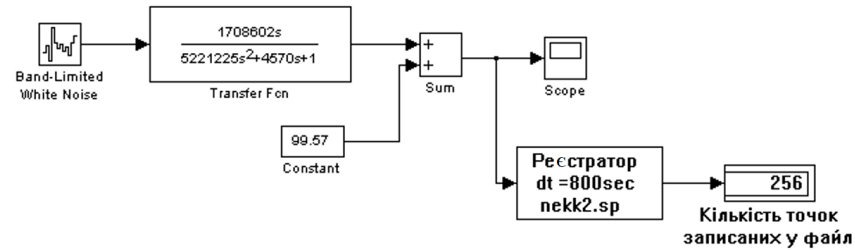


Рис. 2.15 – Схема моделювання для відтворення моделі випадкового процесу

Налаштування елемента «Band-Limited White Noise»:

Noise power = $S_X(\omega) = 8\ 160$;

Sample time = $\Delta t_r = 800$;

Seed = 1.

Налаштування елемента «Рєєстратор»:

Момент часу початку реєстрації процесу: 0 сек.

Крок квантування часу при реєстрації процесу: $\Delta\tau_{y(c)} = 800$

Інтервал часу реєстрації процесу: $T_{y(c)} = 256 \cdot 800 = 204\ 800\ c$

Крок 1: Візуалізація досліджуваного ВП, результати оцінювання його найпростіших характеристик, ідентифікація щільності імовірності

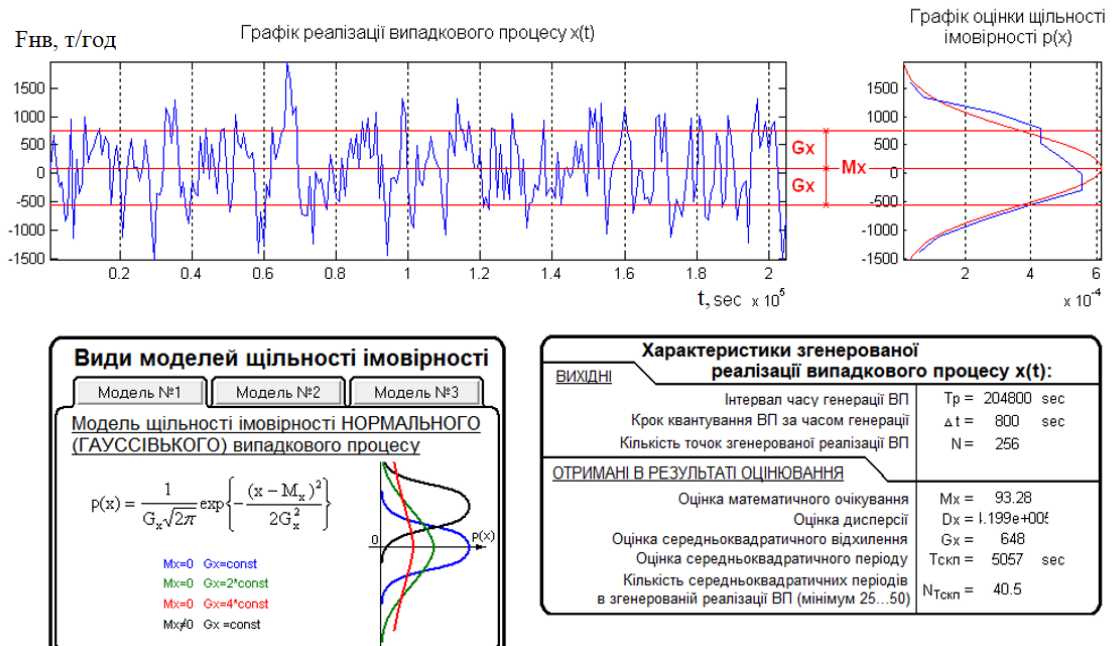


Рис. 2.16 – Результати моделювання неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтру

Бачимо, що математичне очікування, середньоквадратичне відхилення, та дисперсія мають великі розбіжності, тому проводимо коригування:

$$k_{\phi\phi} = k_{\phi\phi}^H \cdot \frac{\sigma_f}{\sigma_f^H} \quad (2.20)$$

σ_f – необхідне значення середньоквадратичного відхилення

σ_f^H – фактичне значення середньоквадратичного відхилення

$$k_{\phi\phi} = 1\,695\,222 \cdot \frac{7,823}{648} = 20\,466$$

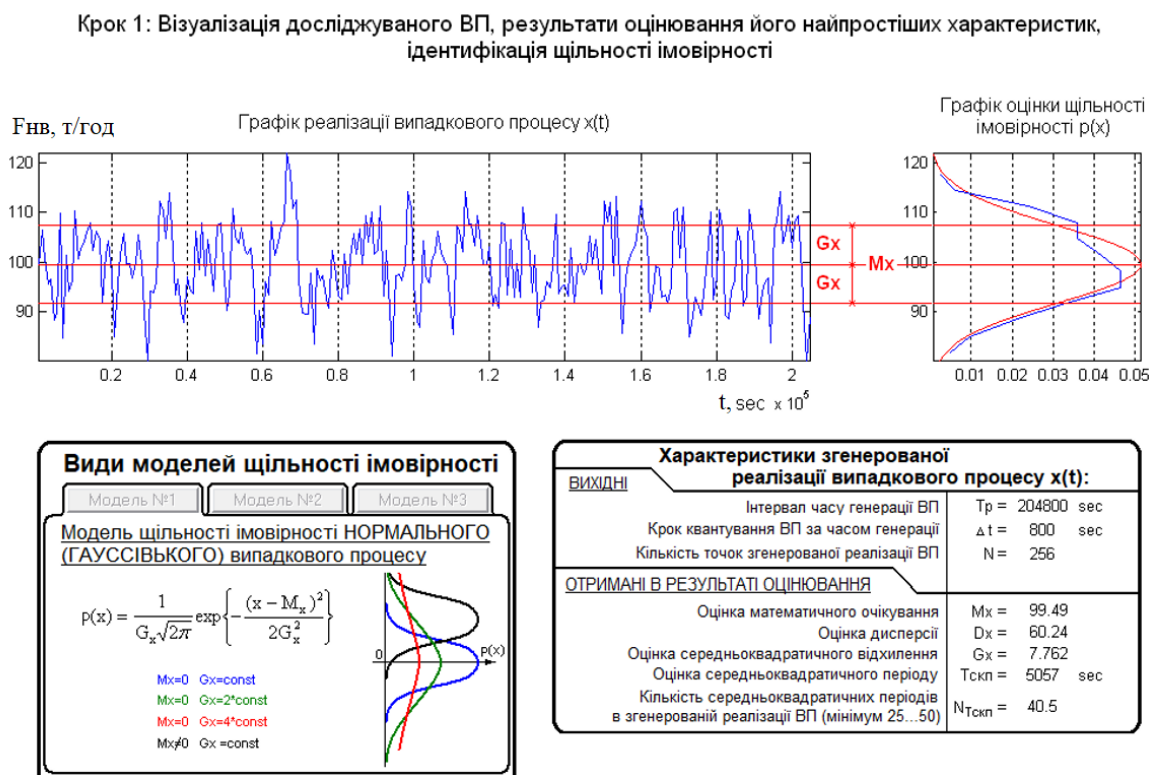


Рис. 2.17 – Результати моделювання неконтрольованих збурень із відкоригованими розрахунковими параметрами формуючого фільтру

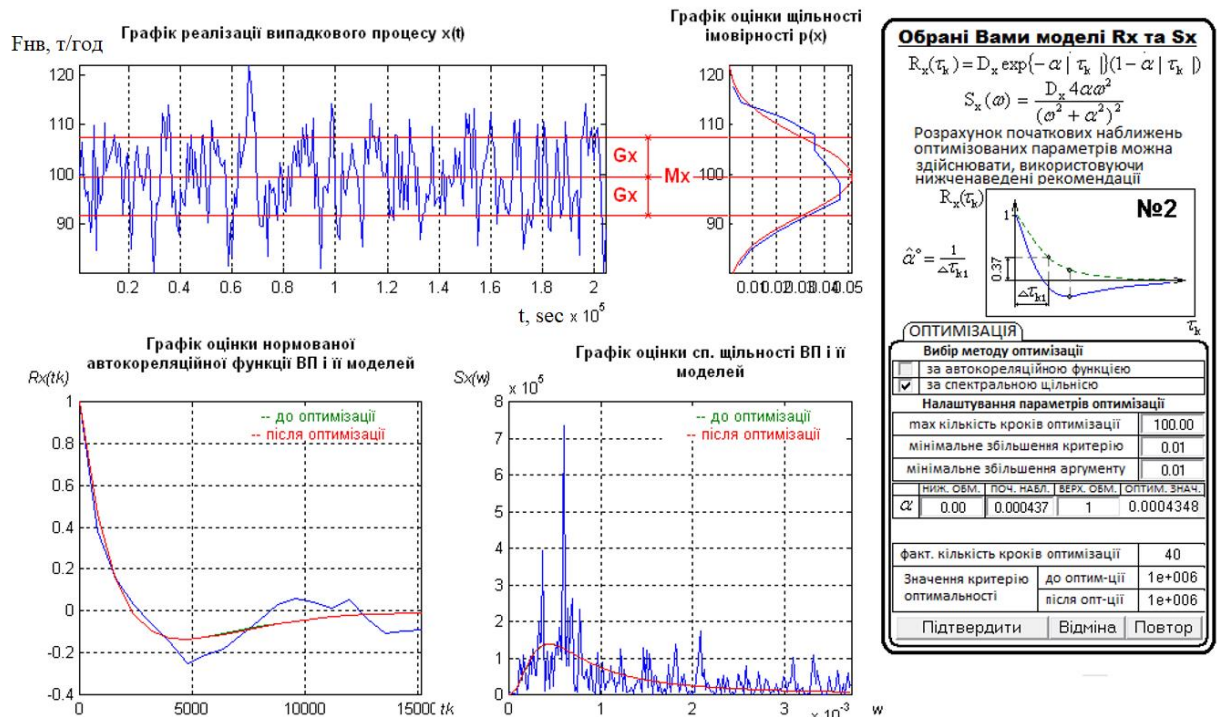


Рис. 2.18 – Результати моделювання неконтрольованих збурень з відкоригованими розрахунковими параметрами формуючого фільтру(закінчення)

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \hat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|99,57 - 99,49|}{99,57} \cdot 100\% = 0,08\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \hat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|7,823 - 7,762|}{7,823} \cdot 100\% = 0,1\%$$

Точність відтворення коефіцієнту спаду:

$$\Delta a_f = \frac{|a_f - \hat{a}_f|}{a_f} = \frac{|0,0004377 - 0,0004348|}{0,0004377} \cdot 100\% = 0,66\%$$

Похибка відтворення σ_f , M_f і a_f менша від 5%, а значить точність моделі неконтрольованих збурень є достатньою.

Повна модель ОК є поєднанням повної моделі каналів ОК та моделі неконтрольованих збурень. Повна модель ОК наведена на рис. 2.18

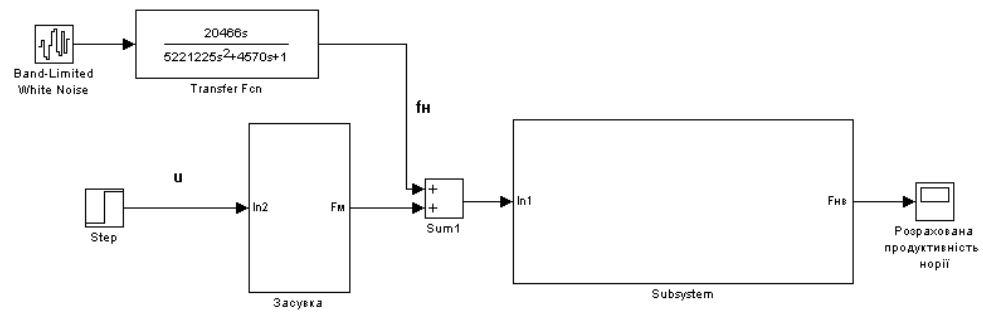


Рис. 2.19 – Схема моделювання повної моделі ОК

Проведемо з моделлю об'єкта експеримент. На вхід ОК подамо ступінчастий вхідний вплив використовуючи блок «Step». Порівняємо графіки повної моделі ОК з експериментальними даними.

Налаштування блоку Step:

- Step time: 0
- Initial value: 0
- Final value: 50

Параметри моделювання:

- Stop time: 35 000 sec
- Fixed step size: 0.1

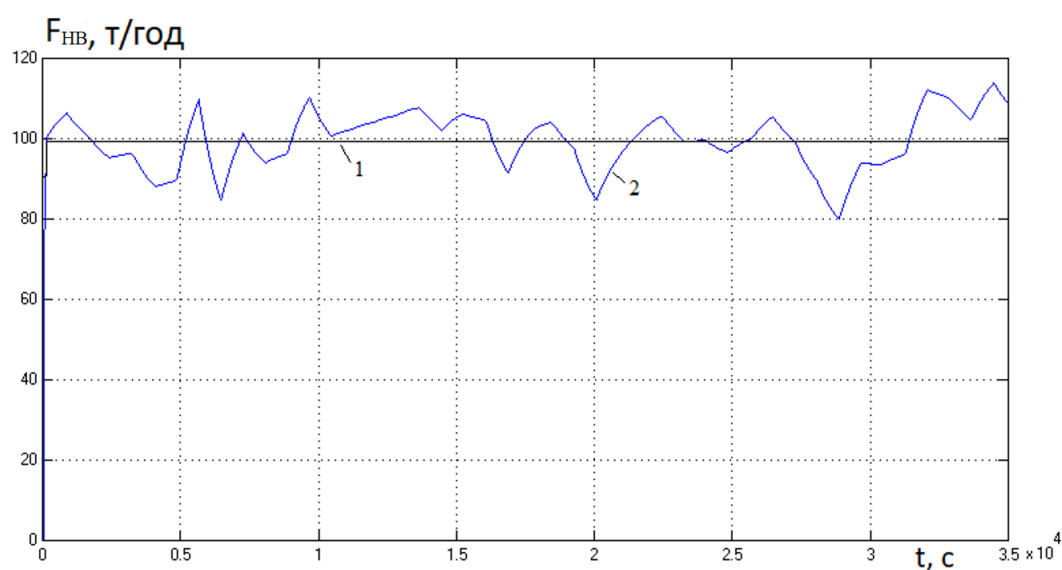


Рис. 2.20 – Результати тестування повної моделі ОК. 1 – експериментальні дані, 2 – модель

2.4 Реалізація математичних моделей у середовищі комп'ютерного імітаційного моделювання, проведення з ними комп'ютерних експериментів для обґрунтування їх адекватності об'єкту-оригіналу.

У цьому розділі дипломної роботи в пакеті Simulink середовища Матлаб для каналу «u1 – F_{нв}» ОК розробимо схему моделювання як для моделі 1-го, так і для моделі 2-го порядку.

Передаточна функція моделі 1-го порядку: $W_o(P) = \frac{2.93 \cdot e^{-59.4p}}{3.8p+1}$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК: $W_o(P) = \frac{2.93 \cdot e^{-57.4p}}{2.75p+1}$

Моделі мають один вхід, вихід моделей виводиться на графік в одній системі координат. В цю ж систему координат зводяться експериментальні дані. Для додавання в схему експериментальних даних попередньо підготовано експериментальні дані в табличному виді і реалізовано їх у компоненті Look-Up-Table. Для досліджуваного ОК експериментальні дані зведено в таблицю 2.1. Схема моделювання каналу управління ОК наведена на рис. 2.8. Результати моделювання наведені на рис. 2.9.

Таблиця 2.2 – Експериментальні дані

t, c	F _{нв} , т/год	t, c	F _{нв} , т/год
100	90.65	164	96.81
157	90.65	165	97.82
157.4	90.66	165.5	98.33
157.8	90.77	166	98.83
158.2	91	166.4	99.2
158.6	91.39	166.8	99.32
159	91.77	167.2	99.39
159.5	92.27	167.6	99.42
160	92.77	168	99.43
161	93.78	169	99.44

Продовження таблиці 2.2

t, с	F _{НВ} , т/год	t, с	F _{НВ} , т/год
162	94.79	170	99.44
163	95.79		

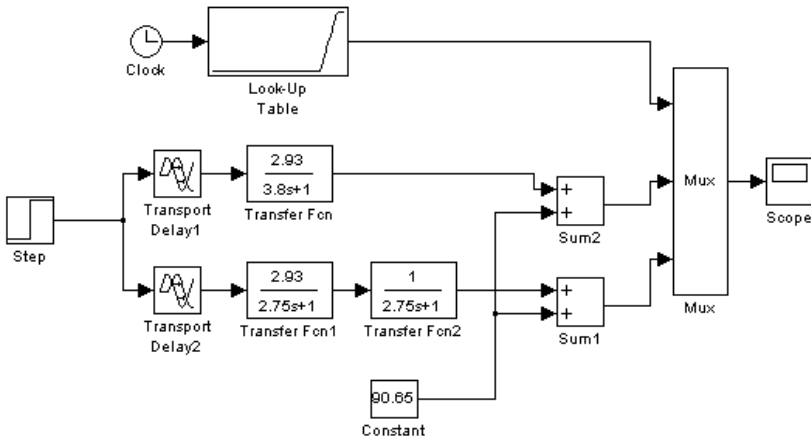


Рис. 2.21 – Схема моделювання каналу управління ОК

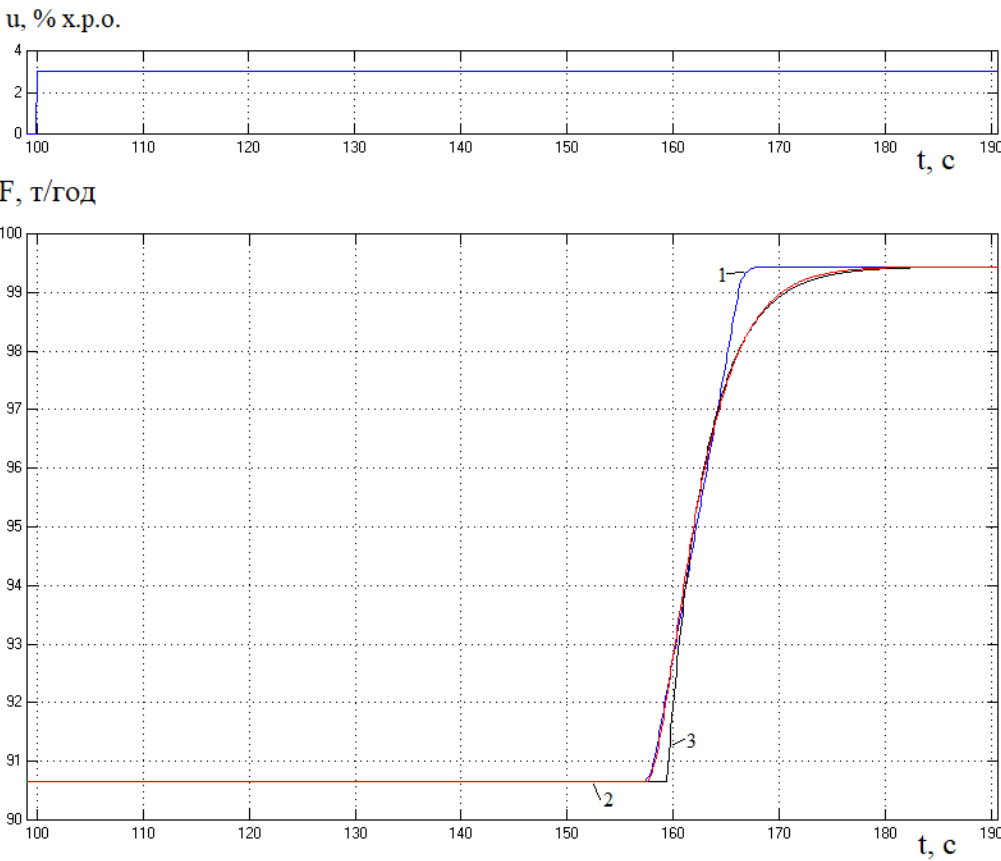


Рис. 2.22 – Результат моделювання ОК по каналу « $u_1 - F_{НВ}$ », 1 – експериментальний графік, 2 – модель 2-го порядку, 3 – модель 1-го порядку.

2.5 Висновки за розділом

В ході виконання цієї частини роботи було виявлено, що якісна реалізація технологічного процесу залежить від точності підтримки режимного параметра.

По усіх каналах об'єкт має статичні властивості і найточніше може бути описаний моделями першого порядку. Ідентифікація моделей каналів ОК, доступних для цілеспрямованої дії, застосовувався метод 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. Ідентифікація моделі каналу ОУ, недоступного для цілеспрямованої дії (канал контрольованого збурення), застосовувався спрощений метод, тобто так само методика двох загальних точок.

Відтворення отриманих моделей здійснювалося у середовищі імітаційного моделювання MATLAB.

Надалі отримані моделі використовуватимуться для синтезу і аналізу САР підвищеної динамічної точності ТП.

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

3.1 Конкретизація задач регулювання процесом керування перевантаженням зерна потоково-транспортною лінією елеватора.

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

Із загальної мети керування можна виділити окремі завдання:

Із загальної мети керування можна виділити приватні задачі:

- Підтримання вихідних змінних об'єкта керування ($F_{\text{НВ}}$) на їх заданому значенні ($F_{\text{НВ}}^{\text{ЗД}}$) - завдання регулювання.
- Пристосування в процесі роботи об'єкта керування до його мінливим властивостям - завдання адаптації;
- Забезпечення найкращих (оптимальних) у певному (заданому) сенсі режимів роботи об'єкта керування - завдання оптимізації;
- Забезпечити включення і відключення при пусках, зупинках, аварійних ситуаціях - завдання логічного керування.

Необхідно і доцільно автоматизувати кожен з завдань керування.

Для задачі регулювання автоматизація необхідна для автоматичного регулювання заданої змінної в околиці бажаного значення із заданою точністю без фізичної участі людини. Для якісної та економічно доцільною реалізації технологічного процесу транспортування зерна необхідно регулювати продуктивність норії та положення регулюючого органу.

Для задачі адаптації необхідна автоматизація пристосування в процесі роботи об'єкта керування до його мінливим властивостям, завданням. Розглянутий технологічний процес є об'єктом безперервної дії. Властивості продукту істотно впливають на динамічні властивості об'єкта. Але ці властивості в процесі роботи установки на тривалому інтервалі часу змінюються мало. Це

завдання можна вирішити, міняючи (коригуючи) настройки регуляторів в процесі роботи установки.

Для задачі оптимізації необхідно автоматизувати пошук оптимального проходження процесу, мінімізувати витрати енергії, брак продукції, збільшити продуктивність обладнання. Для процесу транспортування зерна це завдання можна вирішити, підвищивши вимоги до вирішення завдання регулювання. Головним джерелом підвищення економічної ефективності цього процесу є зниження енергетичних витрат на реалізацію технологічного процесу.

Процес транспортування зерна є об'єктом (процесом) безперервної 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 розглянутого технологічного процесу актуальна автоматизація завдання логічного керування.

Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів (див. таблицю 1.2) технологічний параметр продуктивності норії повинен підтримуватися на рівні $F_{\text{нв}}^{\text{зд}} = 100 \text{ т/год}$, з точністю $\pm 4,5$. За припустимі короточасні відхилення до ± 15 протягом часу не більше 120с. Регламентна зона за параметром наведена на рис. 3.1.

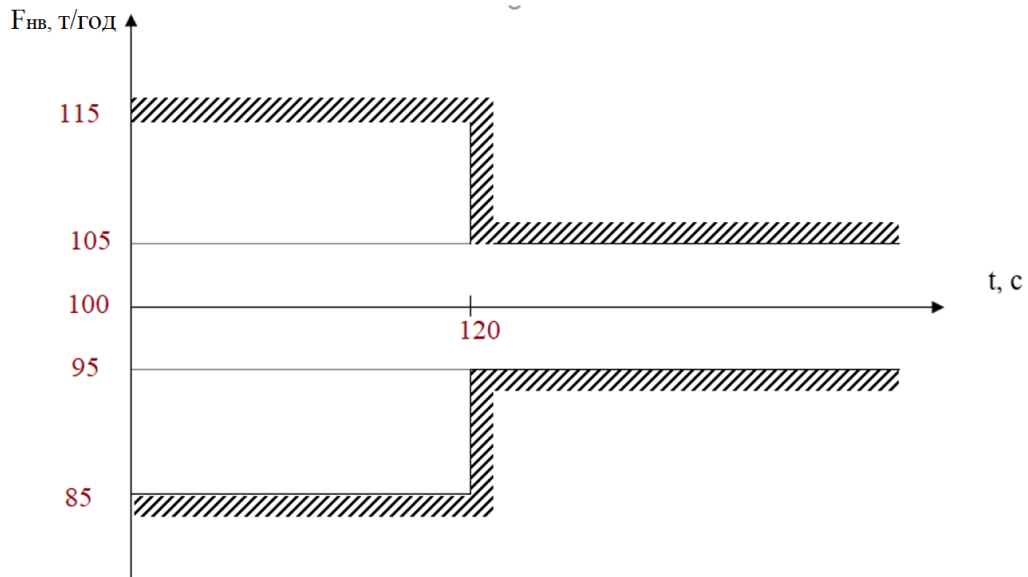


Рис. 3.1 – Регламентна зона для параметра $F_{нв}$

Основу керування становить інформація про мету керування або про бажаний стан ОК, про поточний стан ОК та про збурення. Залежно від обсягу використовуваної керуючим пристроєм інформації про ОК виділяють чотири принципи побудови САР: принцип розімкнутого жорсткого (програмного) керування; принцип розімкнутого керування по збурюванню; принцип замкнутого керування по стані ОК або керування зі зворотним зв'язком; комбінований принцип керування.

Для САР процесу транспортування зерна доступною, крім інформації про бажане стан ОК, є інформація про поточний стан ОК.

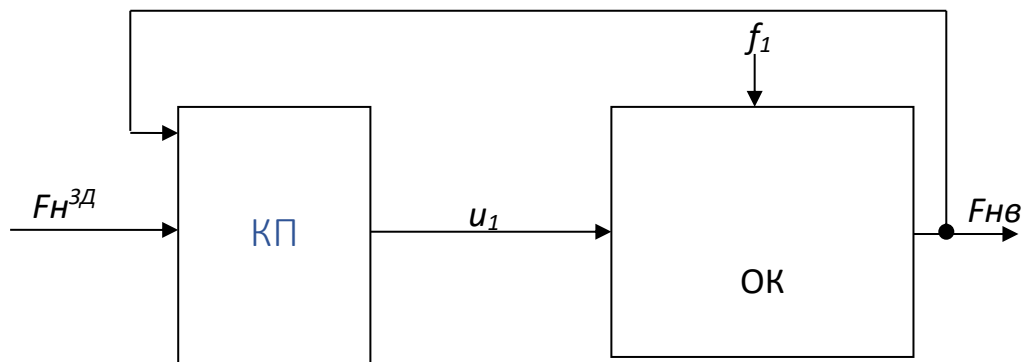


Рис. 3.2 – Структурна схема САР з замкнутим принципом керування

Такий обсяг інформації для формування керуючого впливу достатній для реалізації замкнутого принципу керування. Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР базової структури.

3.2. Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

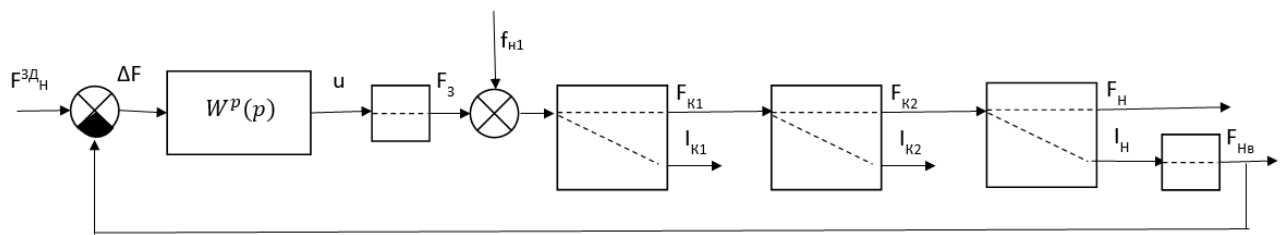


Рис. 3.3 – Структурна схема САР

Позначення на схемі:

u_1 - положення регулюючого органу подачі зерна

$F^{3Д}_H$ – задана продуктивність норії

ΔF – помилка регулювання

f_{H1} – вектор неконтрольованих збурень

F_{K1} – продуктивність конвеєра K1

F_{K2} – продуктивність конвеєра K2

F_{HB} – продуктивність норії

$W^p(p)$ – передаточна функція регулятора продуктивності норії

Процес відвантаження зерна по каналу керування має статичні властивості, тому в якості альтернативних варіантів алгоритмів регулювання обираємо пропорційно-інтегральний (ПІ) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання.

Рівняння руху ПІ-регулятора:

$$u(t) = K_P \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{I3}} \int_0^t \Delta y(t) dt \right) + u_0 \quad (3.1)$$

Передаточна функція ПІ-регулятора

$$W^P(p) = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{I3}p}\right) \quad (3.2)$$

Рівняння руху ПІД-Регулятора

$$u(t) = K_P \cdot \left(\Delta y(t) + \frac{1}{T_{I3}} \int_0^t \Delta y(t) dt + T_{уП} \frac{d\Delta y(t)}{dt} \right) + u_0 \quad (3.3)$$

Передаточна функція ПІД-Регулятора

$$W^P(p) = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{I3}p} + \frac{T_{уП}p}{0,2 \cdot T_{уП}p + 1}\right) \quad (3.4)$$

Для імітаційного моделювання САР з різними варіантами алгоритмів регулювання будемо застосовувати спеціалізоване середовище Simulink пакету Матлаб. Основу імітаційної моделі САР буде складати імітаційна модель ОУ, отримана раніше при виконанні минулих розділів курсової роботи.

Для одноканальної САР з ПІ-регулятором структурна схема моделювання матиме вигляд, наведений на рис. 3.4. Для одноканальної САР з ПІД-регулятором структурна схема моделювання матиме вигляд, наведений на рис. 3.5.

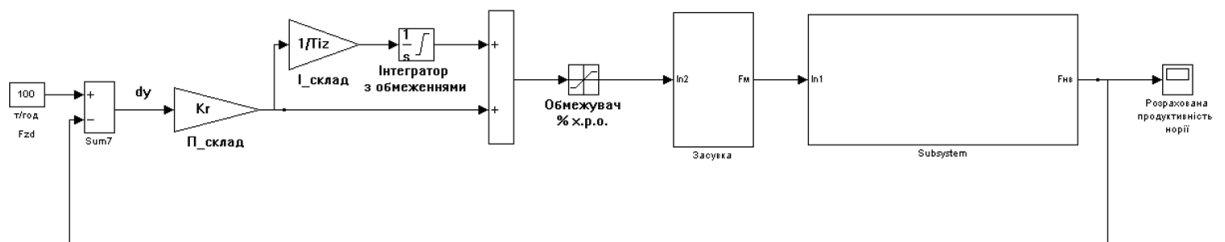


Рис. 3.4 – Структурна схема моделювання одноканальної САР з ПІ регулятором.

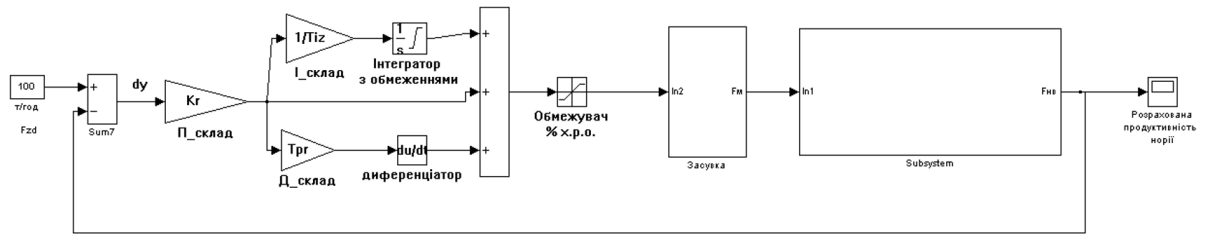


Рис. 3.5 – Структурна схема моделювання одноканальної САР з ПІД регулятором.

Розрахунок початкових наближень настроювальних параметрів алгоритмів регулятора виконуємо для моделі ОК 1-го порядку, за інженерною методикою з використанням формул Копеловича А. П.,. Тип регулятора – коливальний з 20% -П перерегулюванням.

Передаточна функція моделі 1-го порядку: $W_o(P) = \frac{2.93 \cdot e^{-59.4p}}{3.8p+1}$

1) Розробка структурної схеми одноканальної САР з ПІ-регулятором

Коефіцієнт передачі регулятора k_p розрахуємо за формулою:

$$k_p = \frac{0,8 \cdot T_0}{k_0 \cdot \tau_0} \quad (3.5)$$

$$k_p = \frac{0,8 \cdot 3.8}{2.93 \cdot 59.4} = 0,018$$

Час ізодрому регулятора T_{I3} розрахуємо за формулою:

$$T_{I3} = 2,5 \cdot \tau_0 \quad (3.6)$$

$$T_{I3} = 2,5 \cdot 59.4 = 148,5 \text{ с}$$

Проведемо тестування САР з розрахованими значеннями параметрів регулятора.

Час моделювання – 600 с;

Крок – 0.01 с;

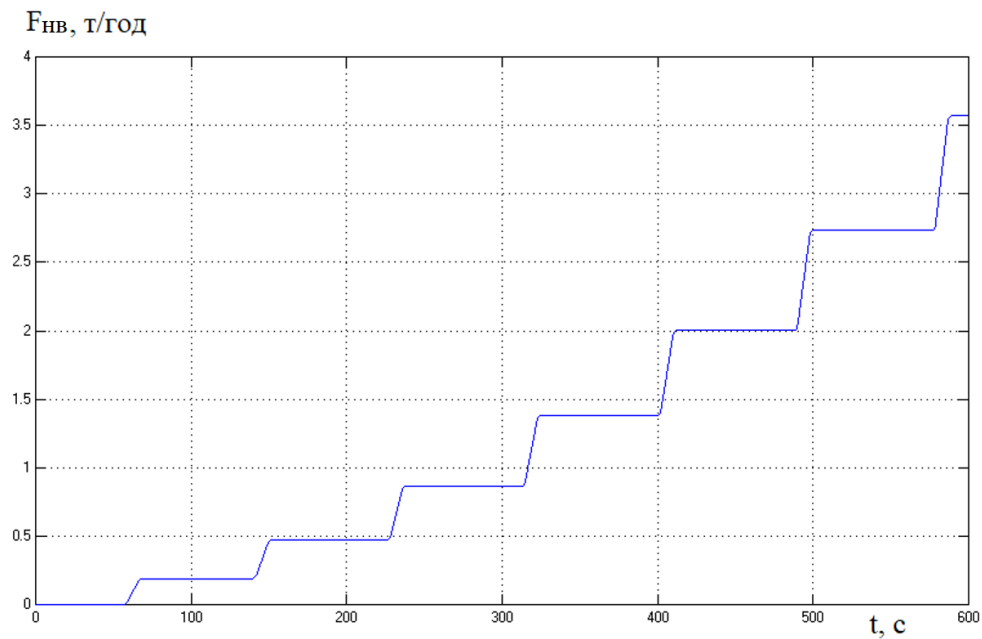


Рис. 3.6 – Результат тестування

На рис. 3.6 бачимо що на графіку час перехідного процесу набагато більший за час моделювання, що свідчить про замалий коефіцієнт передачі. Спробуємо експериментальним шляхом підібрати оптимальні параметри регулятора. Збільшимо П складову, що призведе до підвищення швидкодії системи та зменшимо І складову, що підвищить плавність перехідного процесу, це прискорить вихід ОК на робочий режим.

Експериментальним шляхом підібрані наступні параметри ПІ регулятора:

$$k_p = 0.148$$

$$T_{I3} = 40 \text{ с}$$

Проведемо тестування САР з експериментально встановленими значеннями параметрів регулятора.

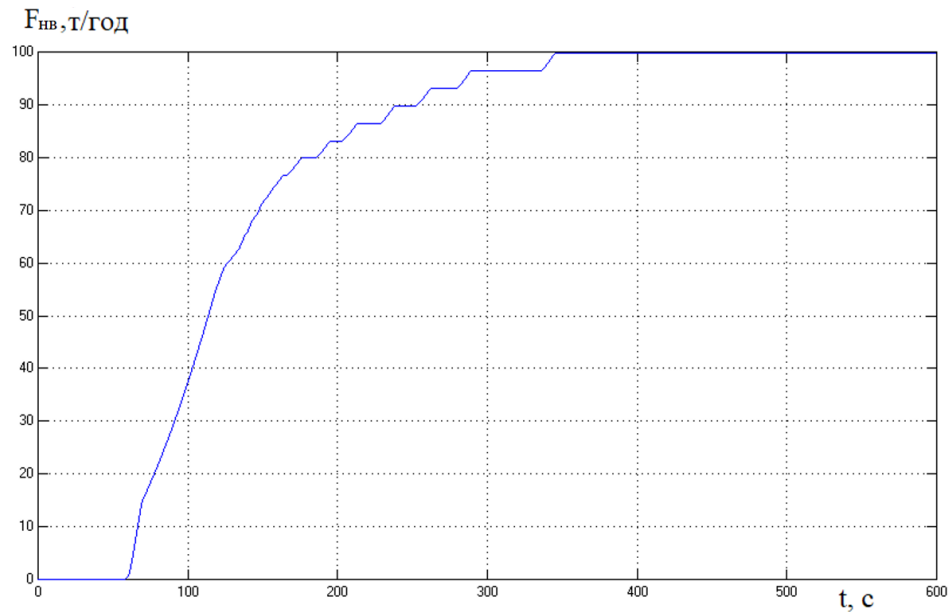


Рис. 3.7 – Результат тестування

На рис. 3.7 бачимо що перехідний процес стійкий. Можемо визначити час регулювання – приблизно 350 с

Проведемо оптимальний параметричний синтез САР в пакеті Simulink середовища Матлаб з використанням спеціалізованого програмного забезпечення, розробленого на кафедрі АВП ОНАХТ

Для оптимізації використовуємо параметри ОК альтернативної моделі 2-го порядку знайденої раніше. В якості початкових наближень використаємо настрювальні параметри регулятора знайдені експериментальним шляхом.

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК:
$$W_o(P) = \frac{2.93 \cdot e^{-57.4p}}{2.75p+1}$$

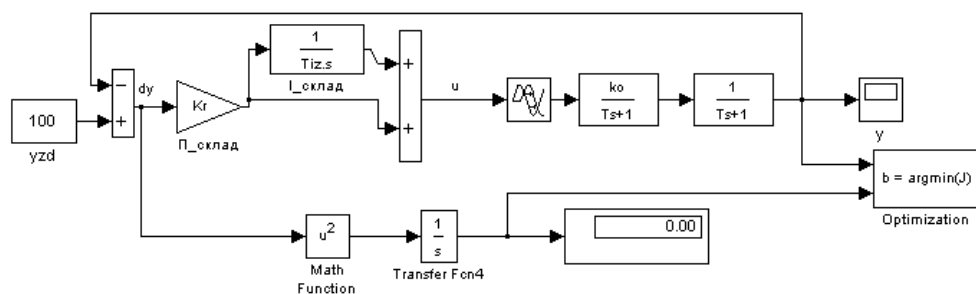


Рис. 3.8 – Схема моделювання для оптимального параметричного синтезу

Оптимізація проводиться за квадратичним критерієм оптимальності

Проведемо оптимізацію параметрів налаштувань ПІ регулятора:

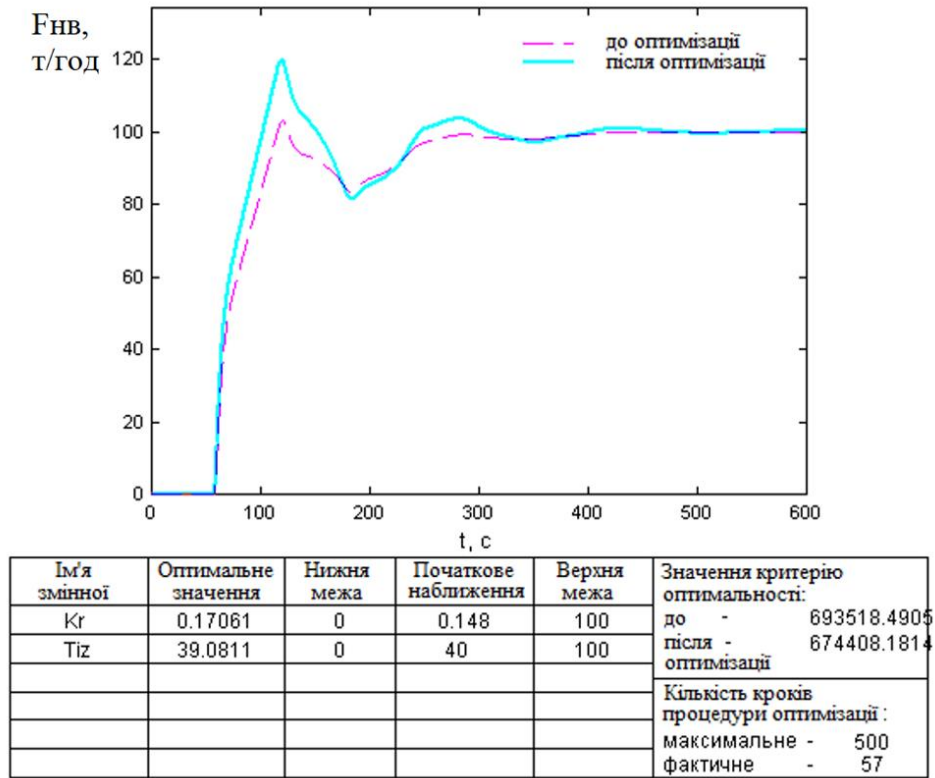


Рис. 3.9 – Результат оптимізації

k_p^*	T_{I3}^*, c
0,17	39

Виконаємо перевірку САР на грубість базової структури з -ПІ алгоритмом регулювання.

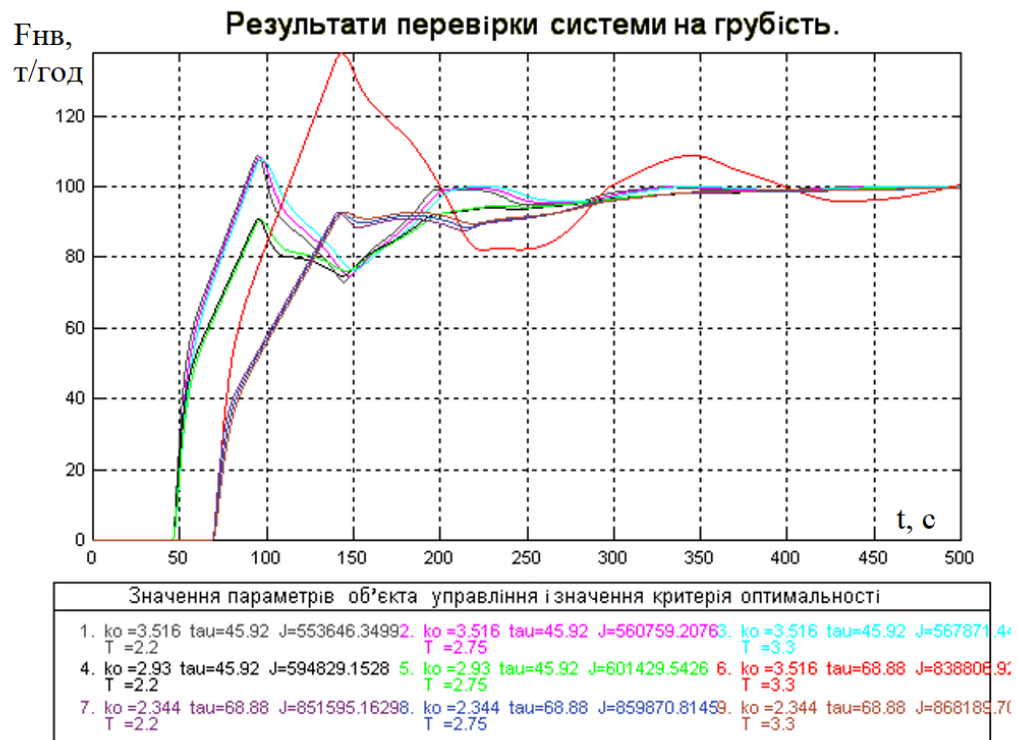


Рис. 3.10 – Результат перевірки на грубість САР базової структури з ПІ регулятором

2) Розробка структурної схеми одноканальної САР з ПІД-регулятором

Коефіцієнт передачі регулятора k_p розрахуємо за формулою:

$$k_p = \frac{1 \cdot T_0}{k_0 \cdot \tau_0} \quad (3.7)$$

$$k_p = \frac{1 \cdot 3.8}{2.93 \cdot 59.4} = 0,022$$

Час іздрому регулятора T_{I3} розрахуємо за формулою:

$$T_{I3} = 2 \cdot \tau_0 \quad (3.8)$$

$$T_{I3} = 2 \cdot 59.4 = 118,8 \text{ с}$$

Час попередження T_{II} розрахуємо за формулою:

$$T_{II} = 0.75 \cdot \tau_0 \quad (3.9)$$

$$T_{II} = 0.75 \cdot 59.4 = 44,55 \text{ с}$$

Проведемо тестування САР з експериментально встановленими значеннями параметрів регулятора.

Час моделювання – 600 с;

Крок – 0.01 с;

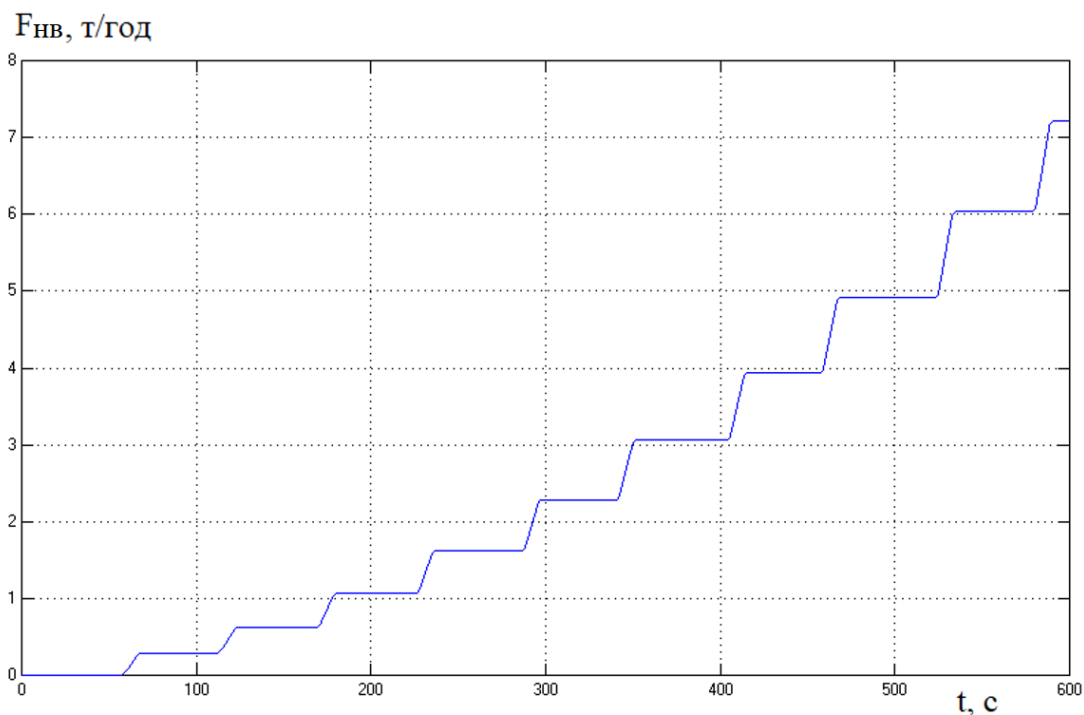


Рис. 3.11 – Результат тестування

На рис. 3.11 бачимо що на графіку час перехідного процесу набагато більший за час моделювання. Спробуємо експериментальним шляхом підібрати оптимальні параметри регулятора.

Експериментально підібрані параметри ПД регулятора:

$$k_p = 0.148$$

$$T_{I3} = 40 \text{ с}$$

$$T_{\Pi} = 4 \text{ с}$$

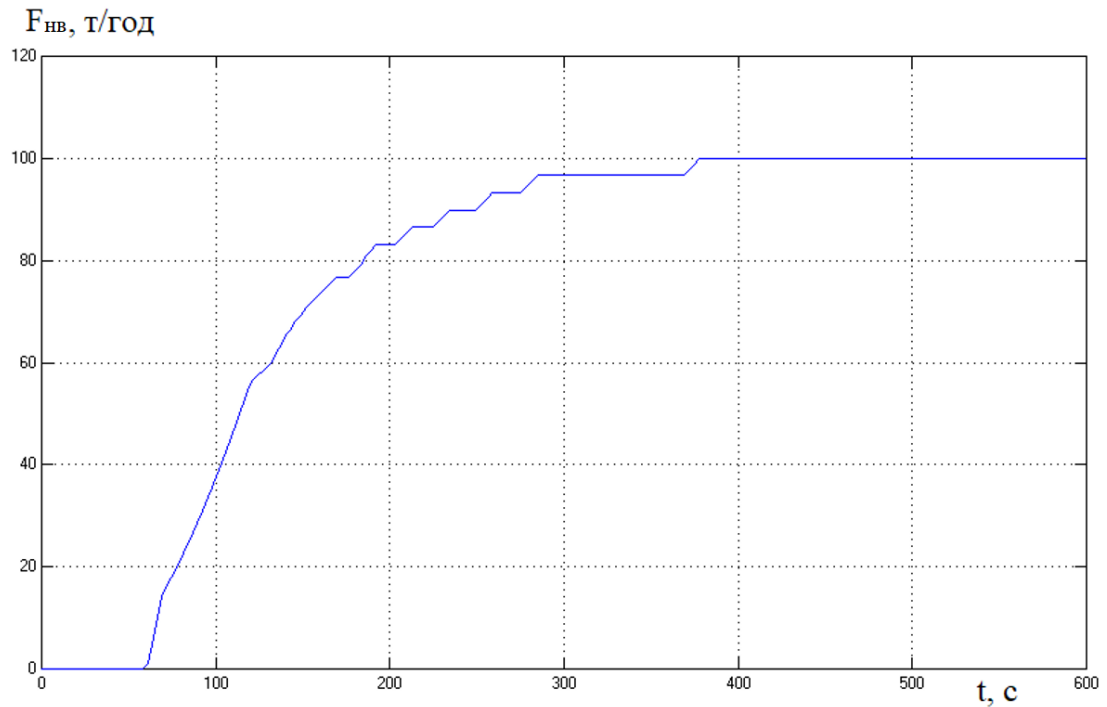


Рис. 3.12 – Результат моделювання

На рис. 3.12 бачимо бачимо що перехідний процес стійкий, час регулювання ≈ 380 с. Проведемо оптимальний параметричний синтез САР. В якості початкових наближень використаємо експериментально знайдені настроювальні параметри.

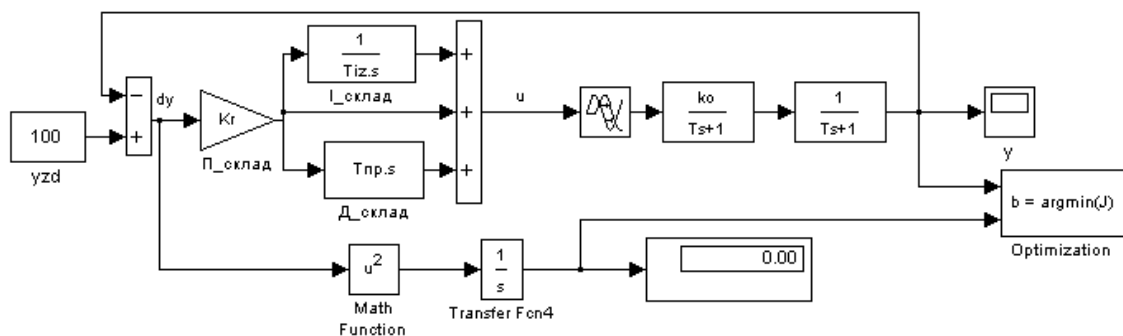


Рис. 3.13 – Схема моделювання для оптимального параметричного синтезу

Оптимізація проводиться за квадратичним критерієм оптимальності

Проведемо оптимізацію параметрів налаштувань ПД регулятора:

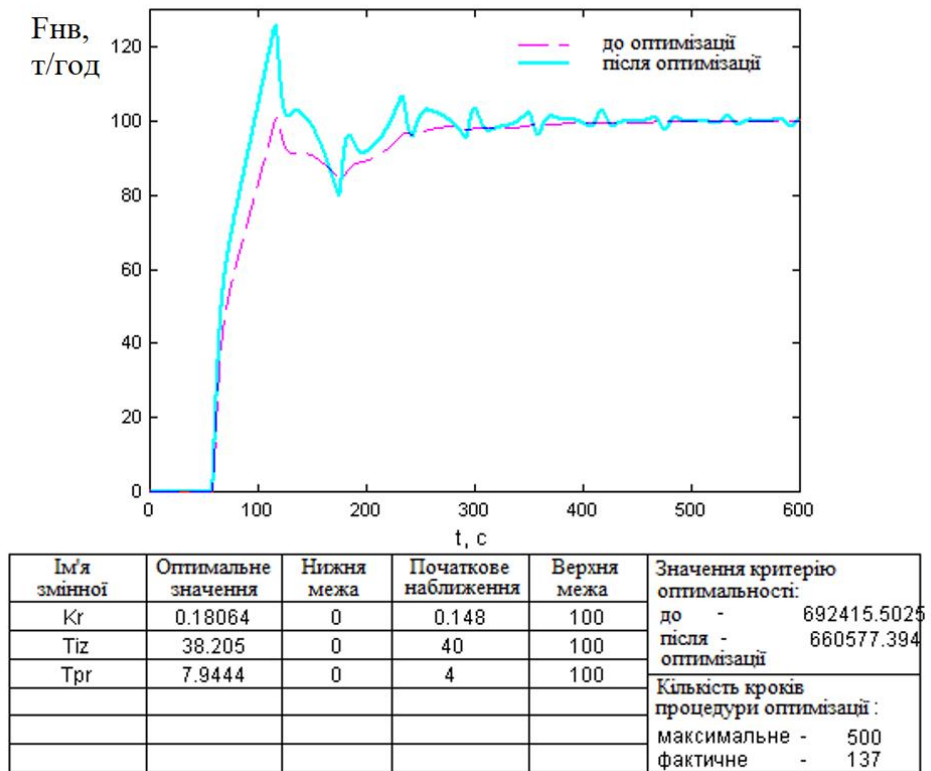


Рис. 3.14 – Результат оптимізації

$k_p^{\text{опт}}$	$T_{\text{ІЗ}}^{\text{опт}}, \text{с}$	$T_{\text{П}}^{\text{опт}}, \text{с}$
0,181	38,21	7,94

Виконаємо перевірку САР на грубість базової структури з -ПІД алгоритмом регулювання.

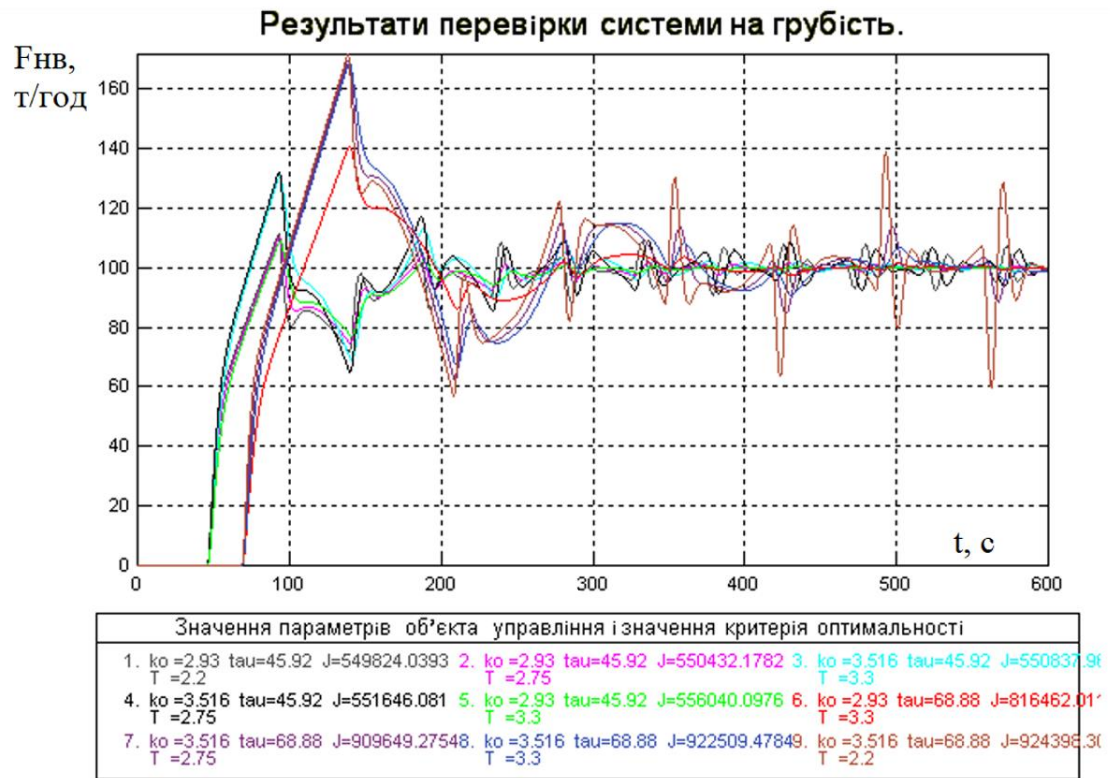


Рис. 3.15 – Результат перевірки на грубість САР базової структури з ПД регулятором

Для порівняння САР з ПІ- та ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.17. Порівняння будемо проводити за прямими показниками якості – часом перехідного процесу та інтегральним показником.

Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 3.18 і в таблиці 3.1

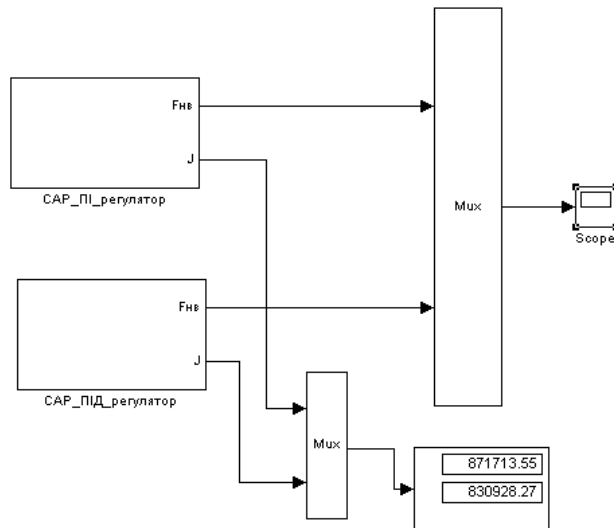


Рис. 3.16 – Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

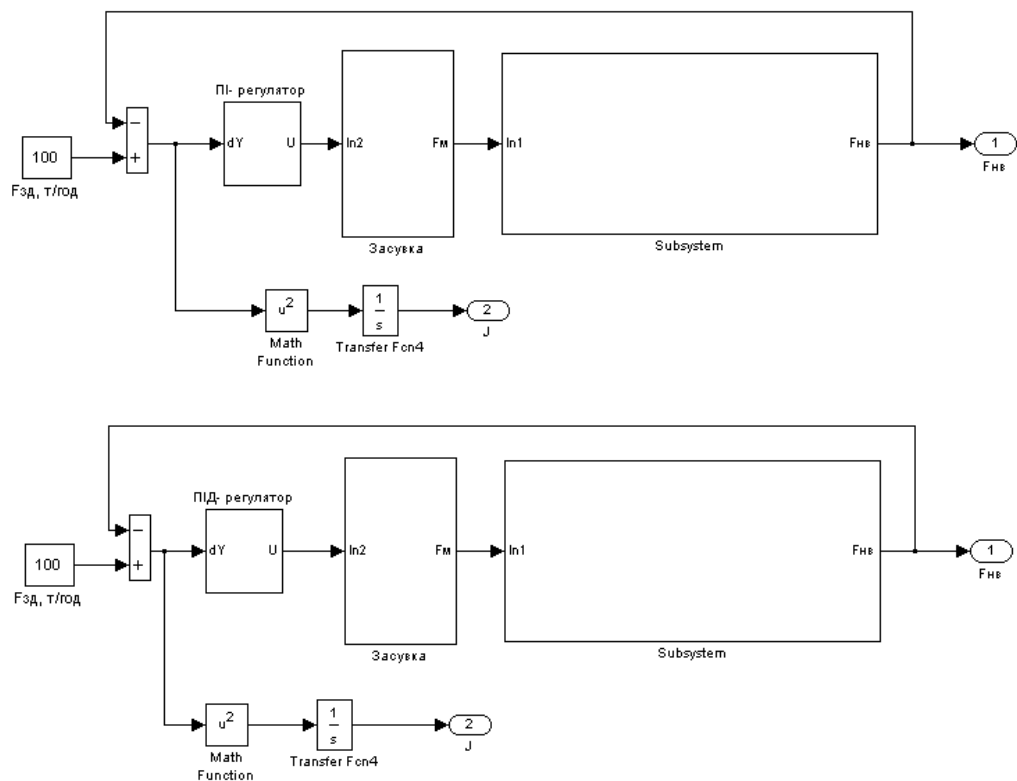


Рис. 3.17 (закінчення) – Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

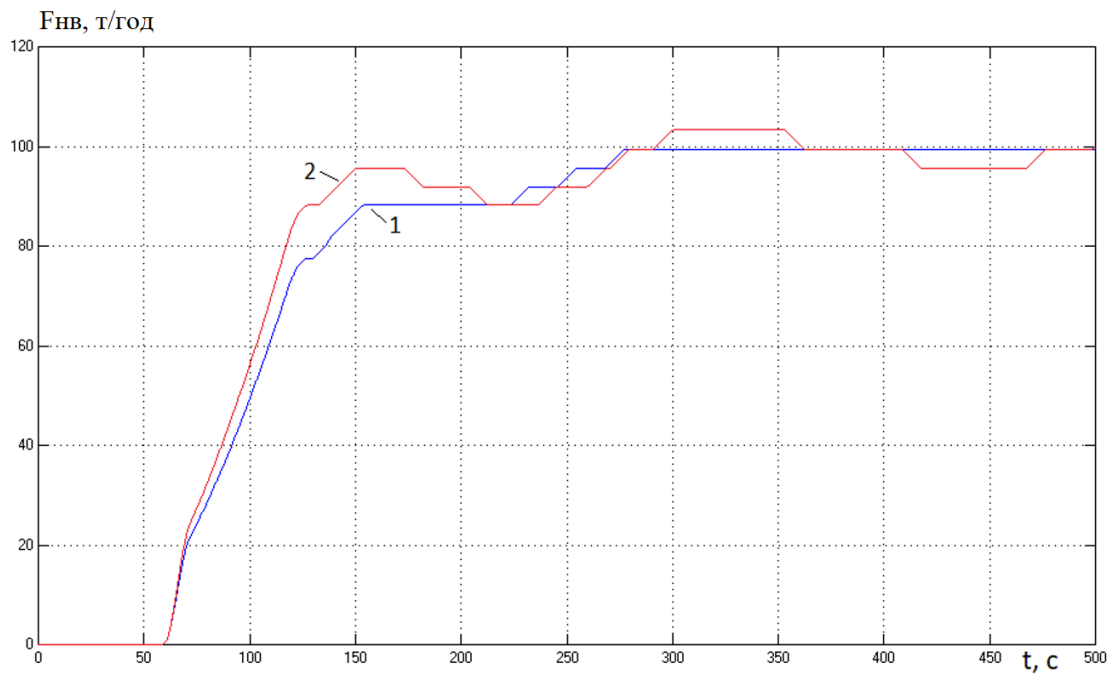


Рис. 3.18 – Результат порівняння варіантів САР: 1 – САР з ПІ-регулятором, 2 – САР з ПІД-регулятором

Таблиця 3.1 – Результати порівняння варіантів САР з ПІ та ПІД регулятором

Алгоритм регулювання	Час регулювання $t_{\text{рег}}$, с	Критерій
ПІ	278	871 713,6
ПІД	280	830 928,3

З результатів моделювання бачимо, що САР з ПІ алгоритмом регулювання має кращий час регулювання, але гірший інтегральний (квадратичний) показник якості в порівнянні з САР з ПІД регулятором. Проте -Д складова ПІД регулятора збільшує коливання перехідного процесу, таким чином робить систему менш стійкою. Тому доцільно або робити -Д складову мінімальною або використовувати ПІ регулятор.

Отже, коливання продуктивності є небажаними, бо можуть призводити до періодичного перевантаження норії і зниження ресурсу обладнання, тому надалі будемо використовувати ПІ алгоритм регулювання.

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

3.3.1 Аналіз особливостей об'єкта регулювання

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

У нашому випадку основною причиною недостатньої динамічної точності САР є запізнення ОК. Основним шляхом підвищення динамічної точності саме розглянутої САР є побудова САР з компенсацією запізнення.

3.3.2 Розробка структурної схеми САР підвищеної динамічної точності

В основу підвищення динамічної точності та якості перехідних процесів системи автоматичного регулювання (САР) об'єкта з великим чистим запізненням буде покладено принцип компенсації запізнення за допомогою предиктора Сміта (Smith predictor). Суть цього методу полягає у введенні паралельного каналу прогнозування поведінки об'єкта без запізнення та подальшій корекції керуючого впливу з урахуванням реального транспортного запізнення.

Відповідно до принципу компенсації запізнення, структурна схема САР з предиктором Сміта матиме вигляд, наведений на рис. 3.19

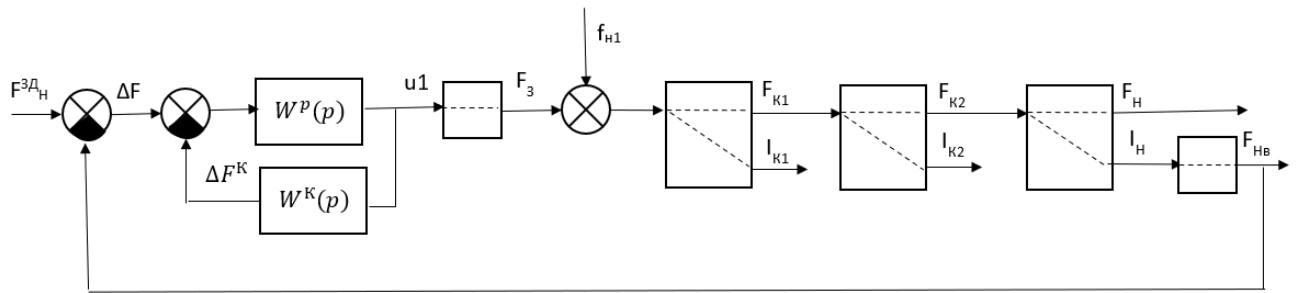


Рис. 3.19 – Структурна схема САР підвищеної динамічної точності

Позначення на схемі:

$u1$ - положення регулюючого органу подачі зерна

$F^{3Д}_H$ – задана продуктивність норії

ΔF – помилка регулювання

F_3 – продуктивність засувки

f_{H1} – вектор неконтрольованих збурень

F_{K1} – продуктивність конвеєра K1

F_{K2} – продуктивність конвеєра K2

F_H – продуктивність норії

$W^P(p)$ – передаточна функція регулятора

$W^K(p)$ – передаточна функція коригуючого зв'язку

F_{HB} - вирахована за струмом продуктивність норії.

3.3.3 Виведення передаточної функції коригуючого зв'язку для САР з прогнозуванням вільного руху

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК: $W_o(P) = \frac{2.93 \cdot e^{-57.4p}}{(2.75p+1)^2}$

Передатна функція коригувального зв'язку:

$$W^K(p) = (1 - e^{-\tau_{uy}p})W_{uy}^{o'}(p) \quad (3.10)$$

$W_{uy}^{o'}(p)$ – передатна функція об'єкту, з якої виключено запізнення

$e^{-\tau_{uy}p}$ – передаточна функція запізнення

Підставимо значення: $W^K(p) = (1 - e^{-0.8p}) \frac{2}{(2.75p+1)^2}$

3.3.4 Розробка структурної схеми цифрового імітаційного моделювання і параметричний оптимальний синтез САР підвищеної динамічної точності

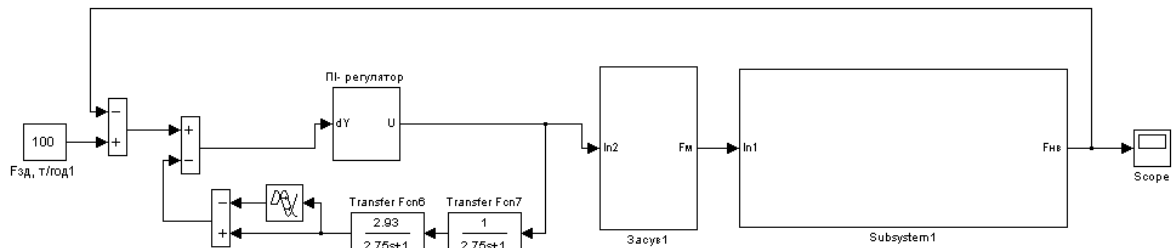


Рис. 3.20 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності

Експериментальним шляхом підібрали найбільш оптимальні значення параметрів регулятора:

$$k_p = 0.24$$

$$T_{I3} = 7.2 \text{ с}$$

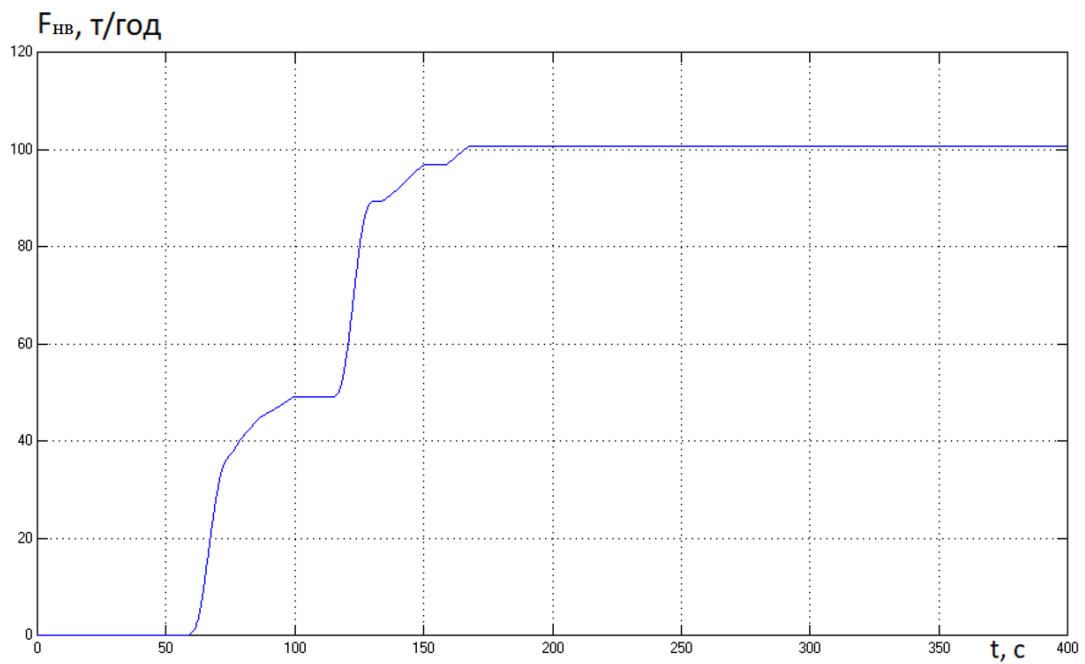


Рис. 3.21 – Результат моделювання

Виконаємо перевірку на грубість САР підвищеної динамічної точності.

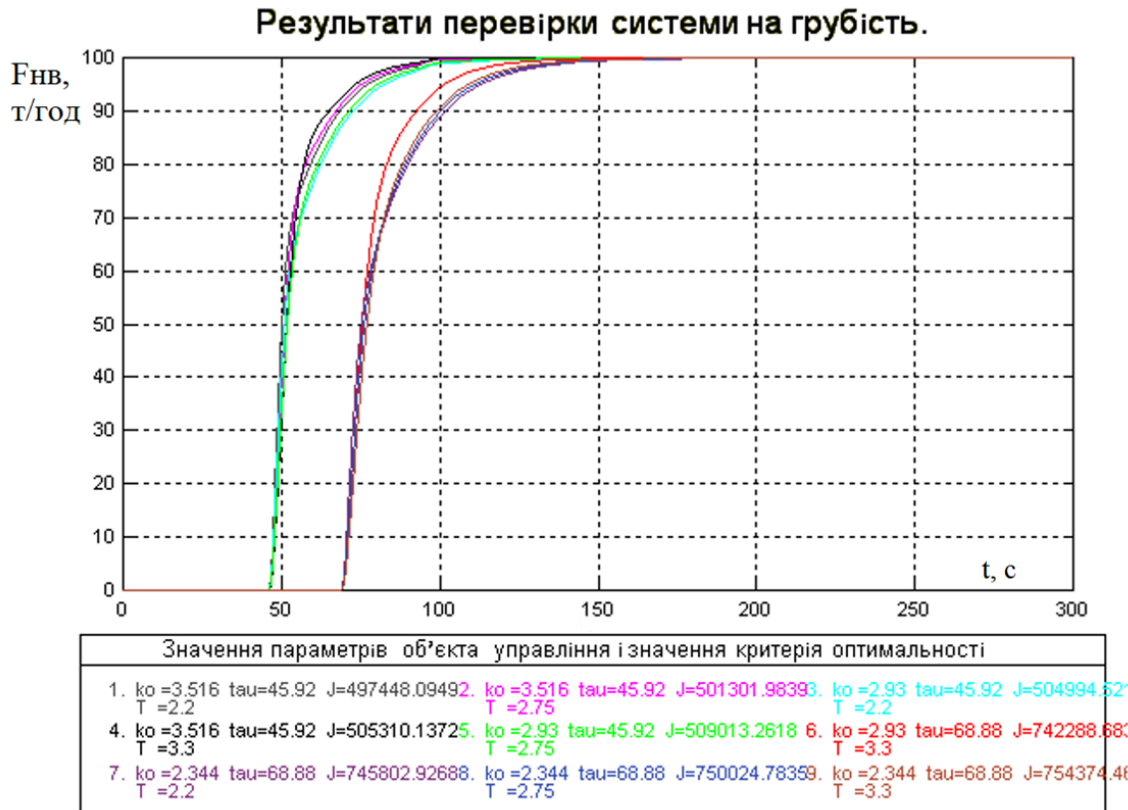


Рис. 3.22 – Результат перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість

Схема порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності наведена на рис. Порівняння проводиться при експериментально встановлених оптимальних параметрах налаштувань регулятора.

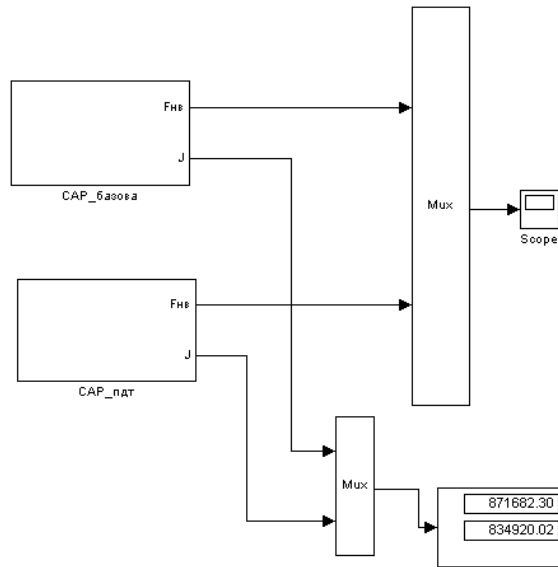


Рис. 3.23 – Схема моделювання порівняння CAP базової структури і CAP підвищеної динамічної точності

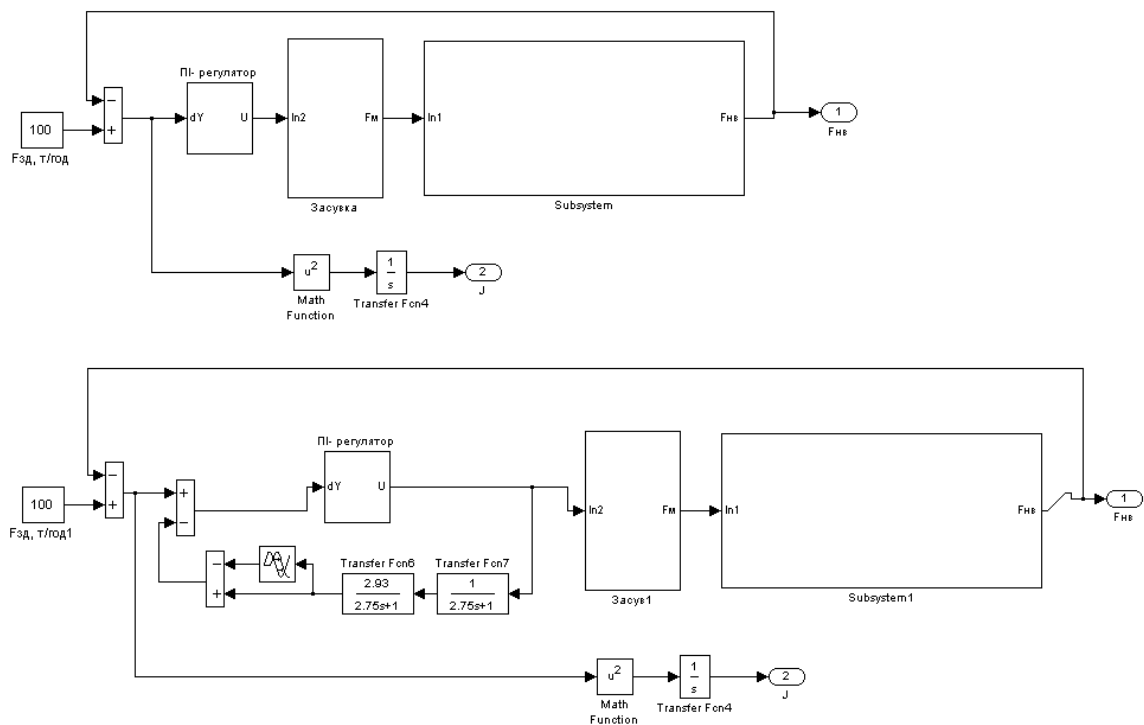


Рис. 3.24 (закінчення) – Схема моделювання порівняння CAP базової структури і CAP підвищеної динамічної точності

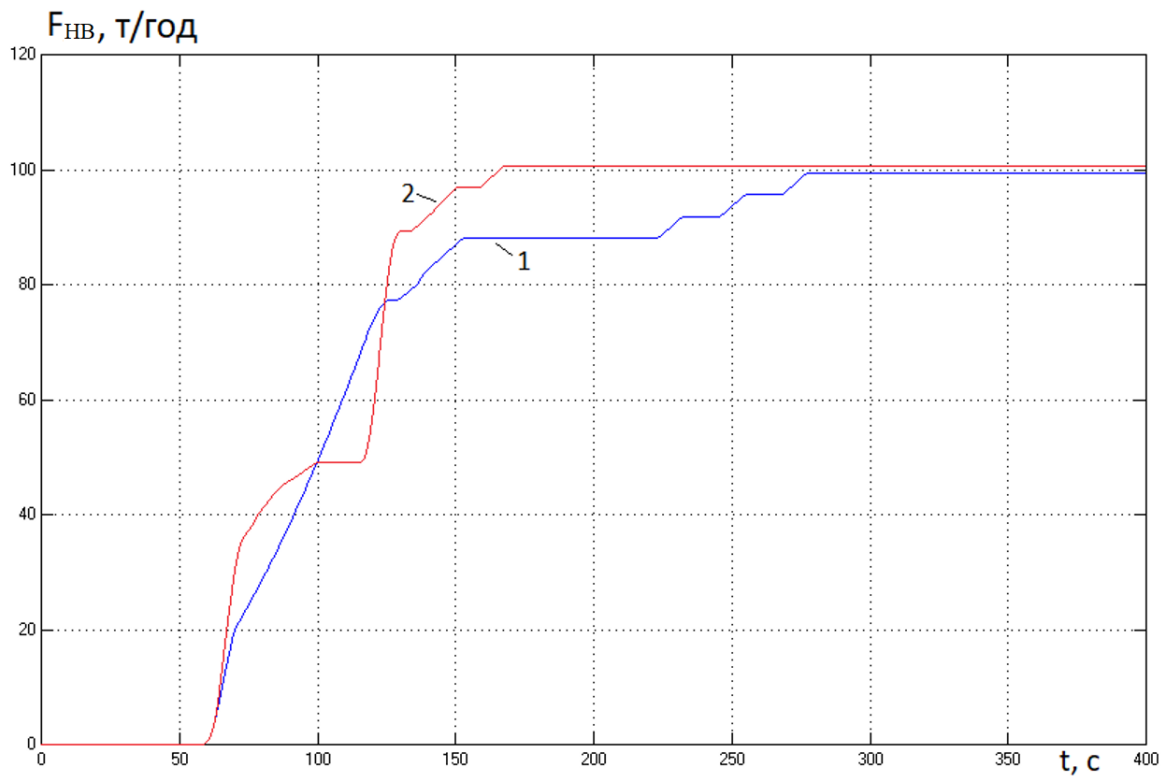


Рис. 3.25 – Результат моделювання порівняння САР базової структури (1) і САР підвищеної динамічної точності (2).

Таблиця 3.2 – Результати порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

Структура САР	Час регулювання $t_{\text{рег}}$, с	Інтегральний критерій
Базова	280	871 682
Підвищеної динамічної точності	170	834 920

Проведемо експеримент з повною моделлю ОК та порівняємо якість САР під дією неконтрольованих збурень.

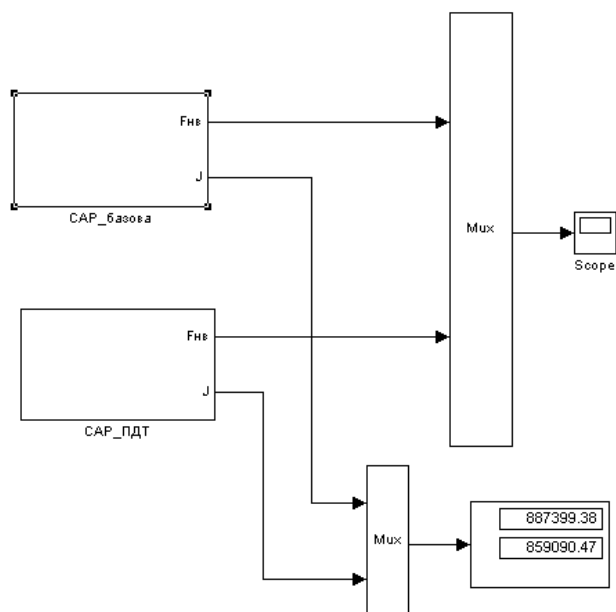


Рис. 3.26 – Схема моделювання порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

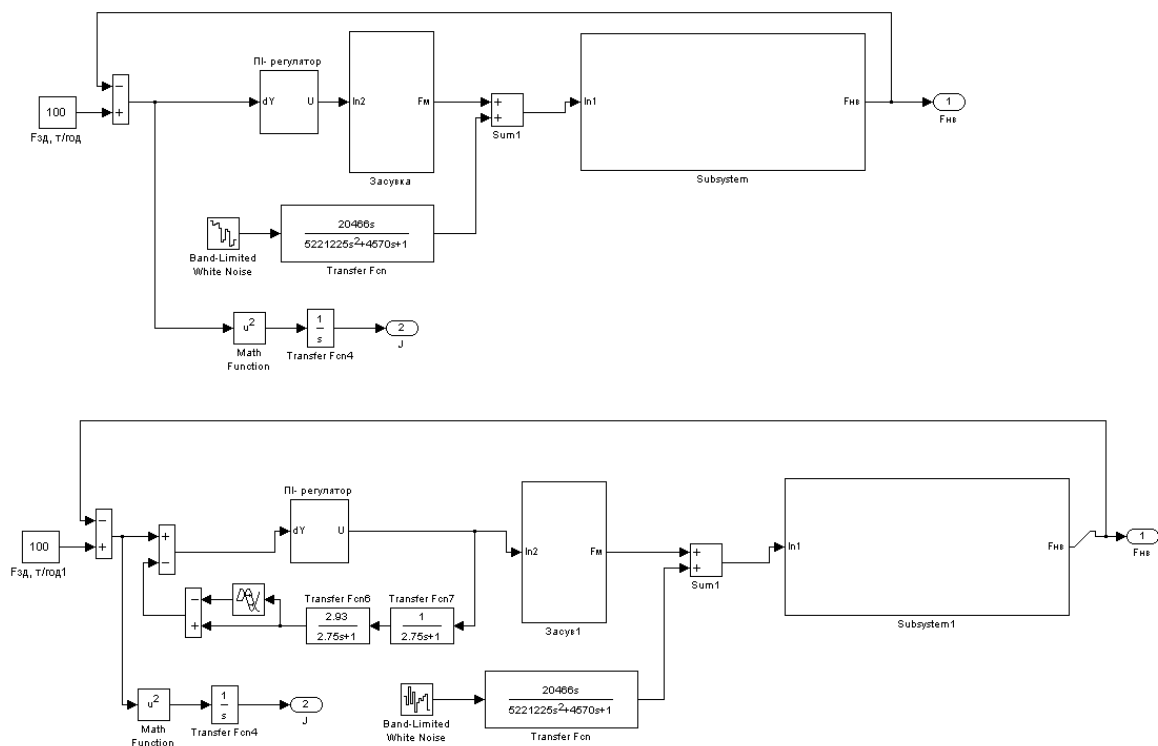


Рис. 3.27 (закінчення) – Схема моделювання порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

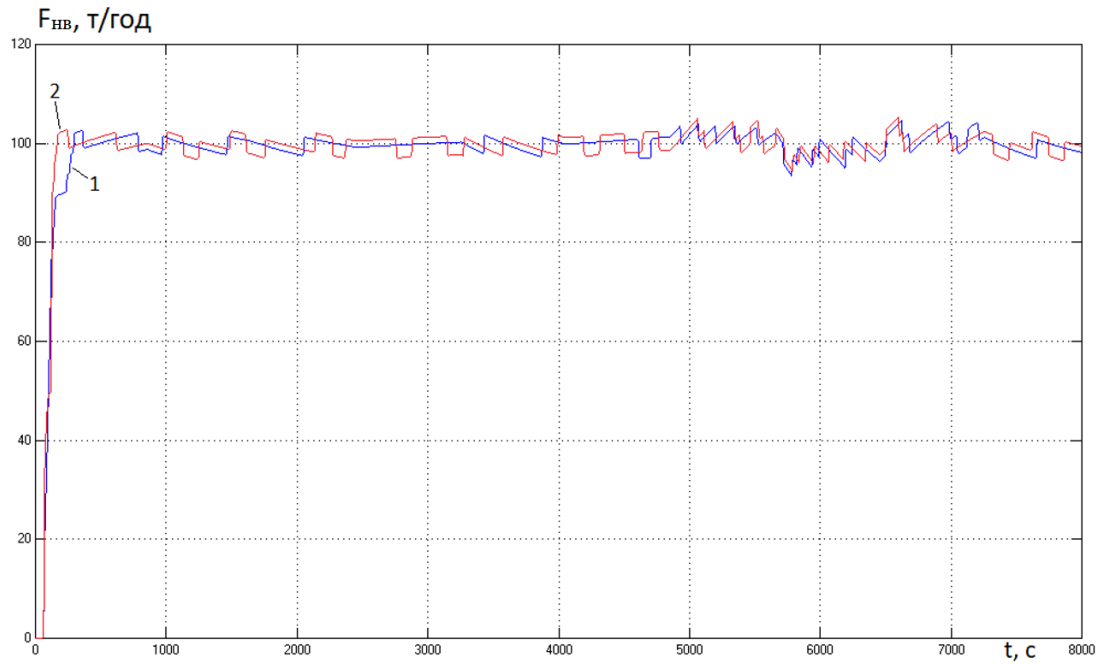


Рис. 3.28 – Результат моделювання порівняння повної моделі САР базової структури (1) і повної моделі САР підвищеної динамічної точності (2)

Для порівняння якості роботи в сталих режимах САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності розроблено структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.29. Результати порівняння наведені на рис. і в таблиці 3.3.

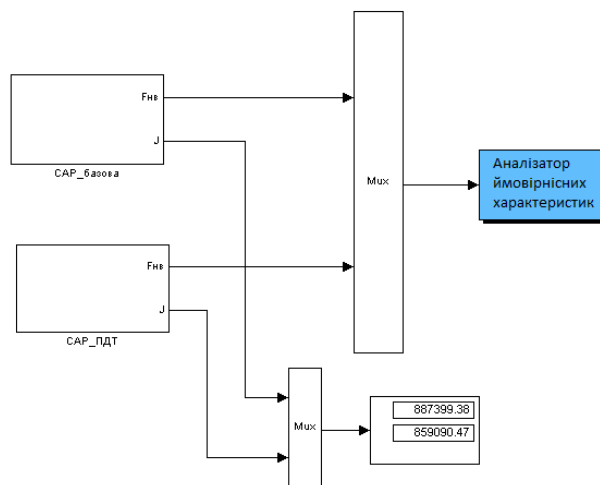
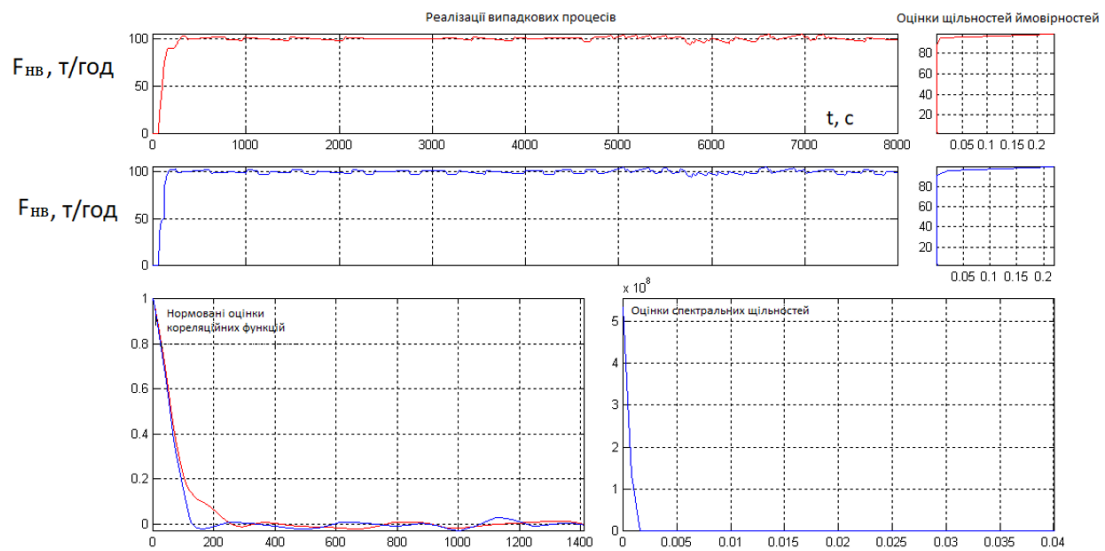


Рис. 3.29 – Структурна схема моделювання для порівняння якості роботи в сталих режимах САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності



Числові оцінки по всьому інтервалу моделювання	Номер процесу	
	1	2
Оцінка середнього значення (математичного очікування)	98.5	98.7
Оцінка середньоквадратичного відхилення	10.4	10.3
Оцінка середньоквадратичного періода/частоти	470.6 / 0.013	313.7 / 0.02

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

Таблиця 3.3 – Результати порівняння якості роботи в сталих режимах САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності

Показники якості	Структура САР	
	Базова	ПДТ
Математичне очікування	98,5	98,7
Середньоквадратичне відхилення	10,4	10,3
Середньоквадратичний період	470,6	313,7
Частота	0,013	0,02
Інтегральний критерій	887 399	859 091

3.4 Висновки за розділом

Сформульовано гранично допустимі вимоги до якості регулювання технологічних параметрів процесу транспортування зерна, котрі представлені на рисунках схем підтримання регламентованих параметрів.

На основі математичних моделей, отриманих у попередньому розділі, проведено синтез САР базової структури та досліджено її динамічні характеристики. Було проведено порівняння САР базової структури з ПІ- та ПІД алгоритмами регулювання. ПІ- регулятор виявився кращим по показникам якості регулювання, тому надалі ПІ- алгоритм використовується як базовий алгоритм керування. Встановлено, що об'єкт керування характеризується значним транспортним запізненням, яке суттєво погіршує якість регулювання.

Для зменшення впливу запізнення ОК було розроблено систему автоматичного регулювання підвищеної динамічної точності з компенсацією запізнення. Виконано структурний синтез САР ПДТ.

Результати моделювання показали, що використання САР підвищеної динамічної точності забезпечує суттєве покращення показників якості регулювання порівняно з базовою структурою

РОЗДІЛ 4. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ І РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ АВТОМАТИЧНОГО ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЮ ДІЛЯНКОЮ

4.1 Аналіз існуючого рівня реалізації функцій логічного (логіко-програмного) керування технологічною ділянкою та модернізація комплексу технічних засобів для автоматизації цих функцій

Перед пуском ПТЛ виконують підготовчі операції: огляд конвеєрів, норії, перевіряється стан бункерів на відсутність залишків, засмічення, перевіряється готовність приймального обладнання. Виконується автоматична самодіагностика на відсутність аварійних сигналів, активних блокувань, перемикачі в дистанційному режимі.

Перевантаження зерна із силосу здійснюється самопливом через центральну засувку яка подає зерно на розвантажувальні конвеєри стрічкового типу для горизонтального транспортування до приймального пристрою – норії. Норія забезпечує вертикальне переміщення продукту до необхідного рівня, після чого матеріал подається до бункерних ваг для зважування та відвантаження матеріалу на залізничний або автомобільний транспорт. Для зачистки залишків зернової маси після розгрузки силосу слугує шнековий транспортер, розташований на плоскій поверхні.

Для реалізації алгоритмів логічного керування ПТЛ, у тому числі для контролю та захисту роботи лінії, на об'єкті використовують: сигналізатори рівня зерна у силосах та башмаку норії, датчики струму для контролю завантаження ТА, датчики обриву стрічок конвеєрів та норії.

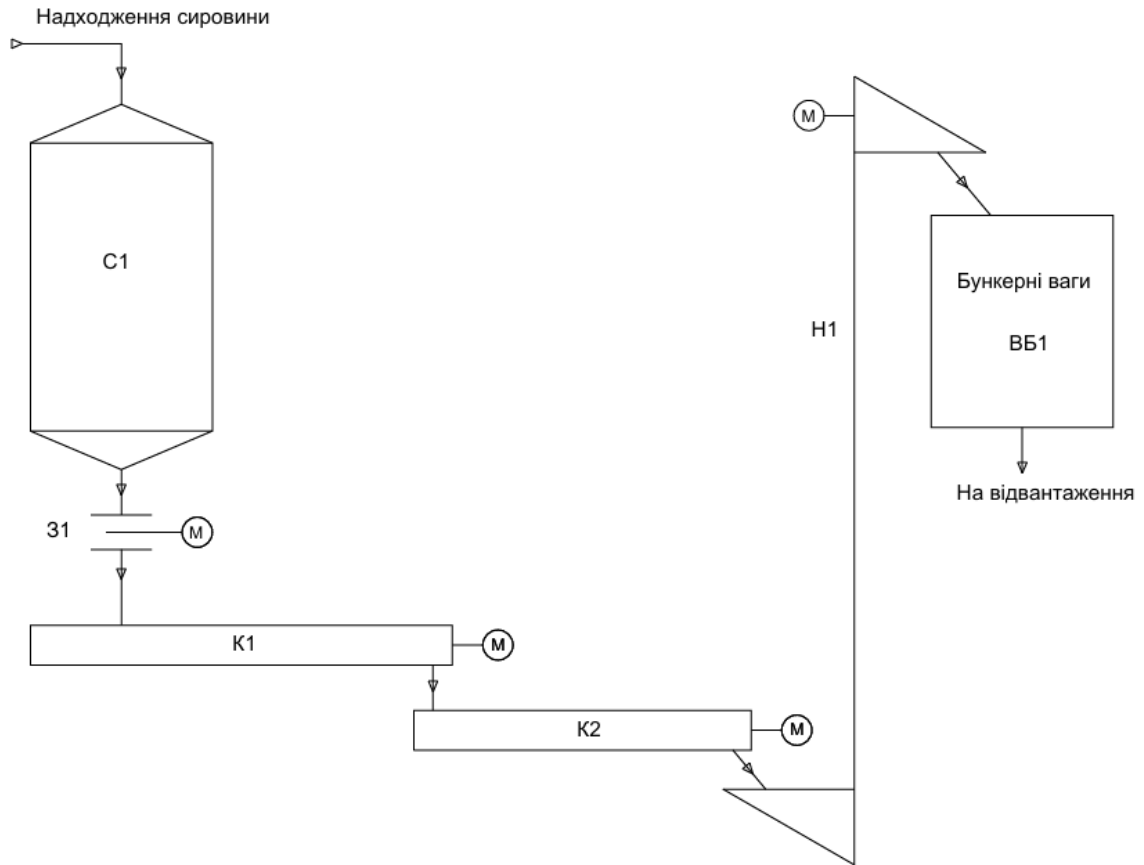


Рис. 4.1 – Технологічна схема ділянки ТП для можливості реалізації функцій логічного керування

4.2 Формалізація регламентів функціонування технологічної ділянки при технологічному пуску, технологічній зупинці, блокування передаварійних ситуацій та аварійній зупинці технологічного процесу у вигляді блок-схем та їх опис

Призначення підсистеми технологічного пуску ТА – це забезпечення безпечного, послідовного включення обладнання ПТЛ. Принцип побудови системи – комбінований: розімкнута (жорстка) частина за часом (таймери витримки для розкрутки конвеєрів/норії) + замкнута частина (контроль стану датчиків швидкості та відсутності підпору перед кожним кроком). Це забезпечує безпеку та запобігає накопиченню зерна.

Технологічний пуск ПТЛ здійснюється наступним чином. Системою виконується перевірка умов, необхідних для пуску. Якщо необхідні вимоги виконуються, вмикається передпускова звукова сигналізація, що попереджує технічний персонал про запуск обладнання та дає час відійти від небезпечної зони. Далі для запобігання завалів, пуск виконується в зворотному до руху сипучого матеріалу порядку. Між пуском окремих механізмів ПТЛ робиться витримка часу для забезпечення виходу обладнання на номінальний режим роботи. Нижче на рис. 4.2 наведена блок-схема регламенту на технологічний пуск ТА.



Рис. 4.2 – Блок-схема регламенту на технологічний пуск

Призначення підсистеми технологічної зупинки ТА – забезпечення послідовного вимкнення та розвантаження без завалів обладнання ПТЛ. Принцип побудови системи - жорсткий (розімкнутий за станом), система програмна за часом (таймери витримки для очищення конвеєрів/норії).

Зупинка здійснюється у напрямку руху сипучого матеріалу. Між вимкненням окремих механізмів ПТЛ робиться витримка часу для виходу залишків зерна з обладнання. Нижче на рис. 4.3 наведена блок-схема регламенту на технологічну зупинку ТА.



Рис. 4.3 – Блок-схема регламенту на технологічну зупинку.

Призначення підсистеми блокування передаварійних ситуацій – запобігання перевантаженню норії, автоматичне зменшення або закриття

засувки при наближенні продуктивності норії до критичного рівня. Принцип побудови системи – замкнутий, використовує інформацію про струм I_n (продуктивність $F_{нв}$) та сигнал датчика підпору для коригування положення засувки

Призначення підсистеми аварійної зупинки – негайне відключення обладнання при виникненні аварійної ситуації: обрив, схід або прослизання стрічки транспортера, завал башмаку норії. Принцип побудови системи – жорсткий (розімкнутий за станом) принцип з пріоритетом: миттєве відключення при спрацюванні будь-якого захисного датчика, незалежно від поточного режиму.

4.3. Розробка алгоритмів автоматичного керування: технологічним пуском та зупинкою, блокуванню передаварійних ситуацій та аварійної зупинки технологічної ділянки у вигляді блок-схем та їх опис

У відповідності до регламенту рис. 4.2 пуск ПТЛ відвантаження зерна здійснюється згідно з алгоритмом автоматичного керування, наведеним на рис. 4.4.

Перевірка умов, необхідних для пуску включає в себе перевірку шести умов: рівень зерна в силосі повинен бути на робочому рівні ($L_{c1} > L_{c1p}?$), рівень зерна в бункері повинен бути менше робочого ($L_{b1} < L_{b1p}?$), не повинно бути завалу в башмаку норії, рівень зерна менше мінімального ($L_{n1} < L_{n1min}?$), датчики аварії, обриву стрічки на конвеєрах та норії не спрацювали ($Q_{n1} = 0? | Q_{k2} = 0? | Q_{k1} = 0?$). Якщо хоча б одна вимога не виконується, відбувається перехід у кінець алгоритму. Якщо усі вимоги виконані, вмикається передпускова звукова сигналізація, тривалість якої 10с. Далі вмикається норія Н1, робиться витримка часу 20с для виходу на номінальний режим. Вмикається конвеєр К2. Витримка часу 20с. Вмикається конвеєр К1. Витримка часу 20с. Вмикається контур регулювання продуктивності.

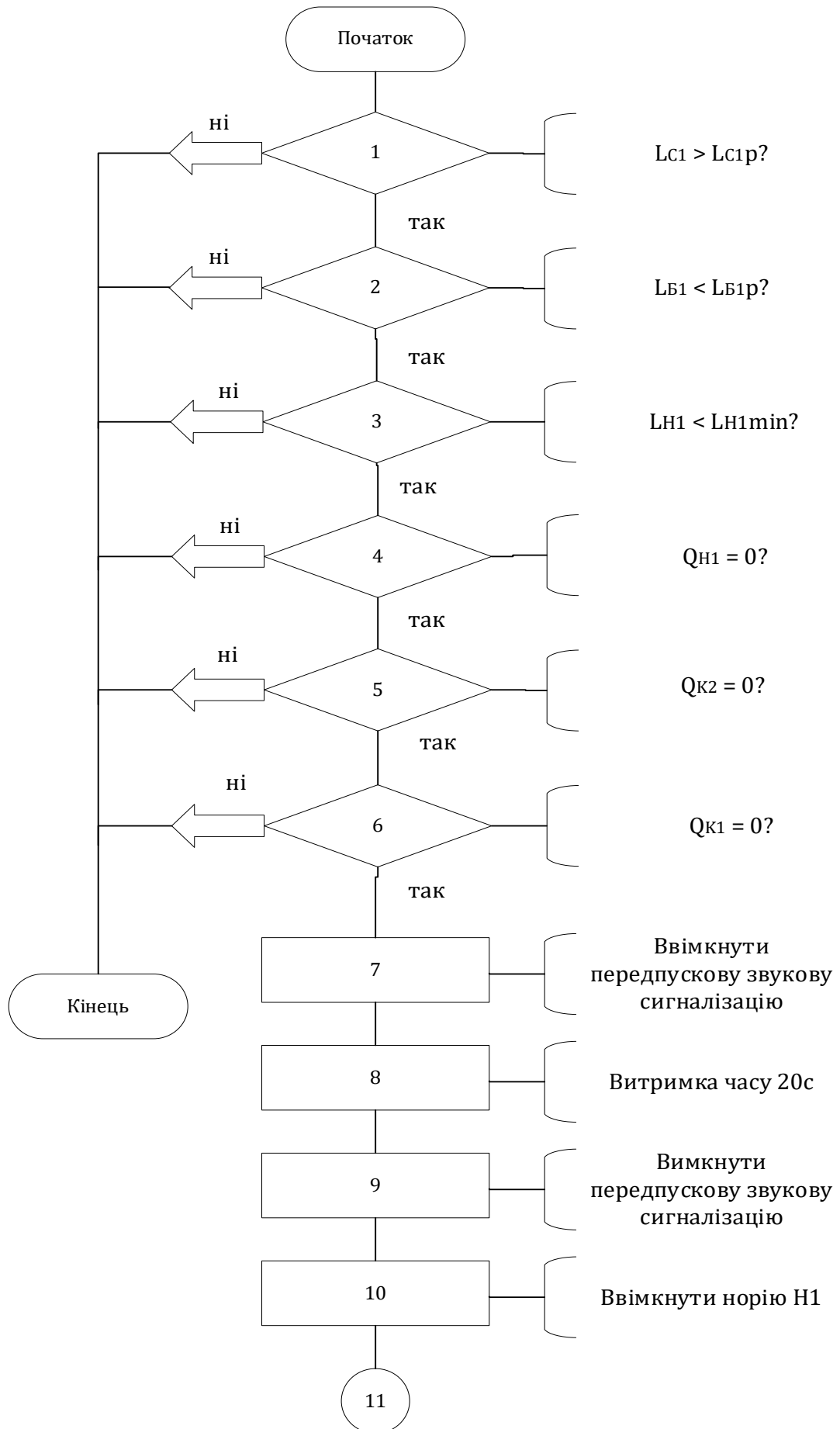


Рис. 4.4 – Алгоритм автоматичного керування пуском ПТЛ

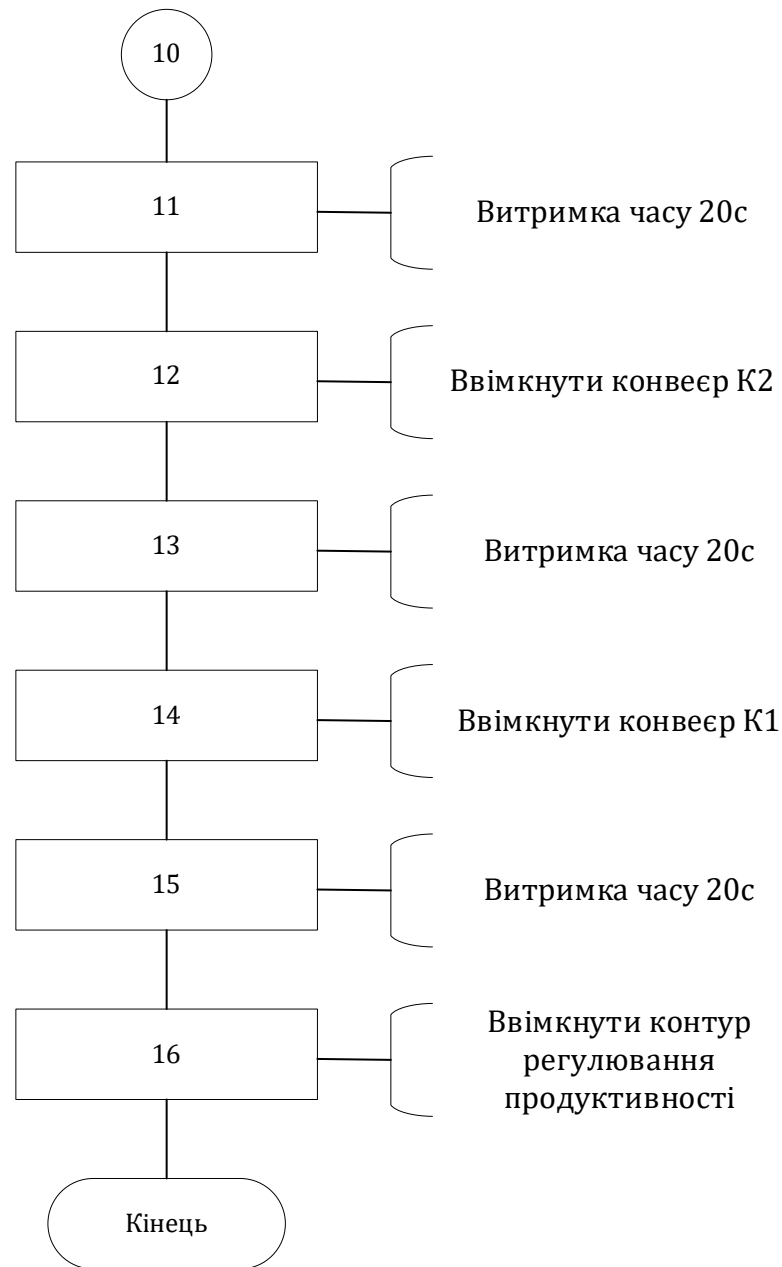


Рис. 4.4 – Алгоритм автоматичного керування пуском ПТЛ (закінчення)

У відповідності до регламенту рис. 4.3 зупинка ПТЛ відвантаження зерна здійснюється згідно з алгоритмом автоматичного керування, наведеним на рис. 4.5

Зупинка розпочинається з того, що вимикається контур регулювання і в той же час припиняється подача зерна з силосу, закривається засувка З1 силоса С1. Далі йде витримка часу поки зерно повністю вийде з конвеєра К1. Вимикається конвеєр К1. Витримка часу поки вийдуть залишки зерна з

другого конвеєра. Вимикається конвеєр К2. Витримка часу поки вийдуть залишки зерна з норі. Вимикається норія.



Рис. 4.5 Алгоритм автоматичного керування зупинкою ПТЛ

Умовою аварійної зупинки є спрацювання датчика завалу в башмаку норії а також спрацювання датчиків аварії (сходу, обриву стрічки, прослизання

валу) конвеєра або норії. Функція аварійної зупинки виконується «автоматично», але з можливістю перемикання на «вручну». У разі аварійного сигналу негайно знеструмлюється привід електродвигуна обладнання на якому відбулося спрацювання датчика аварії, далі з витримкою часу на розвантаження зупиняється інше технологічне обладнання і закривається засувка силосу. Активується блокування повторного запуску до скидання аварії.

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

У відповідності до алгоритмів автоматичного керування технологічним пуском (рис. 4.4) та зупинкою (рис. 4.5), розроблена функціональна логічна схема (ФЛС) процесу керування технологічним агрегатом, наведена на рис. 4.6.

Формування умов необхідних для пуску здійснюється логічним елементом «АБО» 17 по сигналам від кнопки 1 і датчиків: 2 – сигналізатор рівня в силосі, 3 – сигналізатор рівня в бункері, 4 – сигналізатор рівня(завалу) в башмаку норії, 5 – обриву стрічки норії Н1, 6 – обриву стрічки конвеєра К2, обриву стрічки конвеєра К1, які поступають через дискретно-цифрові перетворювачі (ДЦП) 9-15. Якщо необхідних для пуску умови виконуються, на виході RS тригера 18 з'являється логічна 1, через логічний елемент 20 та цифрово-дискретний перетворювач (ЦДП) 21 вмикається передпускова звукова сигналізація (ППЗС) 22. Витримку часу забезпечує таймер 19. Після спрацювання таймеру на інвертований вхід елементу 20 подається сигнал і ППЗС вимикається. Одночасно від таймеру 19 спрацьовує RS тригер 23 і через ЦДП 24 вмикається ПЕД норії Н1 25. Через витримку часу, встановлену таймером 26 спрацьовує RS тригер 27 і через ЦДП 28 вмикається ПЕД конвеєра К2 29. Через витримку часу, встановлену таймером 30 спрацьовує RS

тригер 31 і через ЦДП 32 вмикається ПЕД конвеєра К1 33. Через витримку часу, встановлену таймером 34, через логічний елемент «АБО» 35 сигнал приходить на перемикач 46 і вмикається контур регулювання. Контур регулювання реалізує принцип безударного переключення за допомогою інерційного задатчика 41. Керуючий сигнал приходить на інерційний задатчик (фільтр), який обмежує швидкість зміни сигналу. Вже зглажений сигнал приходить до суматора 44 де порівнюється з сигналом від датчика 42 (значенням продуктивності на виході САР). Аналоговий сигнал від датчика додатково перетворюється в цифровий за допомогою АЦП 43. У суматорі фактичне значення продуктивності (вирахованої за струмом) порівнюється з бажаним (на задатчику) і різниця цих значень приходить на регулятор 45. Регулятор керує положенням засувки 47.

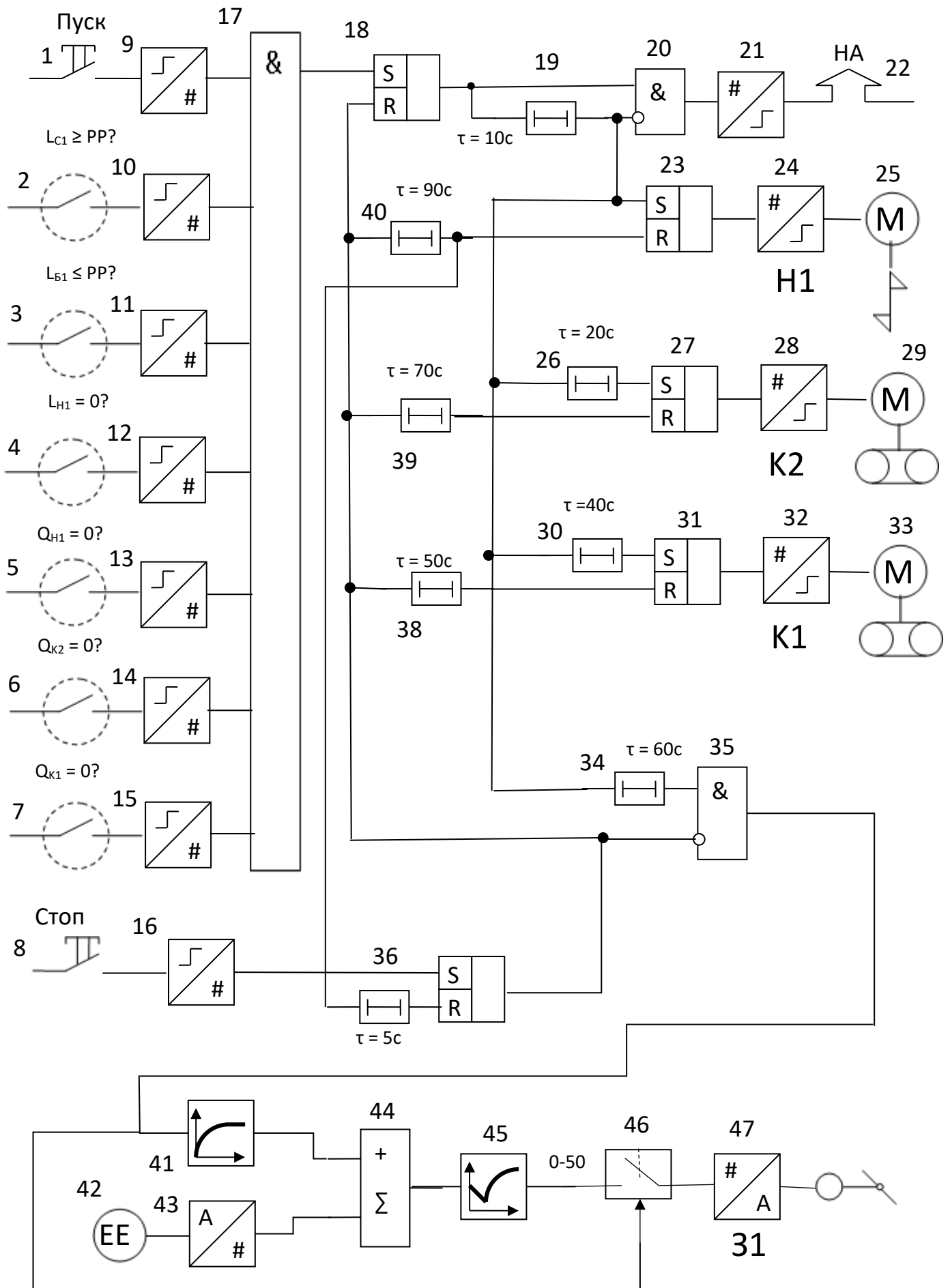


Рис. 4.6 Функціональна логічна схема процесу керування ПТЛ відвантаження зерна.

4.5. Імітаційне моделювання системи логічного керування

Для перевірки працездатності алгоритмів логічного керування, складемо схему моделювання розробленої ФЛС в середовищі імітаційного моделювання MATLAB/Simulink.

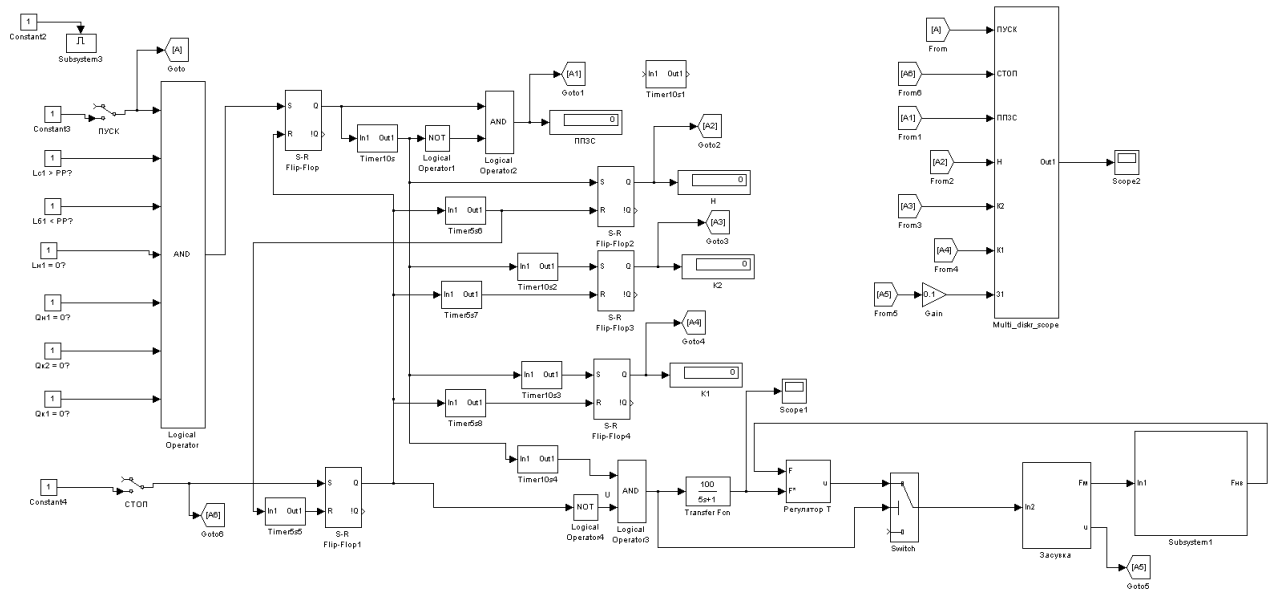


Рис. 4.7 Схема моделювання ФЛС ТП в середовищі імітаційного моделювання

Математична модель ОК і параметри налаштувань регулятора (ПІ-) взяті з розділу 3 п.3.2.

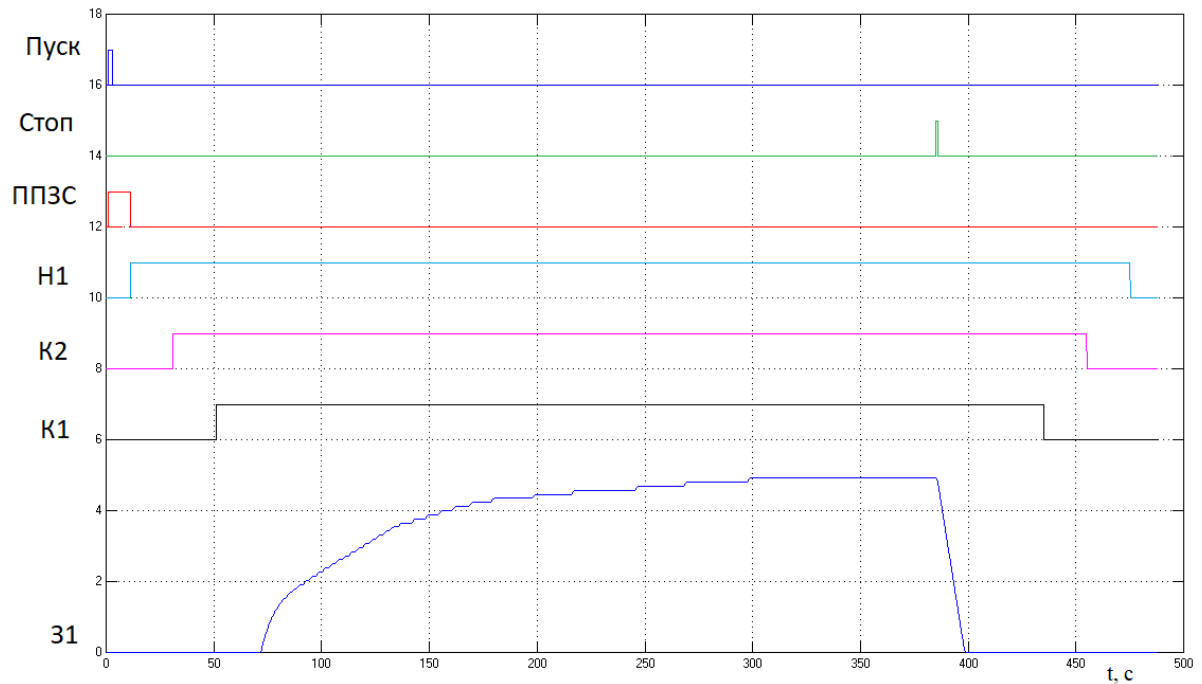


Рис. 4.8 Циклограма ТП, отримана в середовищі імітаційного моделювання

4.6 Висновки за розділом

У розділі, розроблено алгоритми автоматизованого керування потоково-транспортною лінією.

Сформовано алгоритми технологічного пуску та зупинки обладнання з дотриманням необхідних витримок часу та послідовності пуску/зупинки технологічного обладнання.

На основі розроблених алгоритмів створено функціональну логічну схему ТП. Виконано імітаційне моделювання системи логічного керування, яке підтвердило її працездатність та відповідність технологічним регламентам.

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

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

5.1.1 Середовища, параметри яких підлягають контролю, вимірюванню, регулюванню, конкретизація їх характеристики.

До переліку середовищ, параметри яких підлягають контролю, вимірюванню, регулюванню, належать:

- Зерно – основне середовище, з яким безпосередньо взаємодіють датчики та регулюючі органи САК. Густина $\approx 0,75 \text{ т/м}^3$. Вологість до 17%. Температура може коливатися в діапазоні від +5 до +35 °С.
- Повітря з зерновим пилом, у зонах транспортування та перевантаження. Концентрація пилу до 50 г/м³ у зонах перевантаження. Діапазон зміни температури: +5...+35 °С. Вологість: 40...80%;

Зерно та пил мають високу здатність відкладатися на стінках силосу, засувки, ковшах норії та стрічках конвеєрів. Також зерновий пил утворює вибухонебезпечні суміші з повітрям. Це зумовлює необхідність використання датчиків, захищених від вологи та пилу.

5.1.2 Характеристики виробничих приміщень, де розташовуються технічні засоби автоматизації.

Технічні засоби автоматизації розміщуються у двох основних приміщеннях: підсилосному приміщенні та щитовій. Підсилосне приміщення є виробничою зоною, у якій розташовуються датчики, виконавчі механізми, а

також частина кабельних трас. Щитова – окреме вентилязоване приміщення, призначене для розміщення шафи з програмованим логічним контролером та панелі оператора.

В підсилюсному приміщенні температура може змінюватись в діапазоні від +5 до +35 °С. Відносна вологість повітря становить 40...80 %. У виробничій зоні наявний органічний пил, який утворюється в процесі транспортування та пересипання зерна. Рівень вібрацій оцінюється як середній і обумовлений роботою норії і конвеєрів.

Щитове приміщення характеризується діапазоном температур від +5 до +35 °С та відносною вологістю 40...60 %. Органічний пил у даному приміщенні відсутній.

За характером середовища підсилюсне приміщення відноситься до пилових та вибухонебезпечних, тоді як щитове приміщення є нормальним. Відповідно до класифікації вибухонебезпечних зон, у підсилюсному приміщенні виділяється зона 22 (ATEX) за умови закритого типу конвеєрів, при якій утворення вибухонебезпечного пилу можливе лише при порушенні нормального режиму роботи або аварійних ситуаціях, а в місцях завантаження та розвантаження – зона 21. Щитове приміщення розташоване поза межами вибухонебезпечних зон.

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

5.2.1 Перелік параметрів, які підлягають вимірюванню, їх фізично досяжні діапазони зміни, необхідні діапазони вимірювальних засобів, необхідної точності вимірювання.

На основі аналізу технологічного процесу (ТП) сформовано перелік параметрів, що підлягають збору інформації, наведений у табл. 5.1

Таблиця 5.1 – Перелік параметрів вимірювання та вимоги до точності

Найменування параметра	Діапазон зміни	Допуск відхилення
Струм електродвигуна норії Н1	9,8...49 А	1,5%
Струм електродвигуна конвеєра К1	5,8...29А	1,5%
Струм електродвигуна конвеєра К2	2,9...14,5А	1,5%
Положення засувки З1	0...100%	

Регульована величина — продуктивність норії $F_{\text{НВ}}$ — обчислюється опосередковано за струмом електродвигуна норії.

5.2.2 Розподіл представлення інформації користувачу в рамках АРМ.

Інформація про хід процесу та стан обладнання розподілена таким чином:

- Основний обсяг — на АРМ оператора-технолога: мнемосхема установки, графіки продуктивності норії, положення засувки, система повідомлень Alarms, задані значення та режими.
- «За місцем» — датчики, сигналізатори, тросові вимикачі двигунів та ручний привід для аварійного керування засувкою.
- «На щиті КВПіА» — сигнальні лампи, кнопки пуску/зупинки та перемикачі режиму (лок./дистанц.)

5.2.3 Вибір типів датчиків та перетворювачів з урахуванням властивостей середовищ і приміщень.

Для вимірювання струму та моніторингу роботи електродвигунів застосовуються трансформатори струму фірми «DWYER» типу CCT50-200



Рис. 5.1 – Аналоговий датчик струму DWYER CCT50-200

Технічні характеристики CCT50-200:

Вимірювані діапазони: 100/150/200 А (вибирається DIP-перемикачем);

Вихід: 4...20 мА;

Живлення: 15-42 VDC (живлення від контуру см);

Тип корпусу: суцільний;

Точність: 1%;

Робоча температура: -30...70 °С;

Вологість: 0...95% (без конденсації);

Час відгуку: від 250 мсек. до 90%;

Напруга ізоляції: 2000 В;

Частота: 10...400 Гц ;

Робоча температура: -30–70 °С;

Для вимірювання положення шиберної засувки (регулюючого органу) застосовується лінійний потенціометричний перетворювач 4-20мА фірми «OPKON» типу ERTL-300

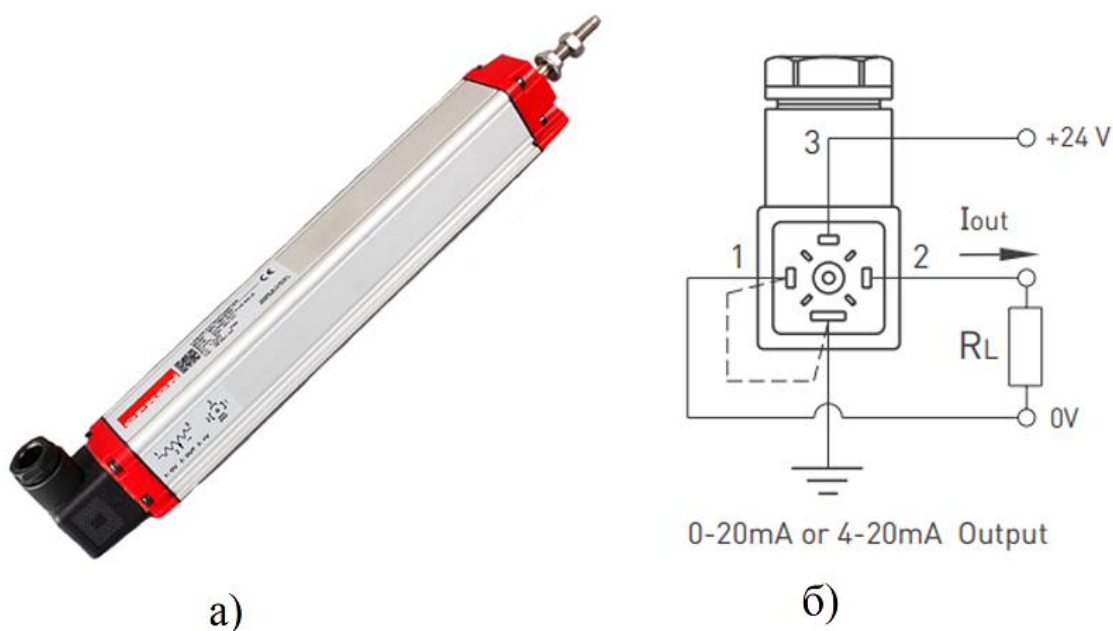


Рис. 5.2 – Лінійний потенціометр OPKON ERTL: а) зовнішній вигляд; б) схема підключення;

Технічні характеристики ERTL-300:

Хід: 300мм;

Вихід: 0-20мА;

Живлення: 12-30 VDC;

Електричні з'єднання: 4-х контактний роз'єм;

Робоча температура: -20°C ... +80°C;

Точність(лінійність): $\pm 0,05\%$;

Клас захисту: IP65.

Для відображення та контролю на щиті процентів ходу регулюючого органу застосовуються промисловий одноканальний індикатор-вимірювач ІТМ-101 фірми «Мікрол»



Рис. 5.3 – Індикатор-вимірювач ІТМ-101 «Мікрол»

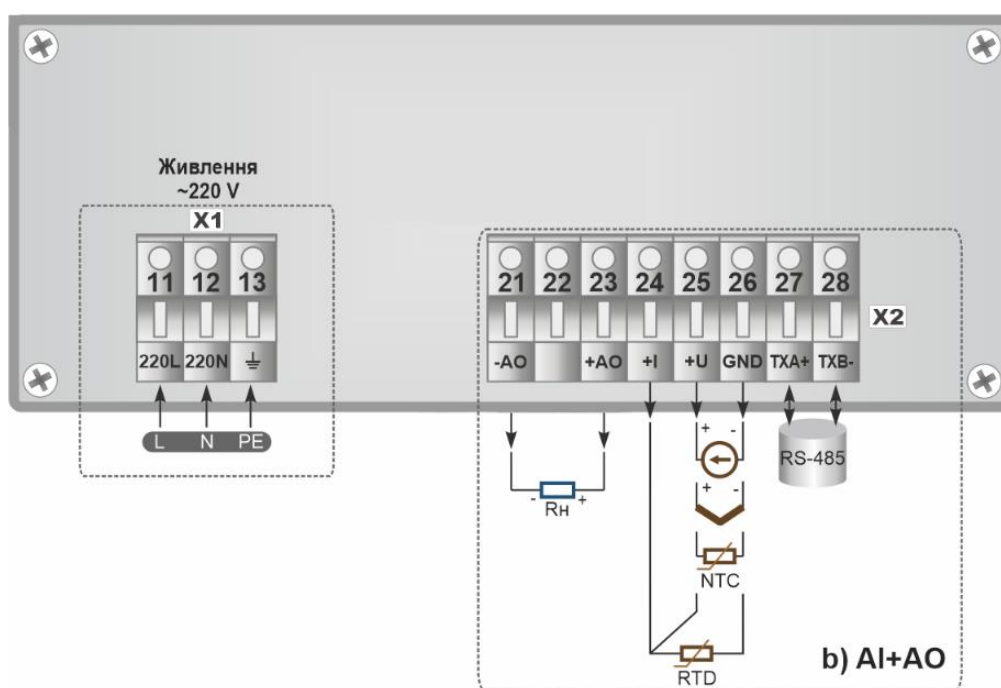


Рис. 5.4 – Схема підключення ІТМ-101 «Мікрол», з опцією аналогового виходу уніфікованого типу

Технічні характеристики ІТМ-101:

Кількість аналогових входів: 1

Типи входних сигналів: 4-20 мА, ...

Кількість аналогових виходів: 1 (опція)

Типи аналогових вихідних сигналів: 4 – 20 мА, ...

Межа основної зведеної похибки вимірювання: $\leq 0.2 \%$

Час опитування входу: до 0.1 секунди

Напруга живлення: Змінного струму: $230\text{ В} \leq 4.0\text{ ВА}$

Тип монтажу: Щитовий

Розмір корпусу (ВхШхГ): 48х96х106 мм

Ступінь захисту: IP30

Температура навколишнього середовища: від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$

Для виявлення точкового рівня зерна (верхнього/нижнього) у силосі та (верхнього) приймальному бункері застосовуються поворотні лопатеві перемикачі (ротаційні сигналізатори рівня) типу Sitrans LPS200, фірми Siemens.

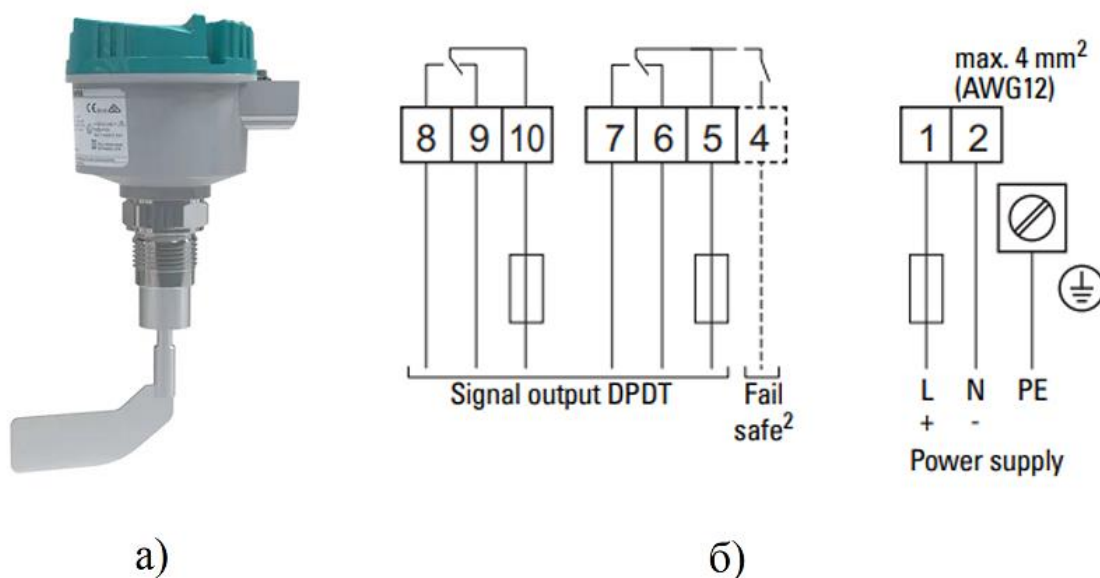


Рис. 5.5 – Ротаційний рівнемір Siemens Sitrans LPS200: а) зовнішній вигляд;
б) схема підключення

Технічні характеристики(для стандартної моделі) Sitrans LPS200:

Щільність: від 100 г/л

Вихід: сухий контакт;

Вихідний сигнал: до 5 А / 250 V AC

4 А / 30 V DC;

Живлення: 24 V DC або 115–230 V AC;

Температура процесу: : -20 ... +80 ° C;

Температура навколишнього середовища: -20 ... +50 ° C;

Тиск: макс. 0,8 бар;

Має вибухозахист відповідно до стандартів:

- ATEX II 1/2D
- IECEx t III C Da/Db
- CSA/FM Клас II, III, Div. 1, Групи E, F, G,

Нахилена лопатка, розмір 100x30 мм;

Приєднання: різьбове G1 1/2" DIN/ISO228.

Для виявлення підпору зерна в башмаку норії застосовується вібраційний сигналізатор рівня типу Sitrans LVS100, фірми Siemens.

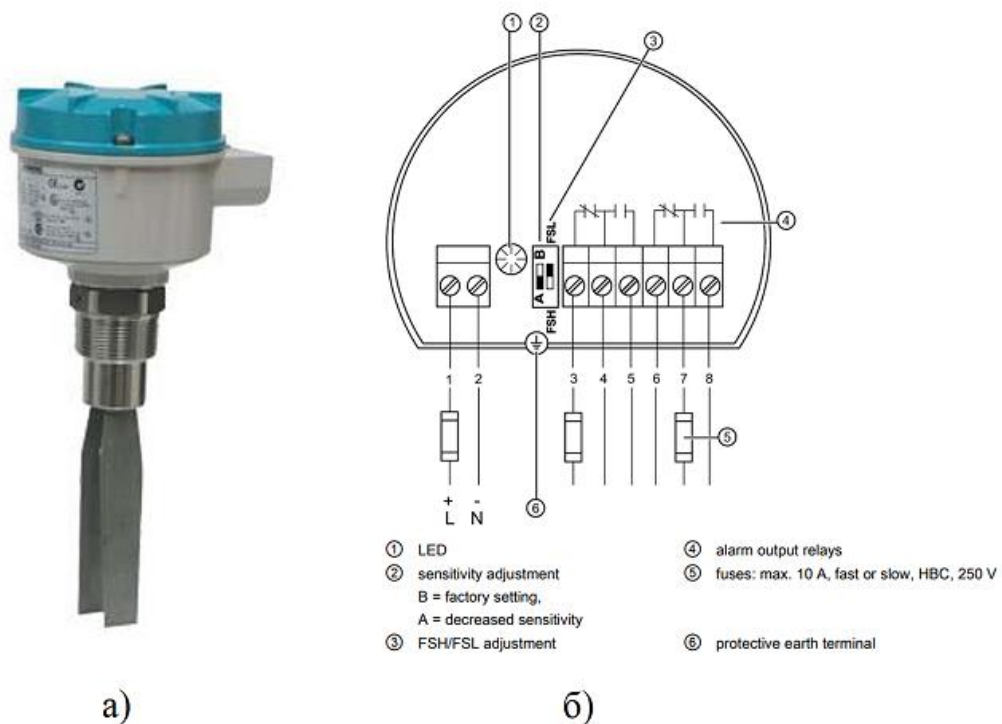


Рис. 5.6 – Вібраційний рівнемір Siemens Sitrans LVS100: а) зовнішній вигляд;
б) схема підключення

Технічні характеристики Sitrans LVS100:

Щільність сипучого матеріалу – від 30г/л;

З'єднання – різьбове;

Вихід: сухий контакт;

Живлення: 24 V DC;

Температура навколишнього середовища: -40 ... +60 ° C;

Має вибухозахист відповідно до стандартів:

- ATEX II 1/2D
- IECEx t III C Da/Db
- CSA/FM Клас II, III, Div. 1, Групи E, F, G,

Для виявлення зниження обертів валу норії (Н1) або ролика конвеєра (K1, K2) застосовуються датчики зниження швидкості M300, типу M3008V10AI фірми «4B Braime». При зниженні обертів на валу нижче 20% від номіналу, датчик миттєво сигналізує про прослизання ременя, часткову зупинку чи перевантаження, активуючи аварійну зупинку.

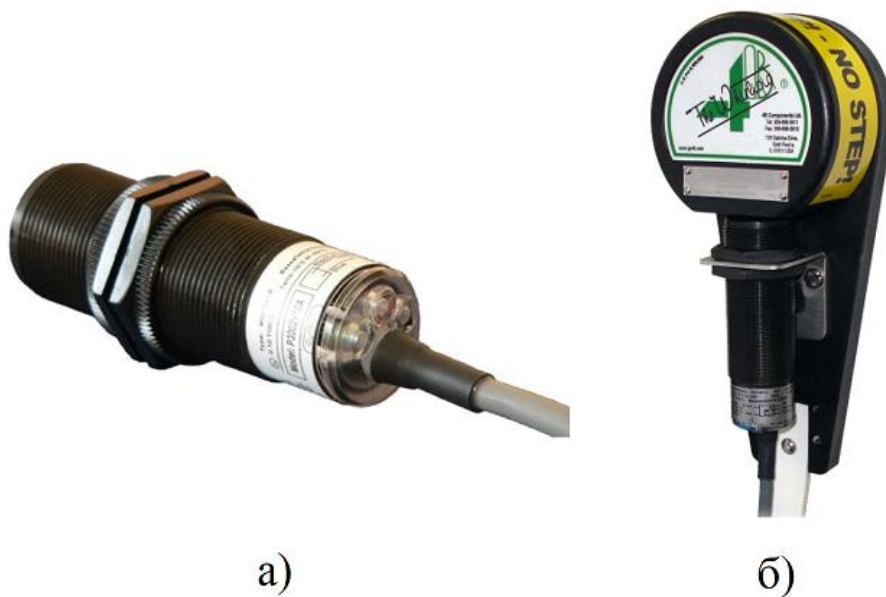


Рис. 5.7 – а) датчик зниження обертів M3008V10AI 4B Braime; б) універсальне кріплення для датчика – Whirligig 4B Braime

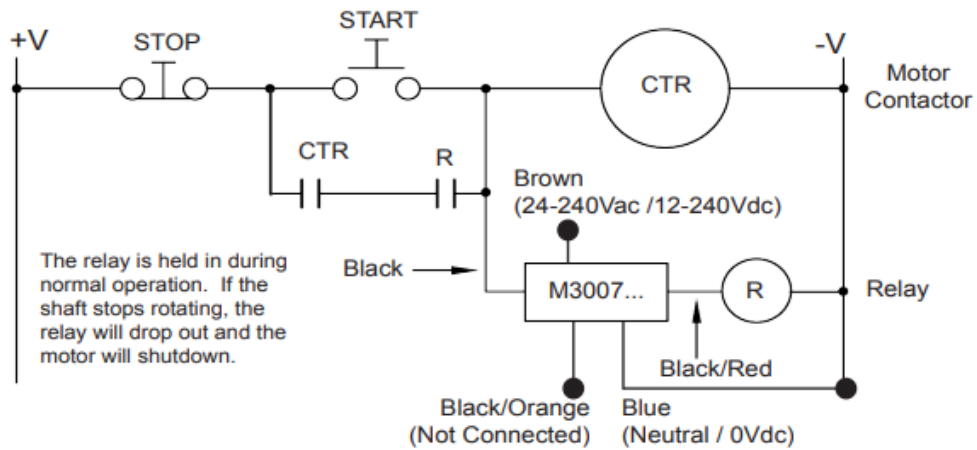


Рис. 5.8 – Схема підключення M3008V10AI 4B Braime

Технічні характеристики:

Живлення: 24 VDC або 240 VAC;

Діапазон швидкості: 10 - 3,600 PPM (імпульсів за хвилину);

Робоча температура: від -15°C до 50°C;

Затримка запуску: від 0 до 30сек;

Вихід: реле SPCO;

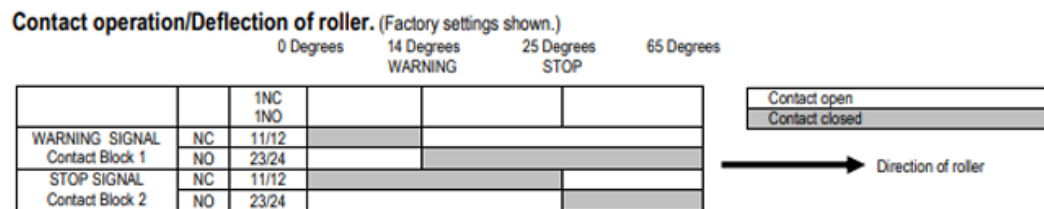
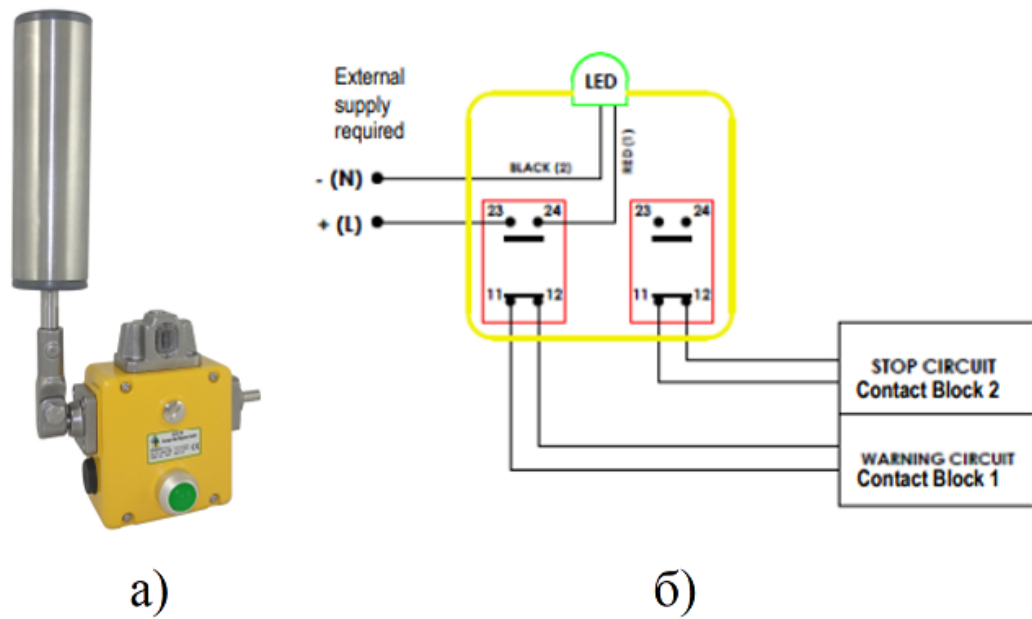
Кабель: 5 – провідний;

Сертифікації: ATEX and IECEx Zone 21, Zone 1;

Захист: IP66.

Датчик сумісний з універсальним кріпленням Whirligig. Whirligig – обертовий датчик-адаптер, який перетворює вал норії на джерело імпульсів для моніторингу обертів.

Для захисту від надмірного зсуву конвеєрної стрічки застосовуються датчики контролю сходу стрічки виробництва Idem, Idem Conveyor Belt Alignment Switch 230V LED артикул – 500011A, модель корпусу з литого алюмінію (DIE-CAST).



в)

Рис. 5.9 – Датчик сходу стрічки конвеєра Idem 500011C: а) зовнішній вигляд; б) схема підключення; в) діапазон спрацювання

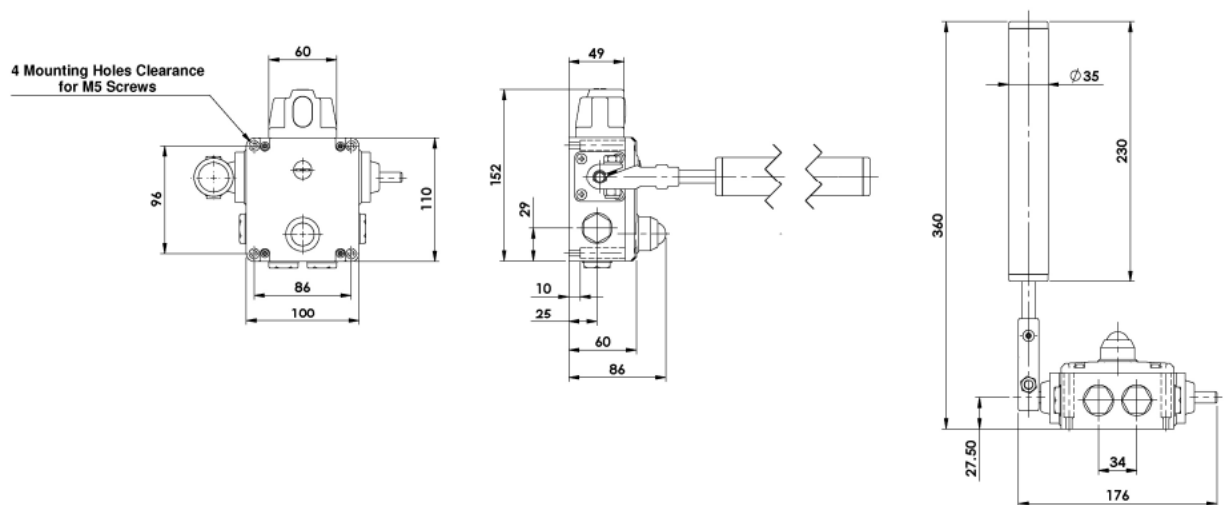


Рис. 5.10 – Габаритні креслення

Технічні характеристики:

Контакти: 2NC 2NO

Корпус/кришка: Лита під тиском

Ступінь захисту IP67

Положення монтажу Будь-яке

Вводи для кабелепроводів 4 x M20

Температура навколишнього середовища -25°C до 80°C

Діапазон перемикавання: Сигнал ПОПЕРЕДЖЕННЯ від 10 до 18 градусів

Сигнал СТОП від 15 до 35 градусів

Діапазон робочого крутного моменту (регульований): 3.0Nm to 5.0Nm

Затиск для провідників: до 2,5 кв. мм

Робочий номінальний струм: 24 В 2,5А постійного струму

Номінальна напруга ізоляції (Ui) 500 В.

Захист від короткого замикання та перевантаження: зовнішній запобіжник 10А

Зони АТЕХ 1, 21, 2, 22

Номінальне значення: 5А (слід підключити зовнішній запобіжник);

Контакт для аварійного сигналу тривоги: 1 нормально розімкнений контакт;

Контакт сигналу зупинки: 1 нормально розімкнений контакт;

Для сигналізації та вимкнення конвеєрної стрічки у разі пошкодження застосовуються детектори пошкодження стрічки R66-BD3 фірми КВТ.



Рис. 5.11 – Детектори пошкодження стрічки R66-BD3 КВТ

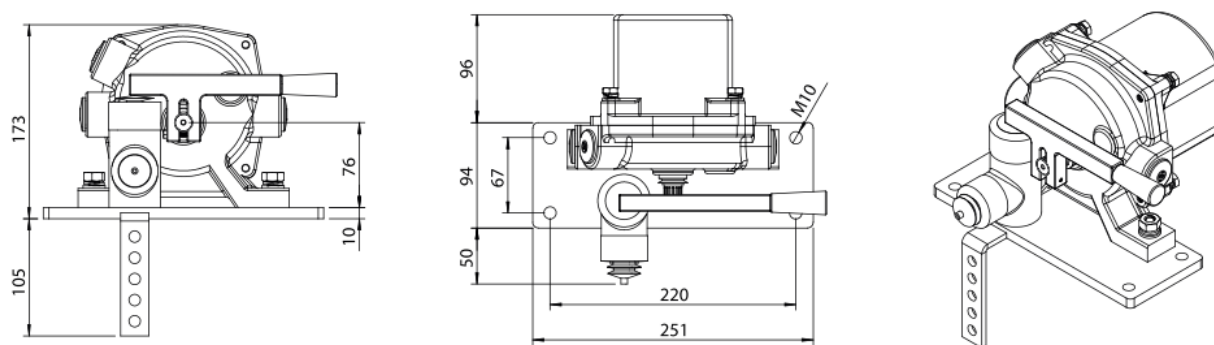


Рис. 5.12 – Габаритні креслення R66-BD3 KBT

Датчики встановлюються з обох боків стрічки парами, а кабелі перетинаються під нею. Якщо щось звисає під стрічкою або стирчить крізь неї, це спрацює один або обидва кабелі. Кабель витягне пружинну кульку з гнізда, і спрацюють два мікроперемикачі. Один перемикач використовується для сигналізації, а інший – для вимкнення.

Технічні характеристики R66-BD3:

Номінальна напруга: 125/250 VAC 15 A | 14 VDC 15 A , 30 VDC 6 A

Вихід: 2x SPDT

Кабельний вхід: 3 різьби NPT 3/4" (2 різьби NPT 3/4" для версій з сигнальними лампами), опціонально M20

Температурний діапазон: від -45°C до +80°C

Клас захисту: NEMA 4X, IP66

Вага: 5,4 кг

Ступінь ударостійкості: IK09 (EN 62262)

Для запуску та зупинки електродвигунів застосовуються контактори серії TeSyS Deco типу LC1 виробництва Schneider Electric.

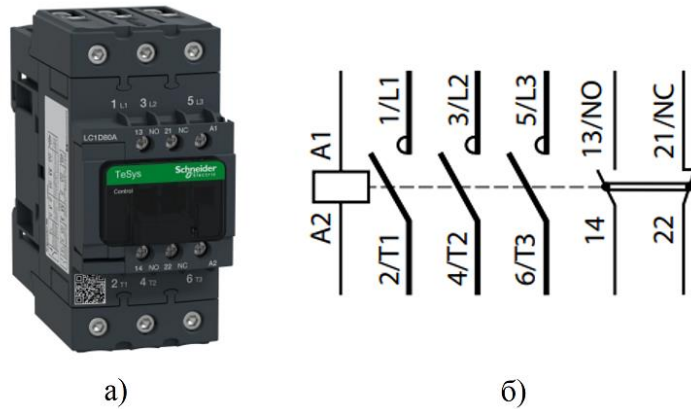


Рис. 5.13 – Контактор Schneider Electric LC1D80AV7: а) зовнішній вигляд; б) принципова схема

3-pole contactors - Motor control up to 45 kW at 400 V, in category AC-3/AC-3e										Weight ⁽³⁾
Standard power ratings of 3-phase motors 50-60 Hz in category AC-3/AC-3e (θ ≤ 60 °C)							Rated operational current in AC-3/AC-3e 440 V up to	Instantaneous auxiliary contacts 	Basic reference, to be completed by adding the control voltage code ⁽¹⁾ Fixing ⁽²⁾	
220 V	380 V	415 V	440 V	500 V	660 V	1000 V				
230 V 400 V 690 V										
kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	A			kg
Connection by screw clamp terminals										
2.2	4	4	4	5.5	5.5	—	9	1	1	LC1D09●● 0.320
3	5.5	5.5	5.5	7.5	7.5	—	12	1	1	LC1D12●● 0.325
4	7.5	9	9	10	10	—	18	1	1	LC1D18●● 0.330
5.5	11	11	11	15	15	—	25	1	1	LC1D25●● 0.370
7.5	15	15	15	18.5	18.5	—	32	1	1	LC1D32●● 0.375
9	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	—	38	1	1	LC1D38●● 0.380
Power connections by EverLink® BTR screw connectors ⁽⁴⁾ and control by screw clamp terminal										
11	18.5	22	22	22	30	—	40	1	1	LC1D40A●● 0.850
15	22	25	30	30	33	—	50	1	1	LC1D50A●● 0.855
18.5	30	37	37	37	37	—	65	1	1	LC1D65A●● 0.860
22	37	37	37	37	37	—	66	1	1	LC1D80A●● 0.860
Connection by screw clamp terminals or connectors										
22	37	45	45	55	45	45	80	1	1	LC1D80●● 1.590

Рис. 5.14 – Технічні характеристики контакторів типу LC1 Schneider Electric

Control circuit connections										
Connection by cable (tightening via screw clamps) Deca, Deca Advanced contactors										
Flexible cable without cable end	1 conductor	mm ²	1...4	1...4	1...4	1...4	1...4	1...4	1...4	1...4
	2 conductors	mm ²	1...4	1...4	1...4	1...4	1...4	1...4	1...4	1...4
Flexible cable with cable end	1 conductor	mm ²	1...4	1...4	1...4	1...4	1...4	1...4	1...2.5	1...4
	2 conductors	mm ²	1...2.5	1...2.5	1...2.5	1...2.5	1...2.5	1...2.5	1...2.5	1...2.5
Solid cable without cable end	1 conductor	mm ²	1...4	1...4	1...4	1...4	1...4	1...4	1...4	1...4
	2 conductors	mm ²	1...4	1...4	1...4	1...4	1...4	1...4	1...4	1...4
Screwdriver	Philips / Pozidriv		N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2
	Flat screwdriver Ø		Ø6	Ø6	Ø6	Ø6	Ø6	Ø6	Ø6	Ø6
Tightening torque		N.m	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.2	1.7
Spring terminal connections (2) Deca contactors										
Flexible cable without cable end	1 conductor	mm ²	2.5	2.5	2.5	2.5	—	2.5	0.75...2.5	—
	2 conductors	mm ²	2.5	2.5	2.5	2.5	—	2.5	0.75...2.5	—
Connection by bars or lugs Deca contactors										
Lug external Ø		mm	8	8	8	8	8	8	8	—
Ø of screw		mm	M3.5	M3.5	M3.5	M3.5	M3.5	M3.5	M3.5	—
Screwdriver	Philips / Pozidriv		N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	—
	Flat screwdriver Ø		Ø6	Ø6	Ø6	Ø6	Ø6	Ø6	Ø6	—
Tightening torque		N.m	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.2	—

Рис. 5.15 – Технічні характеристики кола керування контакторів типу LC1 Schneider Electric

Power circuit connections										
Screw clamp terminal connections Deca, Deca Advanced contactors										
Contactor type	LC1	D09 and D12 DT20 and DT25	D18 (3P)	D25 (3P)	D32	D38	D18 and D25 (4P) DT32 and DT40	D40A to D80A DT60A and DT80A ⁽¹⁾	D80 and D95	D115A, D150A and DT200A
Tightening		Screw clamp terminals					Connector 2 inputs	Screw clamp terminals	Connector 1 input	Connector 2 inputs
Flexible cable without cable end	1 conductor	mm ²	1...4	1.5...6	2.5...10		2.5...10	1...35	4...50	10...120
	2 conductors	mm ²	1...4	1.5...6	2.5...10		2.5...10	1...25 and 1...35	4...25	10...120 + 10...50
Flexible cable with cable end	1 conductor	mm ²	1...4	1...6	1...10		2.5...10	1...35	4...50	10...120
	2 conductors	mm ²	1...2.5	1...4	1.5...6		2.5...10	1...25 and 1...35	4...16	10...120 + 10...50
Solid cable without cable end	1 conductor	mm ²	1...4	1.5...6	1.5...10		2.5...16	1...35	4...50	10...120
	2 conductors	mm ²	1...4	1.5...6	2.5...10		2.5...16	1...25 and 1...35	6...25	10...120 + 10...50
Screwdriver	Philips / Pozidriv		N° 2	N° 2	N° 2		N° 2	–	–	–
	Flat screwdriver Ø		Ø6	Ø6	Ø6		Ø6	–	Ø6...Ø8	–
Hexagonal key			–	–	–		–	4	4	4
Tightening torque		N.m	1.7	1.7	2.5		1.8	5: ≤ 25 mm ² 8: 35 mm ²	12 ⁽²⁾	12
Spring terminal connections ⁽²⁾ Deca contactors										
Flexible cable without cable end	1 conductor	mm ²	2.5 (4: DT25)	4	4	4	–	10	–	–
	2 conductors	mm ²	2.5 (except DT25)	4	4	4	–	–	–	–
Connection by bars or lugs Deca contactors										
Bar c.s.a.			–	–	–	–	–	–	3 x 16	5 x 25
Lug external Ø	mm		8	8	10	10	8	16.5	17	25
Ø of screw	mm		M3.5	M3.5	M4	M4	M3.5	M6	M6	M8
Screwdriver	Philips / Pozidriv		N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	N° 2	–	–	–
	Flat screwdriver Ø		Ø6	Ø6	Ø6	Ø6	Ø6	–	Ø8	–
Key for hexagonal headed screw			–	–	–	–	–	10	10	–
Hexagonal key			–	–	–	–	–	–	–	6
Tightening torque		N.m	1.7	1.7	2.5	2.5	1.8	6	9	12

Рис. 5.16 – Технічні характеристики силового кола контакторів типу LC1
Schneider Electric

- Для електроприводу норії обрано контактор типу LC1D80AV7:
- Для електроприводу конвеєра K1 обрано контактор типу LC1D50AV7
- Для електроприводу конвеєра K2 обрано контактор типу LC1D32V7
- Для електроприводу засувки обрано контактор типу LC1D09V7

Для захисту електродвигунів від перевантаження, обриву і асиметрії фаз, короткого замикання застосовуються автоматичні вимикачі захисту двигунів серії TeSyS Deco типу GV2 і GV3 виробництва Schneider Electric

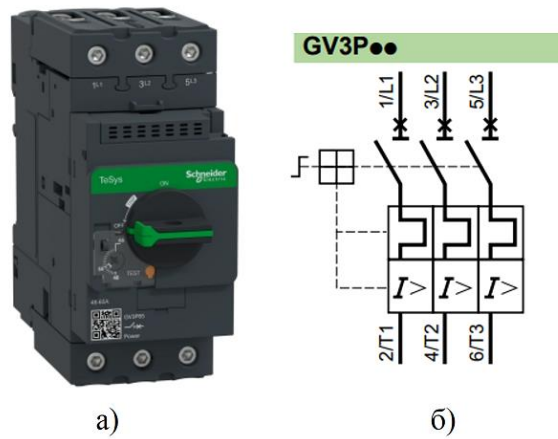
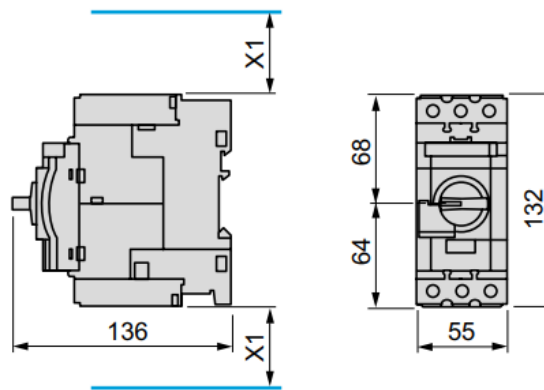


Рис. 5.17 – Автоматичний вимикач захисту двигуна Schneider Electric GV3P65: а) зовнішній вигляд; б) принципова схема.



$X1$ = Electrical clearance (ISC max)
40 mm for $U_e \leq 500$ V, 50 mm for $U_e \leq 690$ V

Рис. 5.18 – Габаритні креслення автоматичних вимикачів захисту двигунів типу GV3P

Motor circuit breakers up to 45 kW / 400 V											
Deca - Frame 3 (ref. GV3P): control by rotary handle, connection by EverLink® BTR screw connectors ⁽⁵⁾											
Standard power ratings of 3-phase motors 50/60 Hz in category AC-3									Setting range of thermal trips ⁽²⁾	Magnetic tripping current Ii ± 20 %	Reference
400/415 V			500 V			690 V					
P	Icu	Ics ⁽¹⁾	P	Icu	Ics ⁽¹⁾	P	Icu	Ics ⁽¹⁾			
kW	kA	%	kW	kA	%	kW	kA	%	A	A	
5.5	100	100	7.5	12	50	11	6	50	9...13	182	GV3P13
7.5	100	100	9	12	50	15	6	50	12...18	252	GV3P18
11	100	100	15	12	50	18.5	6	50	17...25	350	GV3P25
15	100	100	18.5	12	50	22	6	50	23...32	448	GV3P32
18.5	50	100	22	12	50	37	6	50	30...40	560	GV3P40
22	50	100	30	12	50	45	6	50	37...50	700	GV3P50
30	50	100	45	12	50	55	6	50	48...65	910	GV3P65

Рис. 5.19 – Технічні характеристики автоматичних вимикачів захисту двигунів типу GV3P

Technical characteristics				
Circuit breaker type			GV3L	GV3P
Utilisation category	Conforming to IEC 60947-2		A	–
	Conforming to IEC 60947-4-1		–	AC-3
Rated operational voltage (U _e)	Conforming to IEC 60947-2	V	690	
Rated insulation voltage (U _i)	Conforming to IEC 60947-2	V	690	
Rated voltage	Conforming to UL 60947-4-1, CSA C 22.2 n° 60947-4-1	V		600
Rated operational frequency	Conforming to IEC 60947-4-1 UL, CSA	Hz	50/60	
Rated impulse withstand voltage (U _{imp})	Conforming to IEC 60947-2	kV	6	
Total power dissipated per pole		W	8	
Mechanical durability (C.O.: Close, Open)		C.O.	50 000	
Electrical durability for AC-3 duty	415 V In	C.O.	50 000 (20 000 for GV3L73, GV3P73, GV3L80, GV3P80)	
Duty class (maximum operating rate)		C.O./h	25	
Maximum conventional rated thermal current (I _{th})	Conforming to IEC 60947-4-1	A	–	13 to 80
Rated duty	Conforming to IEC 60947-4-1			Continuous duty
Operating threshold of magnetic trips			14 I max	

Рис. 5.20 – Технічні характеристики автоматичних вимикачів захисту двигунів типу GV3P

Environment				
Circuit breaker type			GV3L	GV3P
Conforming to standards			IEC/EN 60947-4-1 IEC/EN 60947-2 UL 60947-4-1 CSA C22.2 n° 60947-4-1	IEC/EN 60947-4-1 IEC/EN 60947-2 UL 60947-4-1 CSA C22.2 n° 60947-4-1
Product certifications			CCC, EAC, BV, LROS, DNV-GL, ABS, UL ⁽¹⁾ , CSA ⁽²⁾ , UKCA	CCC, UL ⁽⁴⁾ , CSA ⁽⁵⁾ , EAC, ATEX, BV, LROS, DNV-GL, ABS, UKCA
Climatic withstand			According to IACS E10	
Degree of protection (front face)	Conforming to IEC 60529	Open mounted	Against direct finger contact: IP20	
		In enclosure	–	GV3PC01 and GV3PC02: IP55
Shock resistance	Conforming to IEC 60068-2-27		On: 15 gn -11 ms (On: 5 gn -11 ms for GV3L73, GV3L80, GV3P73, GV3P80) Off: 30 gn -11 ms	
Vibration resistance ⁽³⁾	Conforming to IEC 60068-2-6		4 gn (5...300 Hz)	
Ambient air temperature	Storage		°C	–40...+80
	Operation	Open mounted	°C	–20...+60 ⁽³⁾
Temperature compensation		In enclosure	°C	–
		Open mounted	°C	–20...+60
		In enclosure	°C	–20...+40
Flame resistance	Conforming to IEC 60695-2-11		°C	960
Maximum operating altitude			m	3000
Suitable for isolation	Conforming to IEC 60947-1 § 7-1-6			Yes
Resistance to mechanical impact			J	–
				10 IK09 (in enclosure)
Sensitivity to phase failure				Yes, conforming to IEC 60947-4-1 § 8-2-1-5-2 for GV3P

Рис. 5.21 – Характеристики середовища GV3P

- Для електроприводу норії обрано автоматичний вимикач типу GV3P65
- Для електрприводу конвеєра К1 обрано автоматичний вимикач типу GV3P32

- Для електроприводу конвеєра K2 обрано автоматичний вимикач типу GV3P18
- Для електроприводу засувки обрано автоматичний вимикач типу GV2ME05

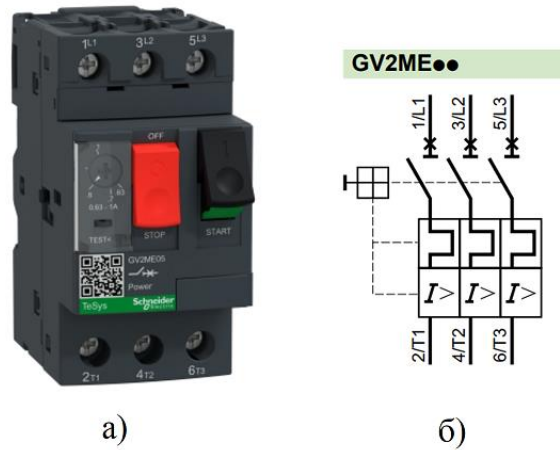


Рис. 5.22 – Автоматичний вимикач захисту двигуна Schneider Electric GV2ME05: а) зовнішній вигляд; б) принципова схема

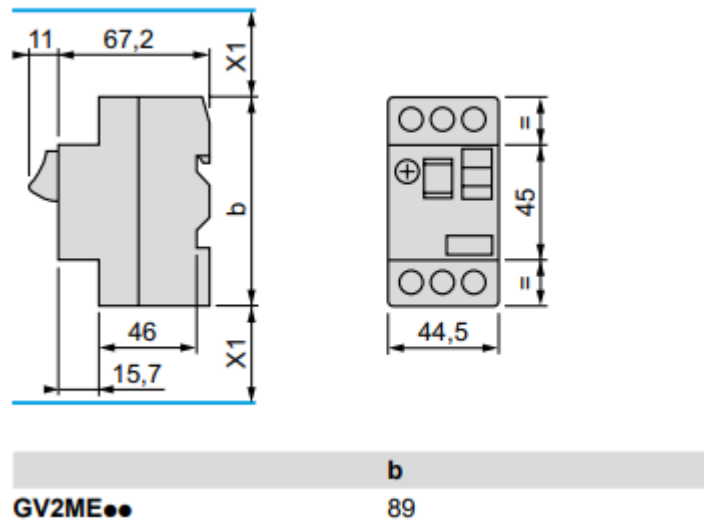


Рис. 5.23 – Габаритні креслення автоматичних вимикачів захисту двигунів типу GV2ME05

Motor circuit breakers from 3/4 to 20 HP / 460 V										
Deca - Frame 2 (ref. GV2ME): control by push button, connection by screw clamp terminals										
Thermal setting (A)	Maximum Horsepower ratings								Group Motor applications	Reference
	Single-Phase			Three-Phase						
	115 V	200 V	230 V	115 V	200 V	230 V	460 V	575 V	Max. Fuse or Circuit breaker (A)	
0.1...0.16	—	—	—	—	—	—	—	—	450	GV2ME01
0.16...0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	450	GV2ME02
0.25...0.40	—	—	—	—	—	—	—	—	450	GV2ME03
0.40...0.63	—	—	—	—	—	—	—	—	450	GV2ME04
0.63...1	—	—	—	—	—	—	—	1/2	450	GV2ME05

Рис. 5.24 – Технічні характеристики GV2ME05

Technical characteristics							
Circuit breaker type			GV2L	GV2LE	GV2ME	GV2P	GV2RT
Utilisation category	Conforming to IEC 60947-2		A				
	Conforming to IEC 60947-4-1		AC3/AC-3e				
Rated operational voltage (Ue)	Conforming to IEC 60947-2	V	690				
Rated insulation voltage (Ui)	Conforming to IEC 60947-2	V	690				
Rated voltage	Conforming to UL 60947-4-1	V	-	-	600	600	600
	CSA C 22.2 n° 60947-4-1		480	480	600	600	600
Rated operational frequency	Conforming to IEC 60947-4-1 UL, CSA	Hz	50/60				
Rated impulse withstand voltage (U imp)	Conforming to IEC 60947-2	kV	6				
Total power dissipated per pole		W	1.8		2.5		
Mechanical durability (C.O.: Closing, Opening)		C.O.	100 000				
Electrical durability for AC-3e/415V duty (C.O.: Closing, Opening)		415 V In C.O.	100 000				
Duty class (maximum operating rate)		C.O./h	40		25		
Maximum conventional rated thermal current (Ith)	Conforming to IEC 60947-4-1	A	0.4...32	0.4...32	0.16...32	0.16...32	0.40...23
Rated duty	Conforming to IEC 60947-4-1		Continuous duty				

Рис. 5.25 – Технічні характеристики GV2ME05

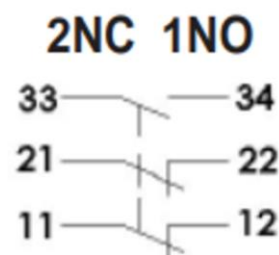
Environment							
Circuit breaker type			GV2L	GV2LE	GV2ME	GV2P	GV2RT
Conforming to standards			IEC/EN 60947-4-1, IEC/EN 60947-2				
			CSA C22.2 n°60947-4-1 ⁽¹⁾ , UL 60947-4-1				
Product certifications			CCC, EAC, BV, LROS, DNV-GL, RINA, UL ⁽¹⁾ , CSA, UKCA		CCC, EAC, BV, RINA, UL ⁽¹⁾ , UKCA	CCC, UL, CSA, EAC, ATEX, BV, LROS, UKCA, DNV-GL, RINA	CCC, UL ⁽²⁾ , CSA, EAC, ATEX, BV, LROS, DNV-GL, RINA, UKCA
Climatic withstand			According to IACS E10				
Degree of protection (front face)	Conforming to IEC 60529	Open mounted In enclosure	Against direct finger contact: IP20				
			IP65 with GV2PC01 GV2PC02 enclosure	-	IP41 with GV2M●01 IP55 with GV2M●02 enclosure	IP65 with GV2PC01 GV2PC02 enclosure	-
Shock resistance	Conforming to IEC 60068-2-27		30 gn - 11 ms				
Vibration resistance	Conforming to IEC 60068-2-6		5 gn (5 to 150 Hz)				
Ambient air temperature	Storage		°C	-40...+80			
	Operation	Open mounted	°C	-20...+60			
		In enclosure	°C	-20...+40			
Temperature compensation		Open mounted	°C	-20...+60			
		In enclosure	°C	-20...+40			
Flame resistance	Conforming to IEC 60695-2-11		°C	960			
Maximum operating altitude			m	2000			
Suitable for isolation	Conforming to IEC 60947-1 § 8.1.7			Yes			
Resistance to mechanical impact			J	0.5 IK04			
Sensitivity to phase failure				Yes, conforming to IEC 60947-4-1 § 8-2-1-5-2 for GV2ME & GV2P			

Рис. 5.26 – Характеристики середовища GV2ME05

Для аварійної зупинки конвеєрів застосовуються тросові вимикачі типу GLS (142009-QCM12) , виробництва IDEM Safety Switches. Вимикач забезпечує можливість аварійної зупинки обладнання шляхом натягування сталевого троса, прокладеного вздовж конвеєра.



а)



б)

Рис. 5.27 – Тросовий вимикач GLS IDEM: а) зовнішній вигляд; б) схема підключення

Технічні характеристики GLS IDEM:

Довжина тросу: до 60 м (1 вимикач), до 80 м (2 вимикачі);

Контакти: 2NC+1NO;

Корпус: литий алюміній;

Ступінь захисту: IP 67;

Температура: -25...+80 °С.

Для аварійної зупинки норії застосовується кнопка аварійної зупинки типу XB4BS8444 виробництва Schneider Electric.

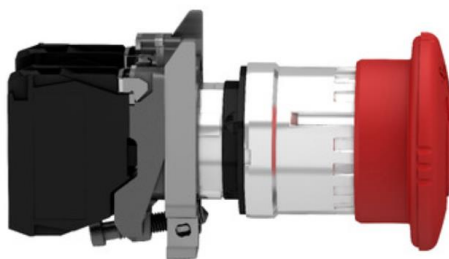


Рис. 5.28 – Кнопка аварійної зупинки XB4BS8444 Schneider Electric

Технічні характеристики XB4BS8444:

Монтажний діаметр 22,5 мм;

Тип виконавчого механізму: спусковий гачок і механічна фіксація;

Перезавантаження: повернути, щоб відпустити;

Тип контакту та з'єднання: 1 нормально відкритий + 1 нормально закритий;

Захист від короткого замикання: 10 А плавка вставка

Номінальна напруга ізоляції: 600 В

Робоча температура навколишнього середовища: -40...70 °С;

Ступінь захисту IP66 відповідно до МЕК 60529;

Для перемикання режиму роботи обладнання авт./ручн. застосовуються перемикачі режиму типу XB4BD33 виробництва Schneider Electric.



Рис. 5.29 – Перемикач XB4BD33 Schneider Electric

Технічні характеристики XB4BD33:

Монтажний діаметр: 22,5 мм;

Тип виконавчого механізму: з фіксацією;

Позиції виконавчого механізму: 3 положення $\pm 45^\circ$;

Тип контакту та з'єднання: 2 нормально відкритих;

Захист від короткого замикання: 10 А плавка вставка

Номінальна напруга ізоляції: 600 В

Ступінь захисту: IP67 відповідно до МЭК 60529;

5.2.4 Підвищення точності для окремих вимірювальних каналів, альтернативні шляхи рішення

Для більшості каналів стандартна точність промислових датчиків ($\pm 1\%$ для струму, $\pm 2\%$ для положення засувки) є достатньою.

Особливий канал — продуктивність норії, регульована величина. Пряме вимірювання витрати зерна (ваговими або радіаційні витратоміри) у пиловому середовищі ненадійне, дороге та вимагає частого очищення. Тому обрано алгоритмічний шлях підвищення точності: лінеаризація залежності «струм норії $\rightarrow$ продуктивність».

В апаратному підвищенні точності немає потреби через значне зростання вартості та відсутність необхідності.

Таким чином, усі вимірювальні канали забезпечують надійний збір інформації з необхідною точністю.

5.3 Вибір технічних засобів реалізації керуючих дій на технологічний процес і керування обладнанням

Єдиним регульованим середовищем у процесі відвантаження зерна є потік сипучого матеріалу (пшениця, насипна густина $\rho = 0,75 \text{ т/м}^3$). Регулювання продуктивності норії (номінал 100 т/год) здійснюється зміною витрати зерна з силосу.

Обраний регулюючий орган — шиберна (рейкова) засувка з електроприводом виробництва ТОВ «ПРОМСНАБ» (Україна), типорозмір $300 \times 300 \text{ мм}$. Комплектується трифазним електродвигуном, потужністю 0,25 кВт. Засувка має імпульсний електропривід з мотор-редуктором. Пристрій сполучення з регулюючим органом — стандартний зубчасто-рейковий механізм (входить у комплектацію).

Вибір обумовлено вимогами технологічного процесу:

- Номінальна продуктивність при відкритті 50% — до 100 т/год
- Час ходу 15 с;
- Наявність кінцевих вимикачів «Відкрито» / «Закрито» і аналогового датчика положення

Шиберна засувка забезпечує надійне перекривання потоку сипучого матеріалу, стійка до абразивного зернового пилу, має просту конструкцію і мінімальне налипання, дозволяє точне позиціонування.

Для електродвигунів транспортерів КЛ-1, КЛ-2 та норії Н-1 керуючі дії — дискретні (пуск/зупинка/реверс).

Для контролю крайніх положень засувки застосовуються двопозиційні кінцеві вимикачі типу ME 8108 виробництва АСКО-УКРЕМ.

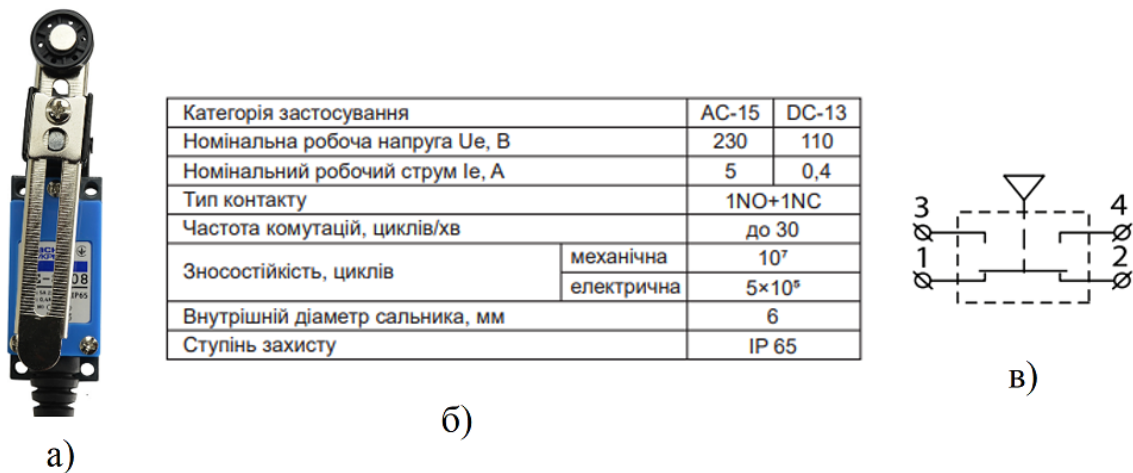


Рис. 5.30 – Двопозиційний кінцевий вимикач ME 8108 АСКО-УКРЕМ: а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики; в) електрична схема.

В якості ПЛК обрано контролер SIMATIC S7-1500 (CPU 1516F-3 PN/DP)

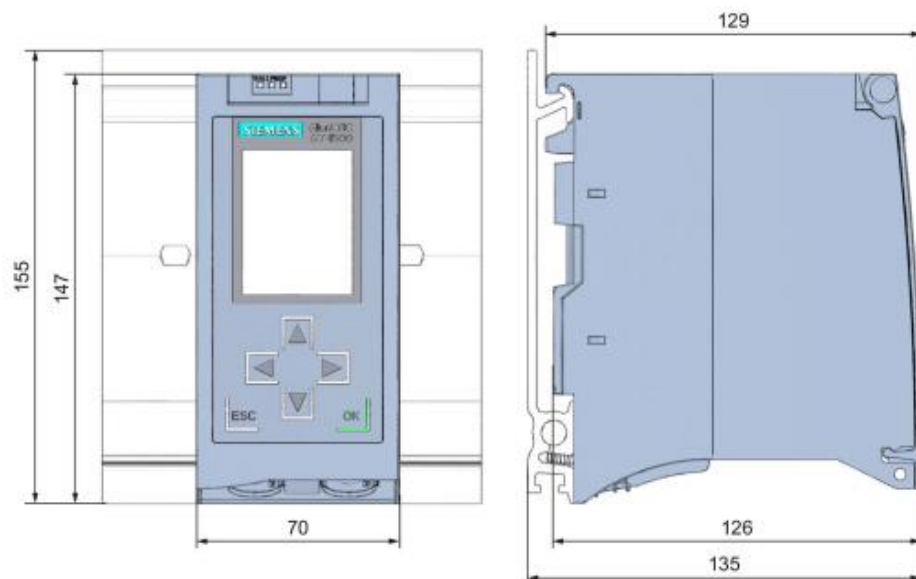


Рис. 5.31 – Габаритні креслення для SIMATIC S7-1500

Технічні характеристики:

Діагональ екрану: 6,1 см (2,4»)

Робоча пам'ять: 1 МБ (програма) + 5 МБ (дані)

Завантажувальна пам'ять: до 32 ГБ (SIMATIC Memory Card)

Інтерфейси:

- PROFINET

- PROFIBUS DP

Живлення:

- Напруга: 24 В DC
- Потужність: 12 Вт

Керування шиберною засувкою здійснюється двома дискретними сигналами («Відкрити» / «Закрити»);

Як інтерфейс між керуючою частиною (ПЛК) і силовим колом використовують проміжні реле. За їх допомогою здійснюється керування котушками контакторів електродвигунів в автоматичному режимі з АРМ оператора. Обрано проміжні реле виробництва Schneider Electric типу RXG22BDPV.

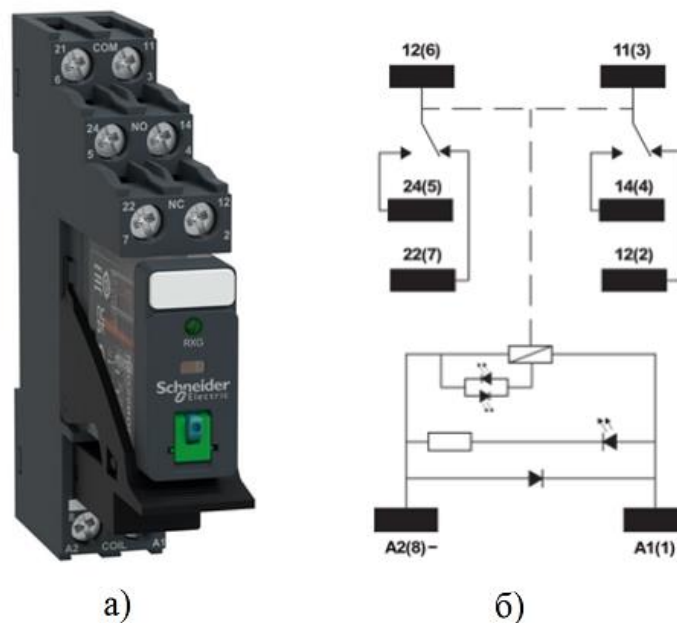


Рис. 5.32 – Реле RXG22BDPV Schneider Electric: а) зовнішній вигляд; б) схема підключення

Технічні характеристики:

Номінальний робочий струм: 10А

Кількість і тип контактів: 2 перемикаючі контакти

Напруга схеми керування: DC 24В

Максимальна напруга перемикання 250 В

Для освітлення шафи оберемо LED лампу RITTAL-2500110:



Рис. 5.33 – LED лампа RITTAL-2500110

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

Обладнання потоково-транспортної лінії (ПТЛ) відвантаження зерна із сушильно-складського комплексу, розміщується в приміщенні під силосами зерна, тоді відповідно датчики та виконавчі пристрої, які встановлені на ньому, також розміщуються на невеликих відстанях одні від інших за виключенням норії де привідний двигун знаходиться наверху у голові норії. Таким чином шафу з ПЛК та допоміжним устаткування доцільно розташувати в приміщенні щитовій неподалік від підсилосного приміщення, що скоротить довжини кабелів при підключенні. Виходячи з цих обставин та невеликої кількості обладнання розглянутої ділянки ПТЛ виберемо централізовану контролерно-комп'ютерну мережу з реалізацією АРМ на панелі оператора, яка може бути встановлена на передній панелі шафи або в окремому приміщенні. Для реалізації розроблених алгоритмів керування оберемо ПЛК SIMATIC S7-1500 із середовищем програмування TIA Portal.

Виконавши аналіз системи автоматизації процесом відвантаження зерна за розділами 1...4, складемо таблицю зі списком параметрів, які повинні оброблятися в керуючому пристрої – контролері.

Табл. 5.2 – Список параметрів на входах або виходах контролера

№ пп	Найменування параметру	Вид А/D	Тип сигналу І/O	Діапазон сигналу на вході або виході контролера
1	2	3	4	5
1	Струм ПЕД норії Н-1	А	І	4...20 мА DC
2	Струм ПЕД транспортера КЛ-1	А	І	4...20 мА DC
3	Струм ПЕД транспортера КЛ-2	А	І	4...20 мА DC
4	Положення засувки БЗ-1	А	І	4...20 мА DC
5	Сигнал датчика підпору у башмаку норії	D	І	24 V DC
6	Сигнал датчика верхнього рівня зерна у силосі	D	І	24 V DC
7	Сигнал датчика нижнього рівня зерна у силосі	D	І	24 V DC
8	Сигнал датчика верхнього рівня зерна у приймальному бункері бункерних ваг.	D	І	24 V DC
9	Сигнал стану авт. Вимикача двигуна транспортера КЛ-1	D	І	24 V DC
10	Сигнал стану контактора двигуна транспортера КЛ-1	D	І	24 V DC
11	Сигнал перемикача режиму (лок./дистанц.) транспортера КЛ-1	D	І	24 V DC
12	Сигнал датчика контролю швидкості КЛ-1	D	І	24 V DC

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4	5
13	Сигнал тросового вимикача транспортера КЛ-1	D	I	24 V DC
14	Сигнал стану авт. Вимикача двигуна транспортера КЛ-2	D	I	24 V DC
15	Сигнал стану контактора двигуна транспортера КЛ-2	D	I	24 V DC
16	Сигнал перемикача режиму (лок./дистанц.) транспортера КЛ-2	D	I	24 V DC
17	Сигнал датчика контролю швидкості КЛ-2	D	I	24 V DC
18	Сигнал тросового вимикача транспортера КЛ-2	D	I	24 V DC
19	Сигнал стану авт. Вимикача двигуна норії Н-1	D	I	24 V DC
20	Сигнал стану контактора двигуна норії Н-1	D	I	24 V DC
21	Сигнал перемикача режиму (лок./дистанц.) норії Н-1	D	I	24 V DC
22	Сигнал датчика контролю швидкості стрічки Н-1	D	I	24 V DC
23	Сигнал аварійного вимикача норії Н-1	D	I	24 V DC
24	Сигнал стану «відкритий» засувки подачі зерна ЗБ-1	D	I	24 V DC
25	Сигнал стану «закритий» засувки подачі зерна ЗБ-1	D	I	24 V DC

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4	5
26	Сигнал стану авт. Вимикача засувки подачі зерна ЗБ-1	D	I	24 V DC
27	Сигнал перемикача режиму (лок./дистанц.) ЗБ-1	D	I	24 V DC
28	Сигнал керування двигуном транспортера КЛ-1	D	O	24 V DC
29	Сигнал керування двигуном транспортера КЛ-2	D	O	24 V DC
30	Сигнал керування двигуном норії Н-1	D	O	24 V DC
31	Сигнал керування засувкою зерна «Відкрити»	D	O	24 V DC
32	Сигнал керування засувкою зерна «Закрити»	D	O	24 V DC
33	Сигнал керування звук.сигн.	D	O	24 V DC
34	Сигнал датчика сходу стрічки транспортера КЛ-1 (права сторона)	D	I	24 V DC
35	Сигнал датчика сходу стрічки транспортера КЛ-1 (ліва сторона)	D	I	24 V DC
36	Сигнал датчика сходу стрічки транспортера КЛ-2 (права сторона)	D	I	24 V DC
37	Сигнал датчика сходу стрічки транспортера КЛ-2 (ліва сторона)	D	I	24 V DC
38	Сигнал датчика обриву стрічки транспортера КЛ-1 (права сторона)	D	I	24 V DC
39	Сигнал датчика обриву стрічки транспортера КЛ-1 (ліва сторона)	D	I	24 V DC

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4	5
40	Сигнал датчика обриву стрічки транспортера КЛ-2 (права сторона)	D	I	24 V DC
41	Сигнал датчика обриву стрічки транспортера КЛ-2 (права сторона)	D	I	24 V DC

Таким чином кількість каналів вводу\виводу наступна:

AI – 4, DI – 31, DO – 6

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

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

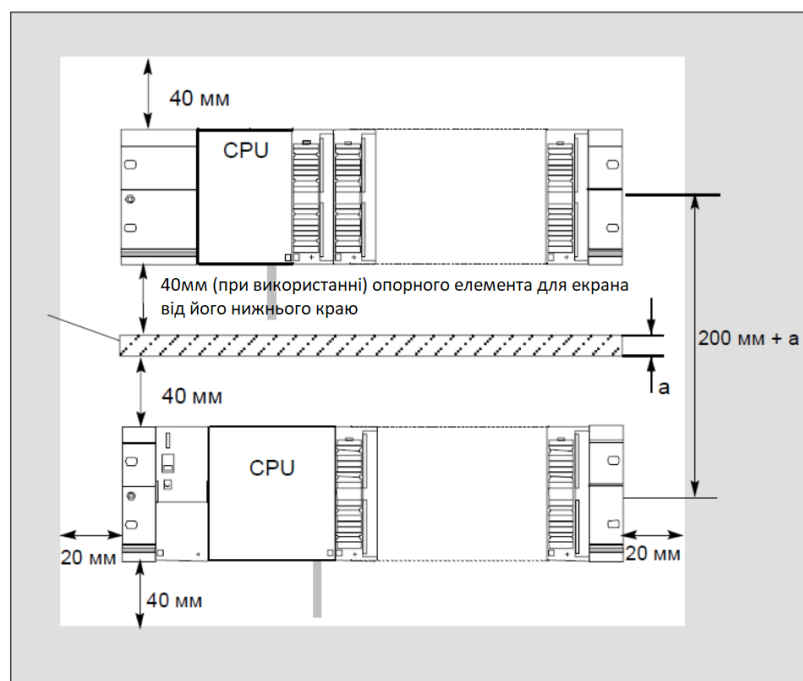


Рис. 5.34 – Зазори при встановленні S7-1500 у шафі.

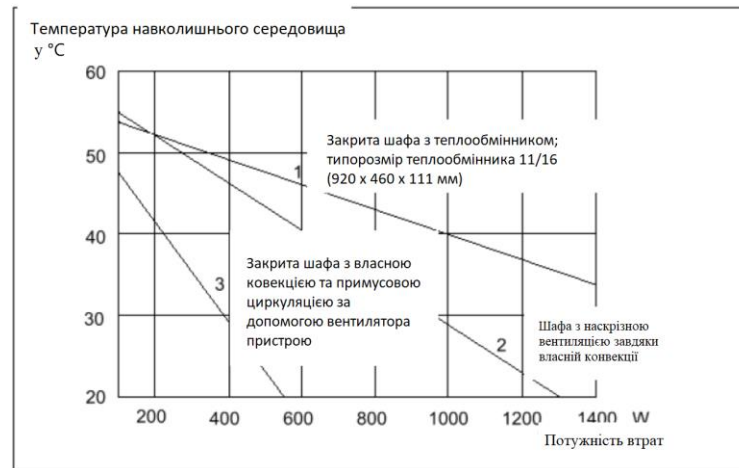


Рис. 5.35 – Діаграма припустимих потужностей розсіювання.

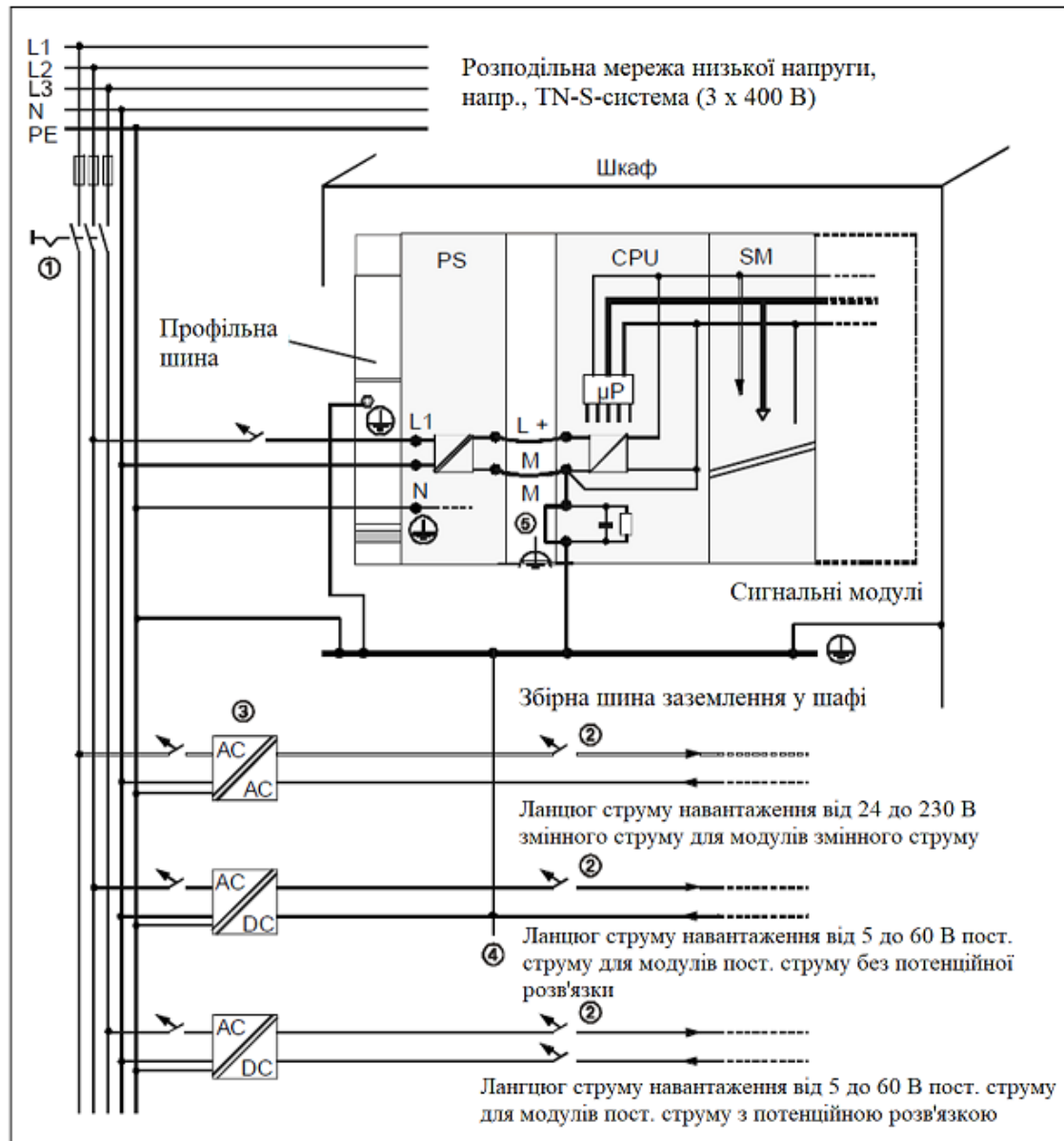


Рис. 5.36 – Схема заземлення в шафі.

Приміщення щитової опалювальне, що дозволяє використовувати модулі звичайного виконання.

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

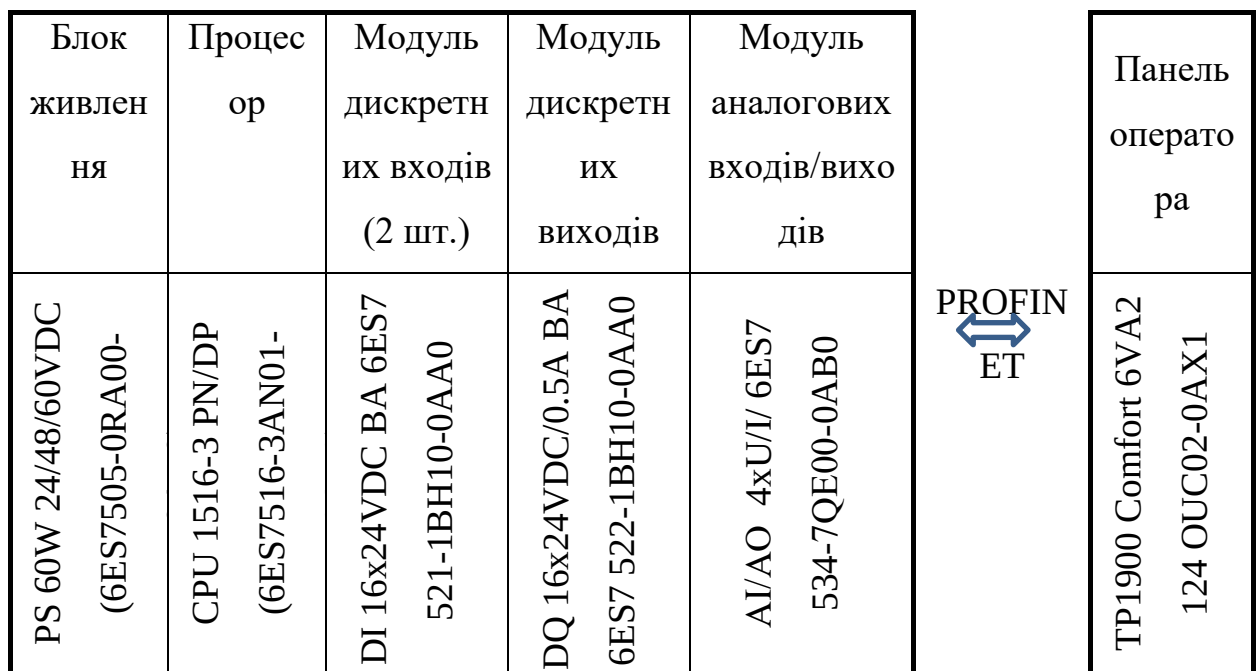


Рис. 5.37 – Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування процесом відвантаження зерна.

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

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

Input current	
Current consumption (rated value)	0.85 A
Inrush current, max. I_{P1}	2.4 A; rated value 0.02 A ² s
Power	
Power consumption from the backplane bus (balanced)	6.7 W
Incoming power to the backplane bus	12 W
Power loss	
Power loss, typ.	7 W
Memory	
Number of slots for SIMATIC memory card	1
SIMATIC memory card required	Yes
Work memory	
Integrated (for program)	1 MB
Integrated (for data)	5 MB

Рис. 5.38 – Технічні дані CPU.

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

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

6ES7521-1BH10-0AA0	
Input current	2.7 mA
for signal "1", typ.	
Input delay (for rated value of input voltage)	
For standard inputs	
• Configurable	No
• with "0" to "1", min.	3 ms
• with "0" to "1", max.	4 ms
• with "1" to "0", min.	3 ms
• with "1" to "0", max.	4 ms
For interrupt inputs	
• Configurable	No
for technological functions	
• Configurable	No
Cable length	
shielded, max.	1000 m
unshielded, max.	600 m

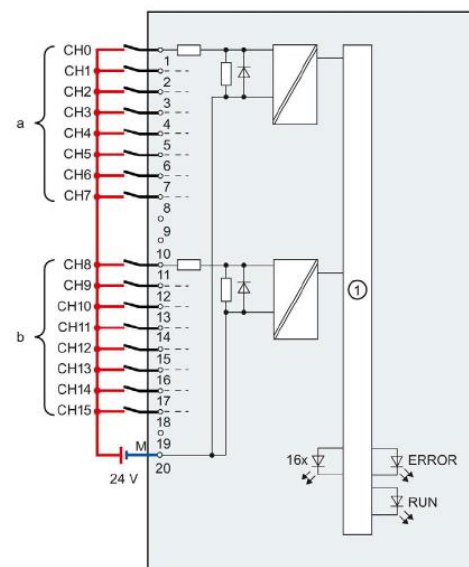


Рис. 5.39 – Технічні характеристики та схема підключень DI 16x24VDC BA.

Для виводу дискретних сигналів обраний модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0). При виводі керуючих сигналів на його виходах

з'являється напруга 24 VDC, вихідні транзистори здатні продукувати струм на навантаження до 0,5 А.

Digital outputs	
Type of digital output	Transistor
Number of outputs	16
Sourcing output	Yes
Digital outputs, configurable	No
Short-circuit protection	Yes
• Response threshold, typ.	1 A
Limitation of inductive shutdown voltage to	L+ (-53 V)
Activation of a digital input	Yes

6ES7522-1BH10-0AA0	
Switching capacity of the outputs	
With resistive load, max.	0.5 A
With lamp load, max.	5 W
Load resistance range	
Low limit	48 Ω
High limit	12 kΩ
Output voltage	
Type of output voltage	DC
for signal "1", min.	L+ (-0.8 V)
Output current	
For signal "1" rated value	0.5 A
For signal "1" permitted range, max.	0.5 A
For signal "0" residual current, max.	0.5 mA
Output delay with resistive load	
"0" to "1", max.	100 μs
"1" to "0", max.	500 μs

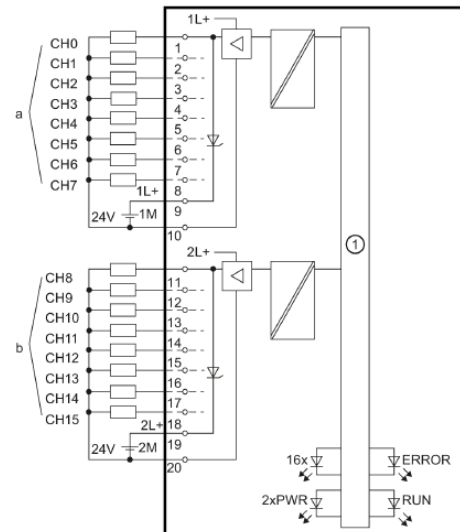


Рис. 5.40 – Технічні характеристики та схема підключень

DQ 16x24VDC/0.5A BA.

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

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

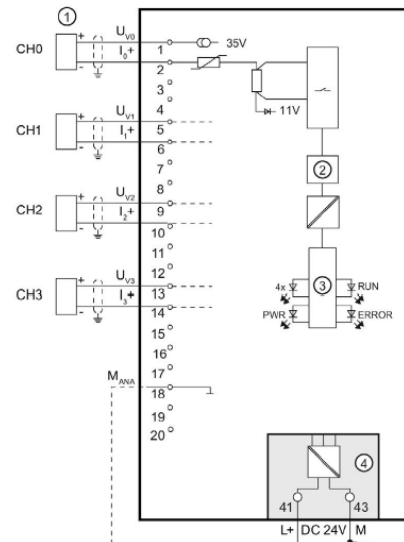


Рис. 5.41 – Технічні характеристики та схема підключень датчиків сили струму до входів 6ES7534-7QE00-0AB0.

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

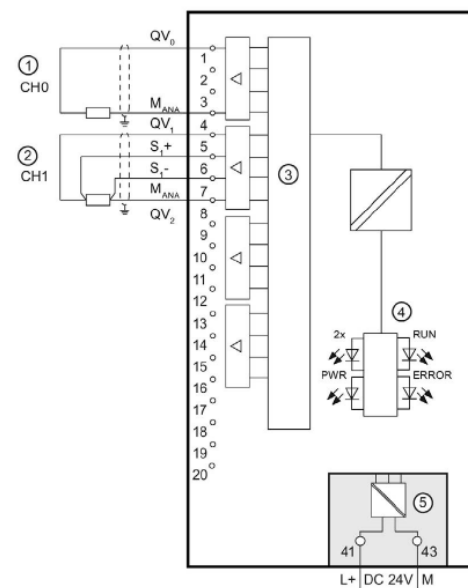


Рис. 5.42 – Технічні характеристики та схема формування уніфікованої напруги на виходах 6ES7534-7QE00-0AB0.

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

5.5 Висновки за розділом

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

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

6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж

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

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

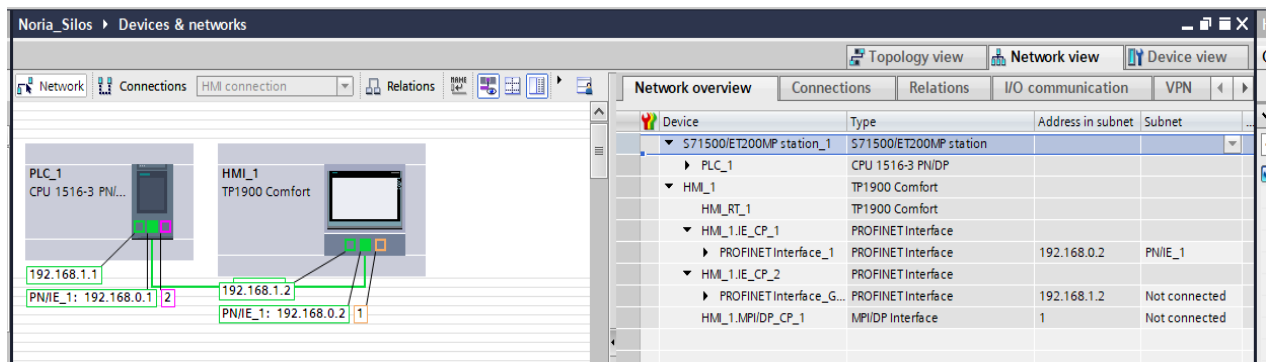


Рис. 6.1 – Визначення складу технічних засобів проекту та налаштування мережових зв'язків.

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

Далі обираємо з каталогу необхідні модулі вводу/виводу, перетягуємо їх за допомогою миші в поле редагування з бібліотеки (рис. 6.3) Присвоюємо імена фізичним входам і виходам і виконуємо конфігурування модулів ПЗО, для чого обираємо тип і діапазони зміни вхідних та вихідних сигналів (рис. 6.4)

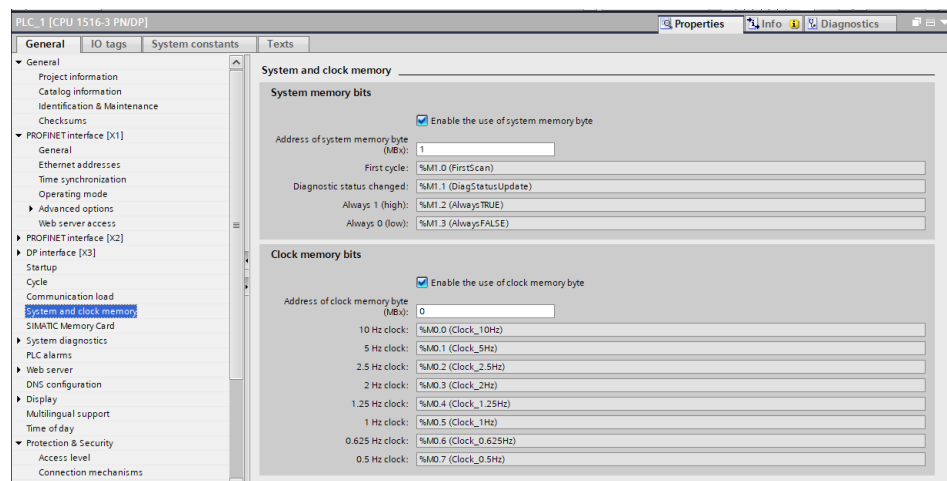


Рис. 6.2 – Конфігурування системних областей пам'яті CPU.

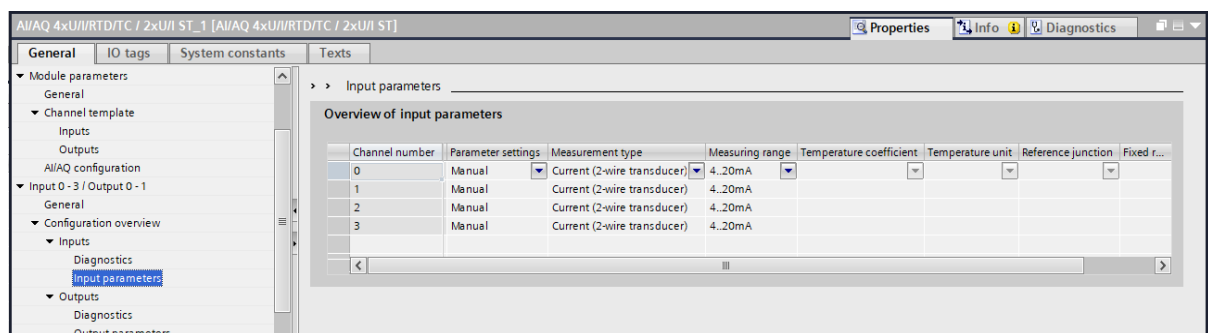
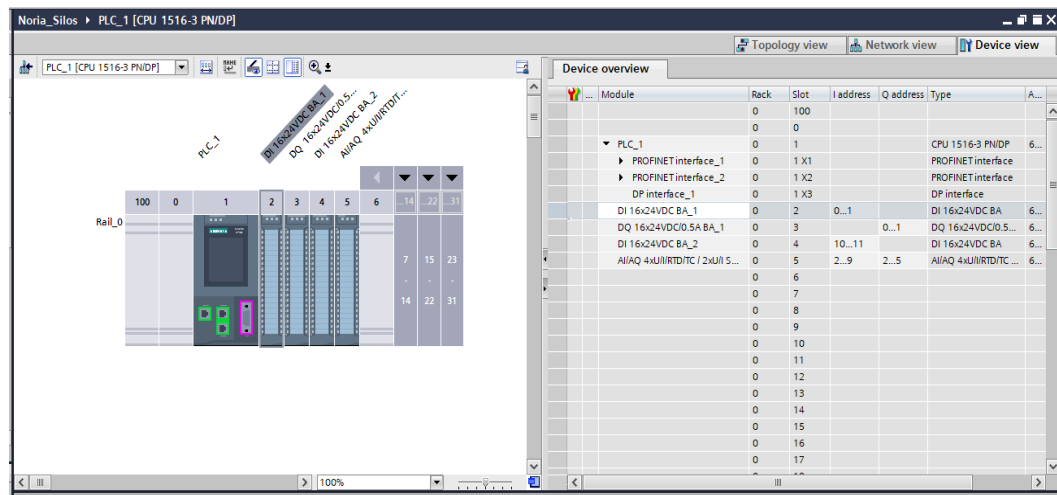


Рис. 6.4 – Приклад визначення виду вхідного сигналу і діапазону його зміни для аналогового модуля

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



	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Supervis...	Comment
34	Output10	Bool	%Q1.1						
35	Output11	Bool	%Q1.2						
36	Output12	Bool	%Q1.3						
37	Output13	Bool	%Q1.4						
38	Output14	Bool	%Q1.5						
39	Output15	Bool	%Q1.6						
40	Output16	Bool	%Q1.7						
41	L_wH1_5trom	Int	%I2						Струм навантаження норії
42	L_wK1_5trom	Int	%I4						Струм навантаження транспортеру КЛ1
43	L_wK2_5trom	Int	%I6						Струм навантаження транспортеру КЛ2
44	L_wB2_Pos	Int	%I8						Положення засувки
45	q_wReserv1	Int	%QW2						Керуючий вплив 1
46	q_wReserv2	Int	%QW4						Керуючий вплив 2
47	L_vAVMB	Bool	%I0.1						
48	L_XHomeValveVod	Bool	%I0.2						
49	L_XWerkValeVod	Bool	%I0.3						
50	bVod	Bool	%I0.4						
51	bin6	Bool	%I0.5						
52	bin7	Bool	%I0.6						

Рис. 6.5 – Приклад вікна таблиці тегів САК процесу відвантаження зерна.

6.2. Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування

В дереві каталогу проекту створюємо дві папки: Cyclic, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи регулювання продуктивності норії, та Logic, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи логічного керування ПТЛ відвантаження зерна.

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

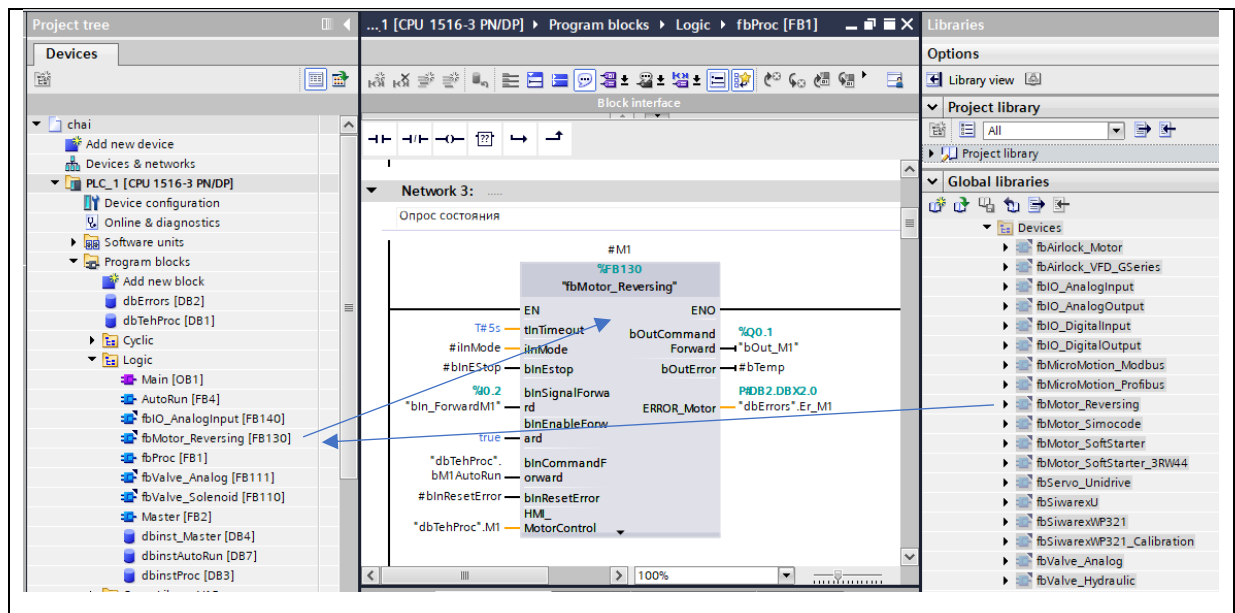


Рис. 6.6 – Приклад додавання функціонального блоку FB Motor

Основні функціональні можливості цих блоків:

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

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

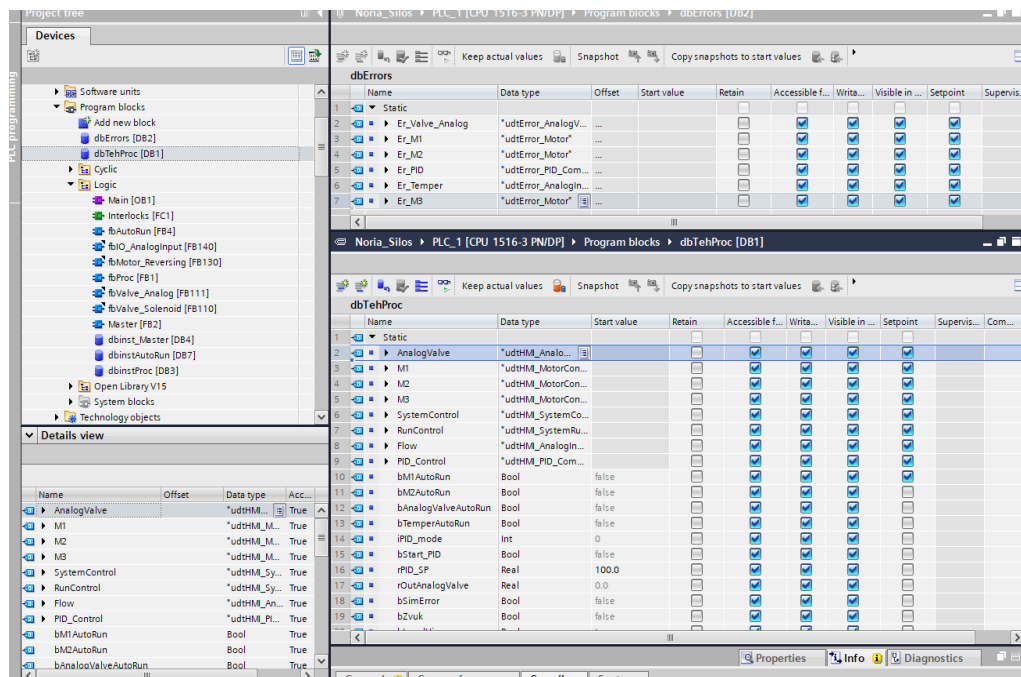


Рис. 6.7 – Створення глобальних блоків даних dbTehProc, dbErrors при реалізації САК ПТЛ відвантаження зерна.

Створення підпрограм логічного керування.

Спочатку розробляємо підпрограму fbProc опитування стану обладнання, а саме електроприводів стрічкових транспортерів КЛ1 (М1) та КЛ2 (М2) і Н-1 (М3), аналогового приводу засувки та блоку обробки аналогового сигналу. Створюємо інтерфейс цього функціонального блоку, в якому в розділах Input, Output, Static, Temp вказуємо імена змінних та їх типи.

	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Supen
1	Input								
2	inMode	Int	0	Non-ret...	☒	☒	☒	☐	☐
3	binEStop	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
4	binResetError	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
5	binSimulate	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
6	Output								
7	bOutAuto	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
8	bOutError	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
9	InOut								
10	<Add new>								
11	Static								
12	M1	*fbMotor_Reversing			☒	☒	☒	☐	☐
13	M2	*fbMotor_Reversing			☒	☒	☒	☐	☐
14	AnalogValve	*fbValve_Analog			☒	☒	☒	☐	☐
15	Flow	*fbIO_AnalogInput			☒	☒	☒	☐	☐
16	rOutAnalogValve	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☒	☐
17	rinAnalogValve	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
18	iTemper	Int	0	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
19	wTempRez	Word	16#0	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
20	wTemper	Word	16#0	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
21	unipolar	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	☐
22	M3	*fbMotor_Reversing			☒	☒	☒	☐	☒
23	Temp								
24	bTemp	Bool			☐	☐	☐	☐	☐
25	wTempo	Word			☐	☐	☐	☐	☐

Рис. 6.8 – Інтерфейс функціонального блоку fbProc.

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

Аналогічно здійснюється опит стану блоку аналогового керування засувкою (рис. 6.10) (рис. 6.11). Для цього викликаються екземпляр бібліотечного функціонального блоку fbValve_Analog, до входів/виходів якого підключаються відповідні змінні із блоків даних dbTehProc, dbErrors.

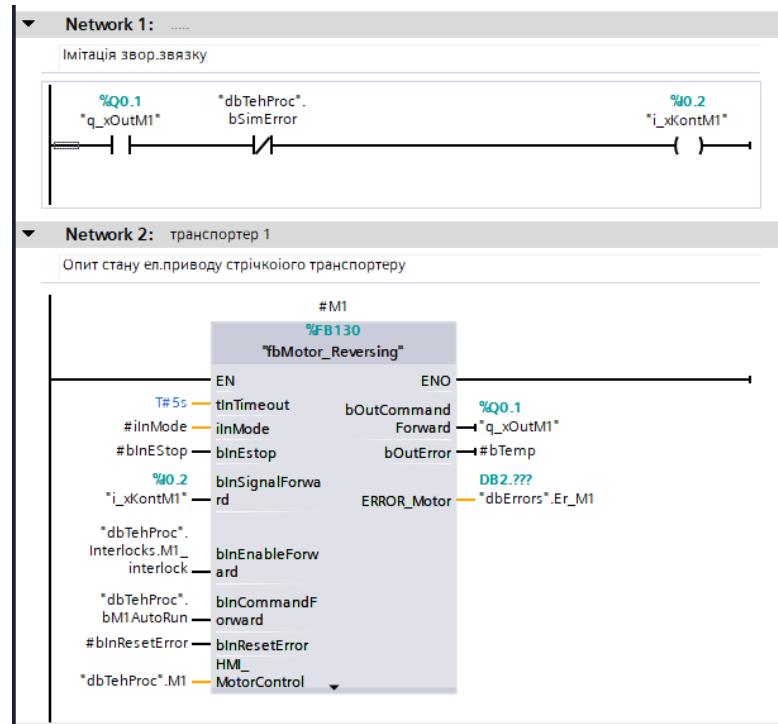


Рис. 6.9 – Фрагмент підпрограми fbProc

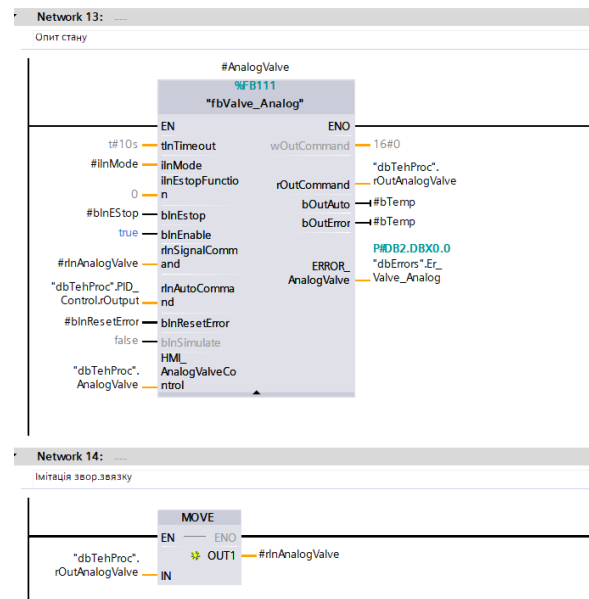


Рис. 6.10 – Фрагмент підпрограми fbProc

В кінці програми проводяться перевірки режиму роботи та похибок обладнання.

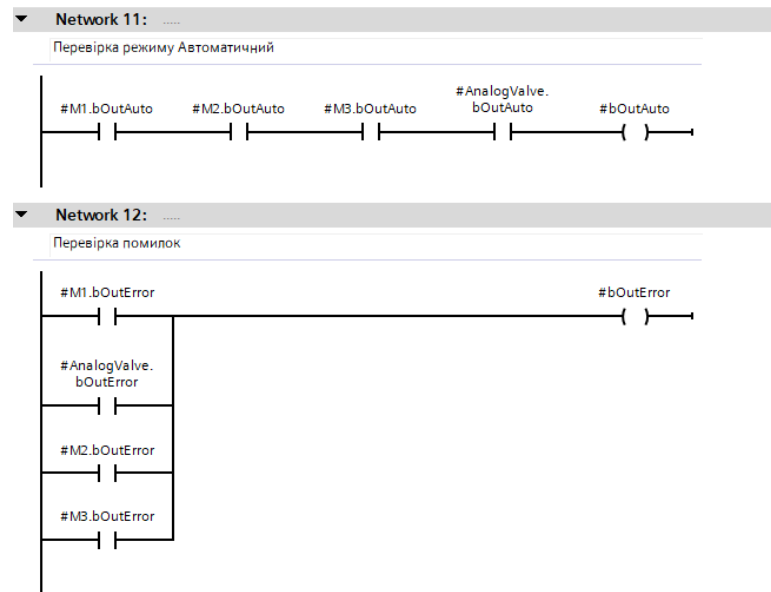


Рис. 6.11 – Фрагмент підпрограми fbProc

Далі складаємо підпрограму пуску та зупинки обладнання ділянки потоково-транспортної системи перевантаження зерна fbAutoRun, яка базується на алгоритмах, розроблених у розділі 4.

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

Noria_Silos > PLC_1 [CPU 1516-3 PN/DP] > Program blocks > Logic > fbAutoRun [FB4]									
fbAutoRun									
	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	
1	Input								
2	binEnableStart	Bool	false	Non-ret...	☒	☒	☒	☐	
3	binNotError	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
4	Output								
5	bOutAutoRunning	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
6	InOut								
7	<Add new>								
8	Static								
9	bAutoRun	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
10	bAutoStop	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
11	bZvuk	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
12	bM1	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
13	bSP	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
14	bM2	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
15	bSV	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
16	bSV3	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
17	Timer1	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☒	
18	Timer2	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☒	
19	Timer3	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☒	
20	Timer4	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☒	
21	Timer5	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☒	
22	Timer6	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☒	
23	bM3	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐	
24	Timer7	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒	☒	
25	Temp								

Рис. 6.12 – Інтерфейс функціонального блоку fbAutoRun

А далі на мові LD пишуться строки цього блоку (рис. 6.13), які забезпечують почерговий запуск та зупинку електроприводів та засувки. Інтервали затримок встановлюються у відповідних таймерах типу TON, які відносяться до базових інструкцій мови, так само як і SR-тригери.

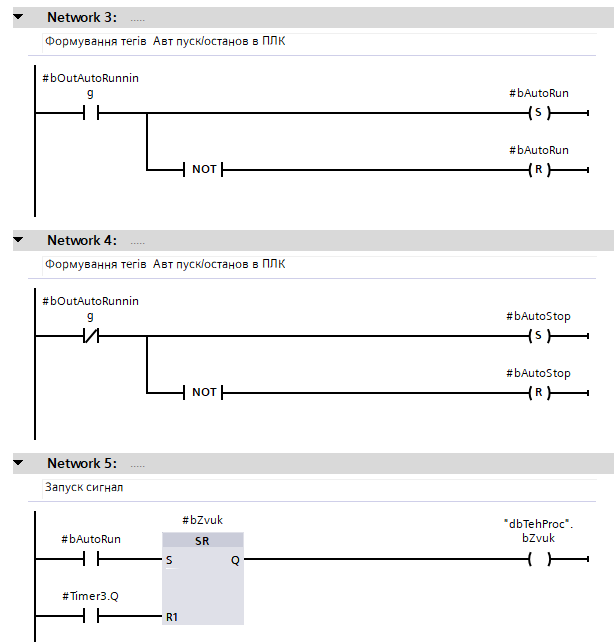


Рис. 6.13 – Фрагмент підпрограми fbAutoRun

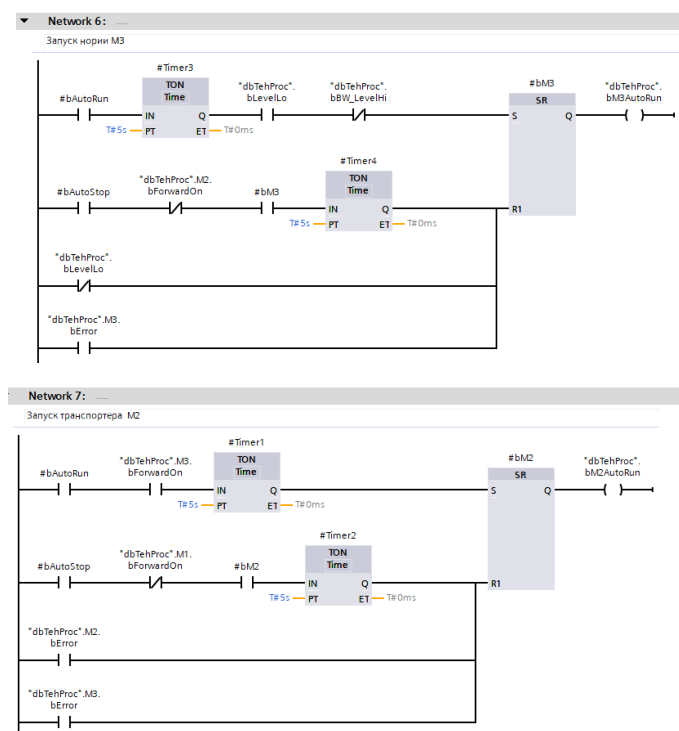


Рис. 6.14 – Фрагмент підпрограми fbAutoRun

Завершують підпрограму строки із визначенням поточного режиму роботи ділянки ПТЛ відвантаження зерна (рис. 6.15).

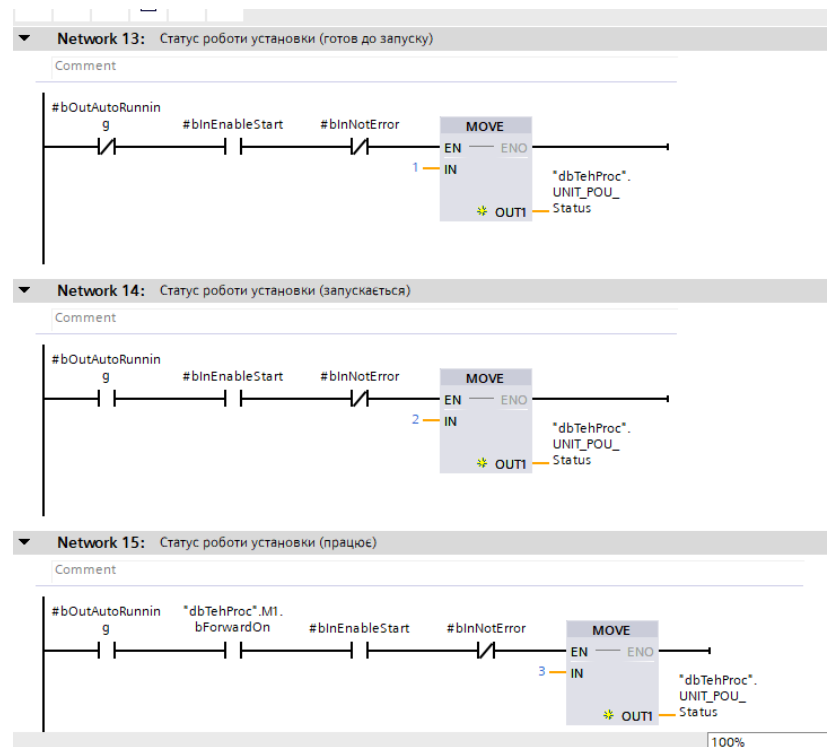


Рис. 6.15 – Фрагмент підпрограми fbAutoRun

Виклик на виконання підпрограм fbProc та fbAutoRun здійснюється в підпрограмі Master (рис. 6.16), яка в свою чергу викликається на виконання в головній програмі Main (OB1).



Рис. 6.16 – Інтерфейс та текст підпрограми Master

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

6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання

Алгоритми регулювання продуктивності норії були розроблені і протестовані в розділах 1..3, де були визначені параметри моделі об'єкту керування і параметри ПІД-регуляторів.

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

Модель САР запрограмована з використанням функціональних блоків типового регулятора fbPID_Compact та типових динамічних ланок з бібліотеки Lsim (FB Lsim_Lagging і FB Lsim_PT1), що формують модель ОК. Інтерфейс

підпрограми SAR представлений на рис. 6.17, в якому вказані змінні підпрограми та їх типи.

Noria_Silos ▶ PLC_1 [CPU 1516-3 PN/DP] ▶ Program blocks ▶ Cyclic ▶ fbSAR [FB3]

fbSAR

	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint
1	▼ Input							
2	■ <Add new>							
3	▼ Output							
4	■ <Add new>							
5	▼ InOut							
6	■ <Add new>							
7	▼ Static							
8	▶ PID_reg	*fbPID_Compact*			☒	☒	☒	☒
9	▶ PID_reg_1	*fbPID_Compact*			☒	☒	☒	☒
10	▶ Zap	*LSim_Lagging*			☒	☒	☒	☒
11	▶ ApZveno	*LSim_PT1*			☒	☒	☒	☒
12	▶ ApZveno_1	*LSim_PT1*			☒	☒	☒	☒
13	uDelayCycles	UInt	28	Non-retain	☒	☒	☒	☐
14	▼ Temp							
15	bTemp	Bool			☐	☐	☐	☐
16	iTemp	Int			☐	☐	☐	☐
17	diTemp	DInt			☐	☐	☐	☐
18	dwTemp	DWord			☐	☐	☐	☐
19	rTemp	Real			☐	☐	☐	☐
20	▼ Constant							
21	■ <Add new>							

Рис. 6.17 – Інтерфейс функціонального блоку fbSAR

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

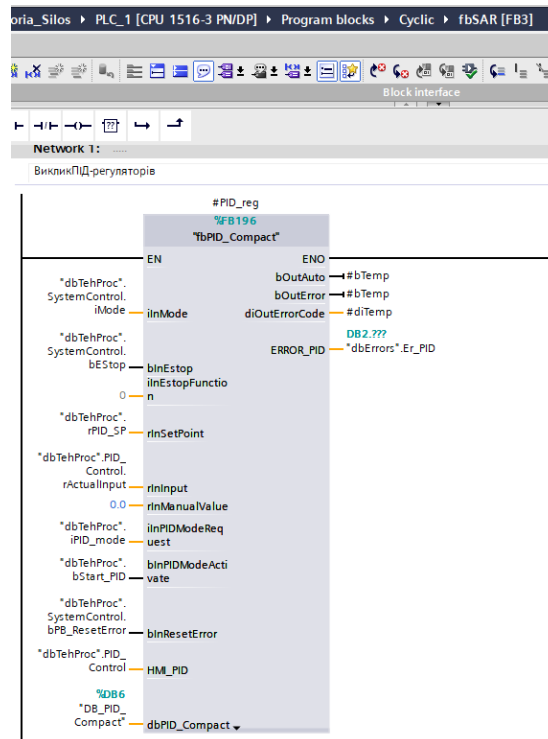


Рис. 6.18 – Фрагмент функціонального блоку fbSAR, що реалізує ПІД регулятор продуктивності норії.

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

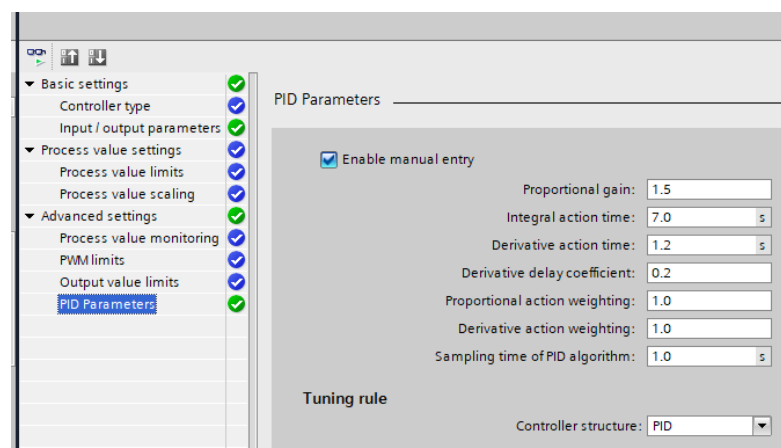


Рис. 6.19 – Приклад налаштування параметрів ПІД-регулятора продуктивності норії.

Вихідний сигнал ПІД-регулятора підключається до входів функціонального блоку аналогового клапану (див. рис. 6.10).

Далі за допомогою екземплярів типових ланок: запізнення Lsim_Lagging та інерційної ланки першого порядку Lsim_PT1, викликається на виконання модель ОК (рис. 6.20). Параметри моделі відповідають значенням, отриманим при ідентифікації моделі ОК.

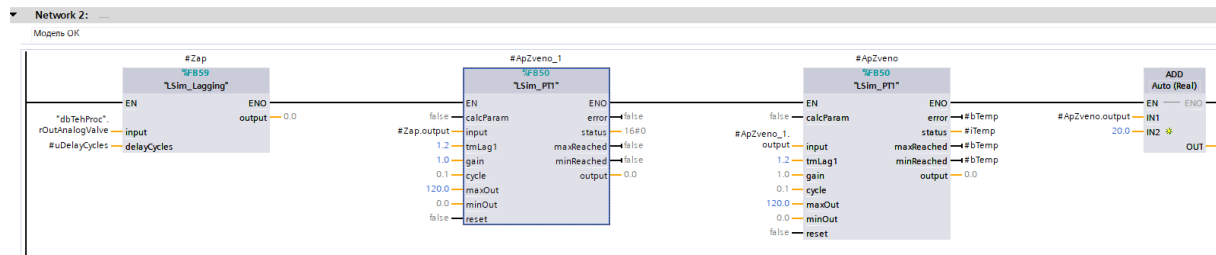


Рис. 6.20 – Фрагмент функціонального блоку fbSAR, що реалізує модель ОК

Тестування проекту проводиться в режимі емуляції контролера з використанням програми S7 PLCSIM. На рисунку 6.21 представлений загальний вигляд вікна емулятора контролера з працюючою в ньому програмою.



Рис. 6.21 – Вигляд вікна програми PLCSIM

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

6.4 Висновки за розділом

В результаті виконання даного розділу були отримано навички використання документації виробника, правильного вибору необхідних модулів контролерів і ПЗО сімейства S7-1500.

Отримано практичний досвід програмного конфігурування контролерів сімейства S7-1500 в середовищі TIA Portal та розробки програм логічного керування та регулювання для процесу відвантаження зерна.

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

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

Для організації зв'язку між контролером САК ПТЛ відвантаження зерна та панеллю оператора вибираємо тип сполучення «HMI connection» та встановлюємо унікальні IP адреси технічних засобів в мережі PROFINET (PLC-192.168.0.1; HMI-192.168.0.2).

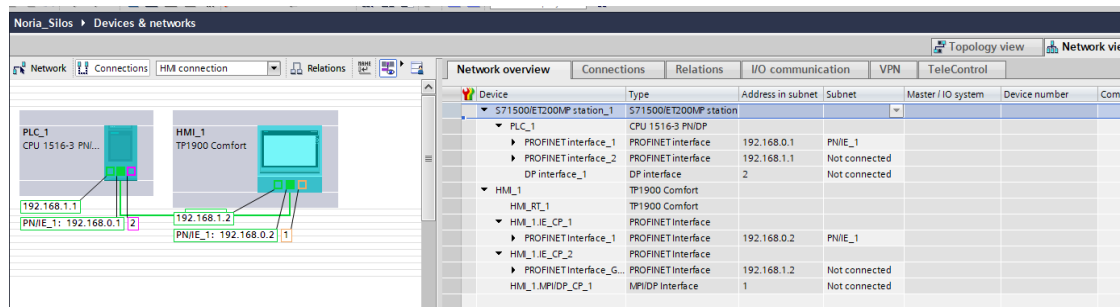


Рис. 7.1 – Встановлення IP-адрес технічних засобів проекту та типу їх сполучення в мережі.

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

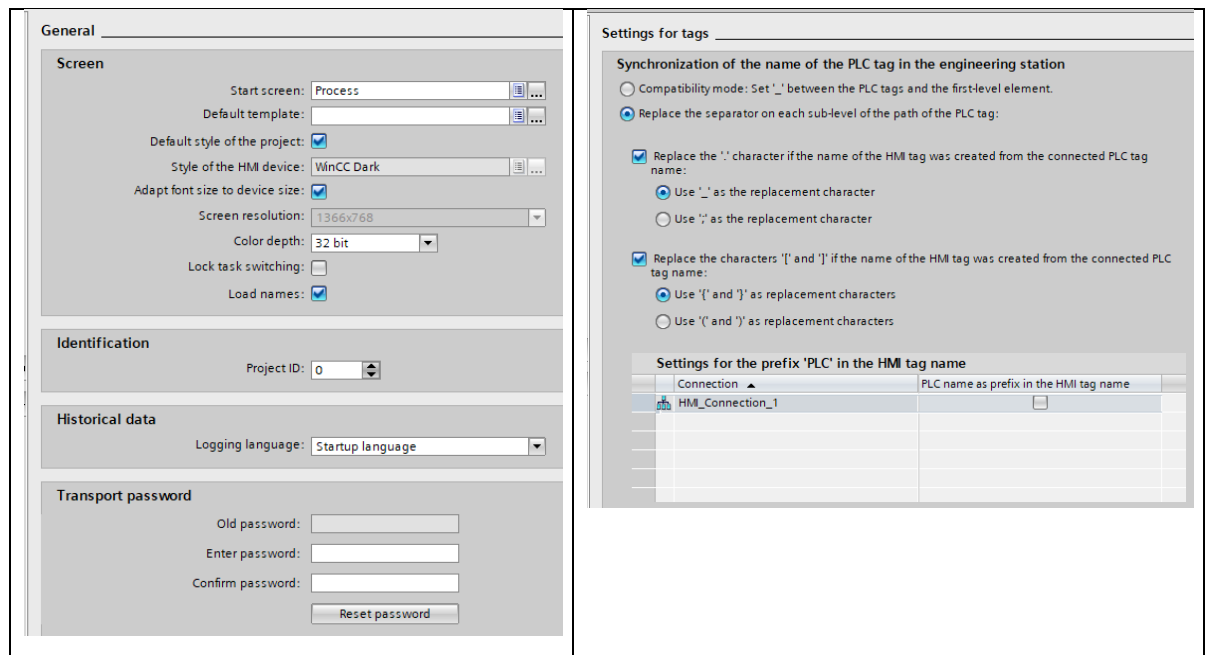


Рис. 7.2 – Конфігурування TP 1900 Comfort.

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

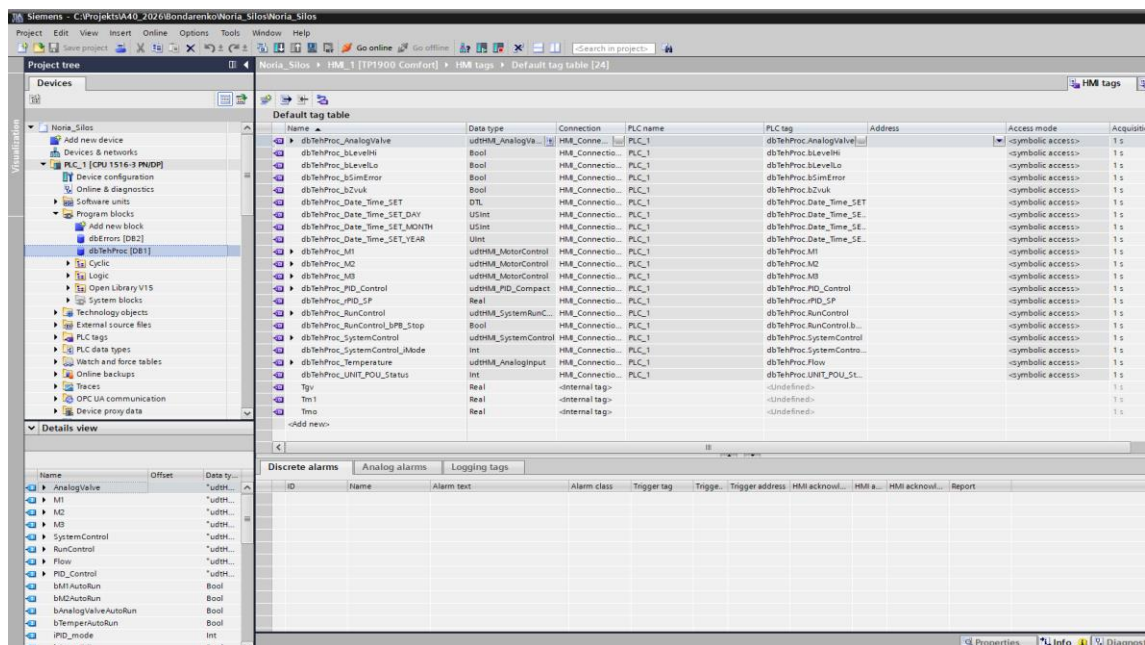


Рис. 7.3 – Приклад створення таблиці НМІ-тегів при реалізації САК ПТЛ відвантаження зерна.

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

7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога.

Структура екранів АРМ оператора-технолога САК ПТЛ відвантаження зерна повинна містити в собі екрани для керування процесом відвантаження:

- екран схеми установки для управління технологічним процесом відвантаження зерна;

- екран для спостерігання за регульованими змінними (продуктивність норії);

- екран для відтворення діагностичних повідомлень про роботу ПТЛ відвантаження зерна.

Функції екранів АРМ оператора-технолога:

- екран схеми установки надає функції управління усіма засувками та електродвигунами, як в автоматичному режимі, так і в ручному, дозволяє задати режим роботи ПТЛ та продуктивності норії;

- екран для спостерігання за регульованими змінними надає можливість спостерігати за графіком зміни продуктивності норії в реальному часі, змінювати задане значення та налаштування регулятора;

- екран для відтворення діагностичних повідомлень надає можливість бачити аналогові та дискретні повідомлення про несправності обладнання та порушення регламентів процесу відвантаження зерна, а також перегляду повідомлень, які зберігаються в архіві.

7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога

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

Шаблон екранів включає заголовок екрану і меню перемикавання екранів АРМ. Він включає інформацію о поточному стані роботи ПТЛ, елемент відображення поточної дати і часу, назву проекту, ім'я користувача.

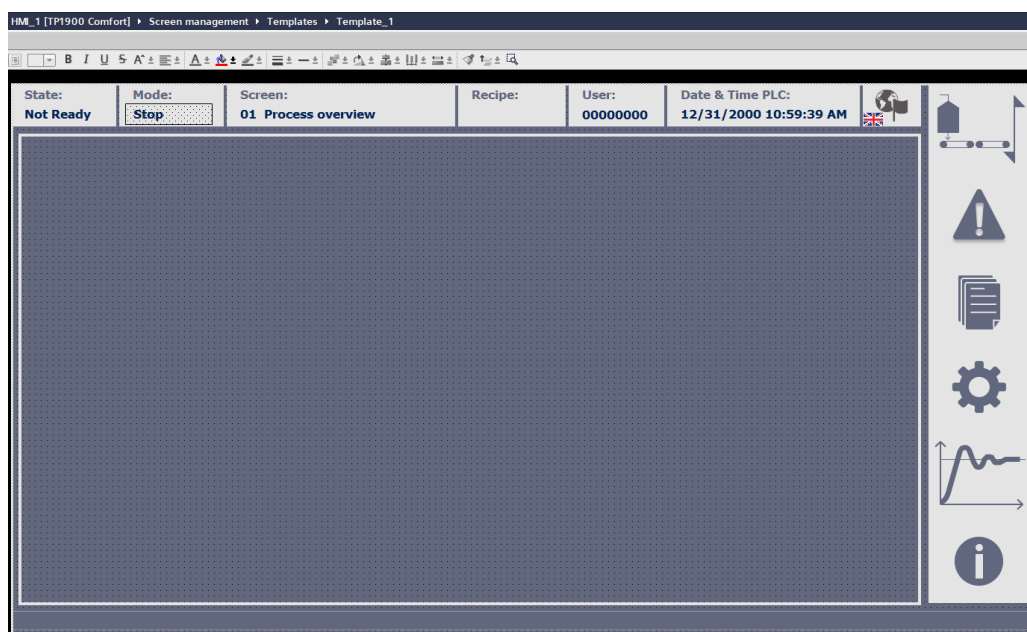


Рис. 7.4 – Загальний вигляд шаблону екранів.

Меню переключення екранів складається з набору кнопок, що дозволяють виконувати перемикання між різними графічними вікнами станції оператора процесом пастеризації молока. Для перемикання вікон використовуються спеціальні системні функції.

У властивостях Properties кожного спливаючого вікна на вкладці Interface встановлюємо взаємозв'язок із тегом НМІ (структурним тегом), який буде забезпечувати динамізацію зображення вікна та можливість керування оператором станом електроприводів та клапанів.

Основний екран «Схема установки» містить схематичне зображення технологічної схеми ПТЛ відвантаження зерна з нанесеними на нього елементами відображення і керування. Зображення створено в графічному редакторі TIA Portal з використанням стандартних елементів графічної бібліотеки цього редактора. Встановлені на схемі графічні елементи відображення і управління дозволять оператору контролювати стан обладнання установки і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням ПТЛ.

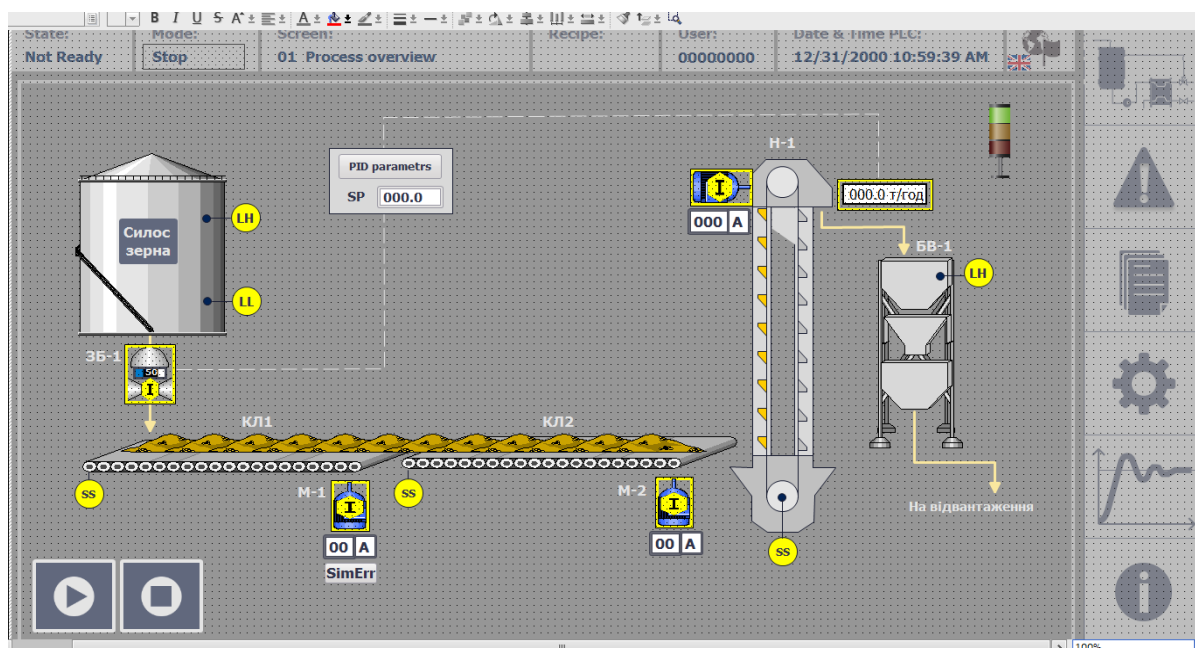


Рис. 7.7 – Головний екран АРМ оператора процесом відвантаження зерна.

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

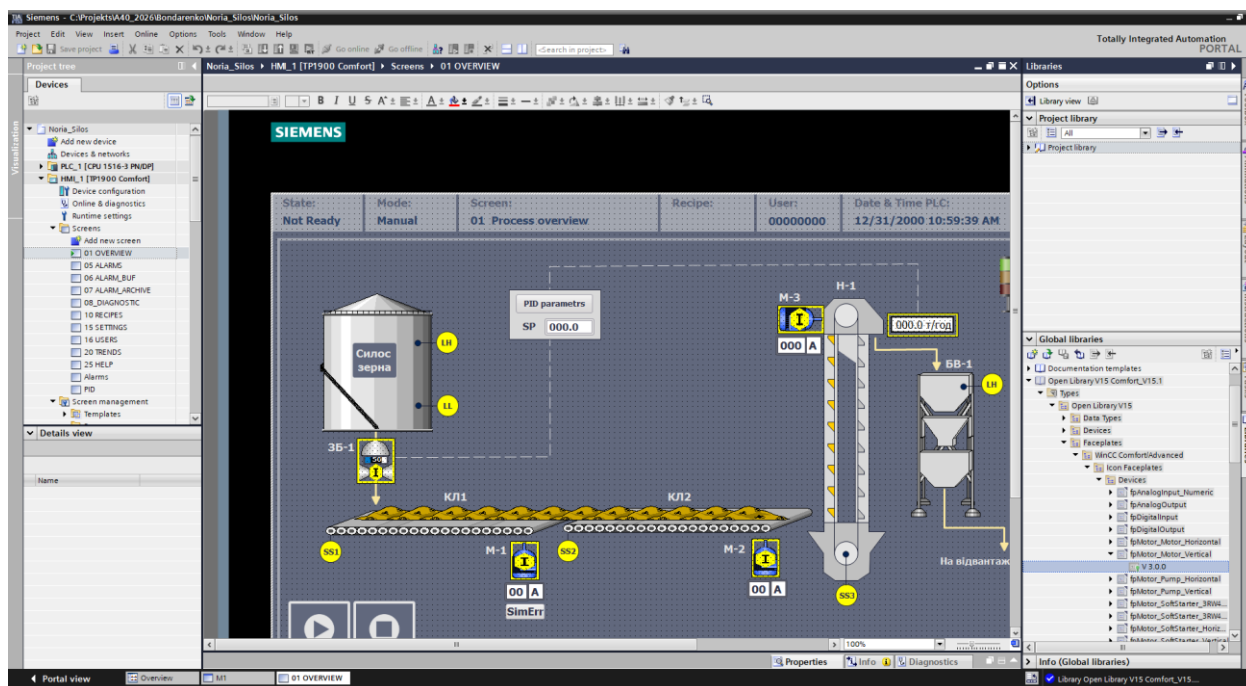


Рис. 7.8 – Приклад налаштування піктограми електроприводу транспортеру.

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

Для реєстрації зміни продуктивності норії та налаштування параметрів ПІД-регулятора в проекті передбачений екран «20 TRENDS» (рис. 7.9).

Для побудови графіків зміни продуктивності норії використовується елемент Trend View із стандартної бібліотеки. Приклад його налаштування наведений на рис. 7.10.

Виклик спливаючого вікна налаштування параметрів ПІД-регулятора продуктивності норії здійснюється натисканням відповідної кнопки на екрані «Схема установки» (рис.7.7).

Змінити задане значення продуктивності норії можна за допомогою вікна вводу/виводу. Приклад налаштування вікна вводу/виводу та кнопки наведено на рис. 7.11.

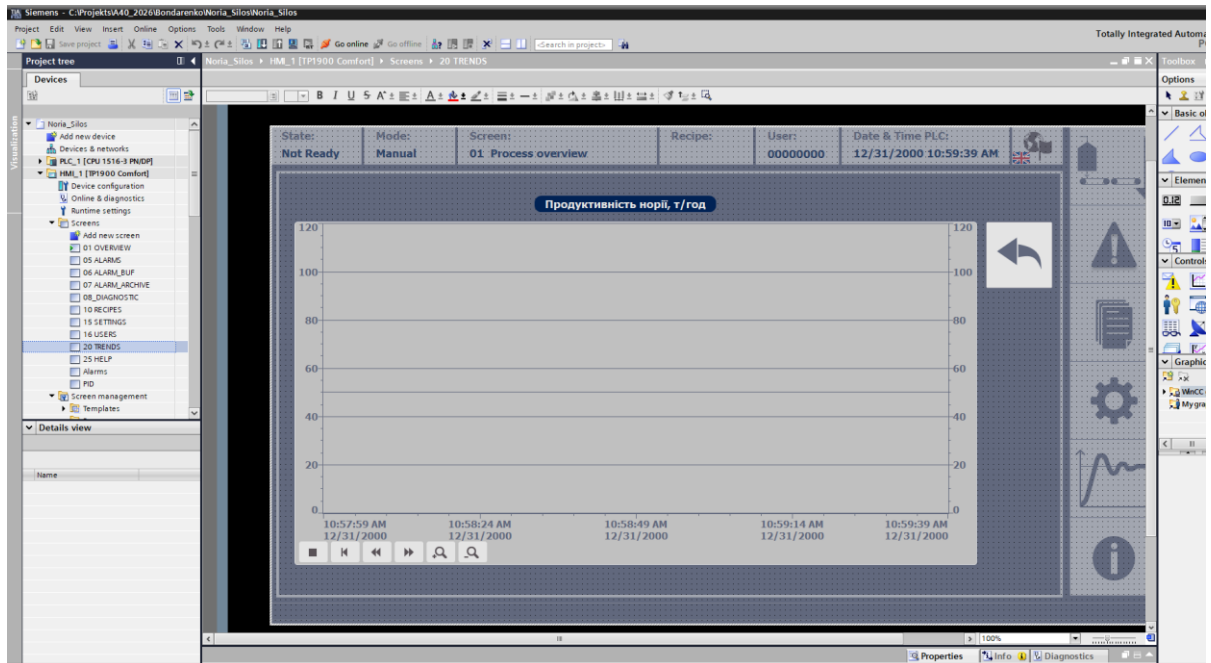


Рис. 7.9 – Екран графіків.

Trend view_2 [Trend view]	
Properties Animations Events Texts	
Property pages	
Name	Static value
Trend	Trend_1, Trend_2
Trend_1	
Bar width	50
Bit	1
Buffer	
Buffer tag	<Undefined>
Color high limit	255, 0, 0
Color low limit	255, 255, 0
Cyclic	1
Foreground color	0, 0, 0
Limit value line	
Line style	Solid
Log	<Undefined>
Log entry	<Undefined>
Name	Trend_1
Side	Left
Status color	0, 0, 255
Trend display mo...	Interpolated
Trend line width	1
Trend tag	dbTehProc_PID_Control_MrActualInput
Trend type	Cyclical real time
Trend values	100

Рис. 7.10 – Вікно налаштування елементу Trend.

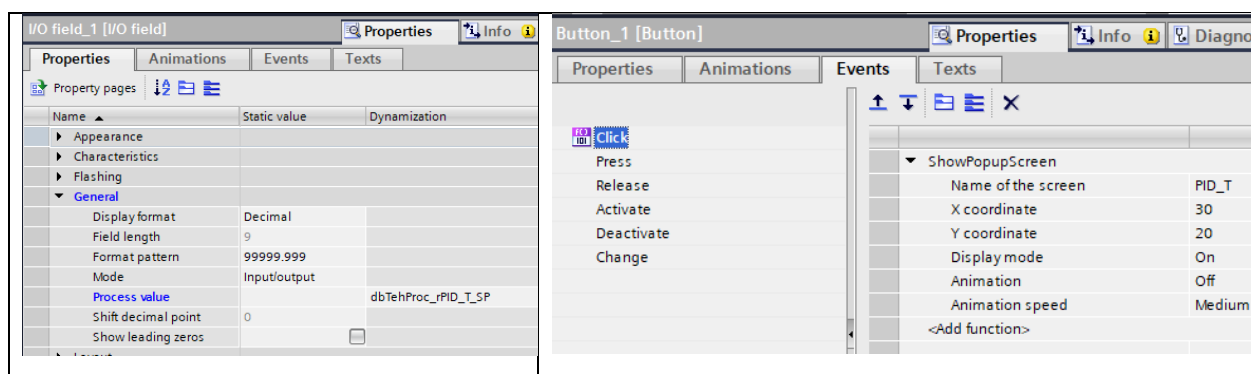


Рис. 7.11 – Налаштування вікна вводу/виводу та кнопки.

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

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

Далі теги з цього блоку даних пов'язуємо з 16-бітними тегами НМІ станції АРМ оператора процесу відвантаження зерна.

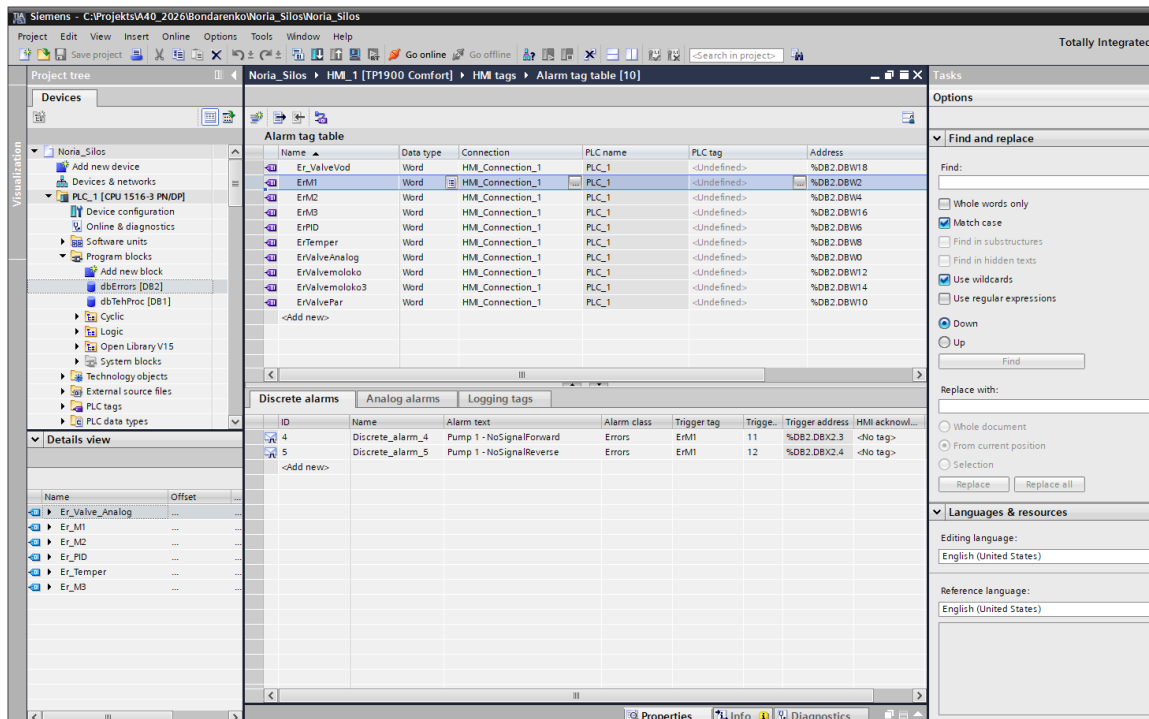


Рис. 7.12 – Приклад прив'язки тегів dbErrors з HMI-тегами для обладнання ПТЛ.

Кожний біт HMI-тега з «Alarm tag table» сортуємо по типам та по класам Errors або Warnings (див. рис. 7.12). Кожному з цих бітів відповідає своє повідомлення (Alarm text). Аналогові повідомлення створюємо окремо. Приклад створення аналогових повідомлень для продуктивності норії наведено на рис. 7.13.

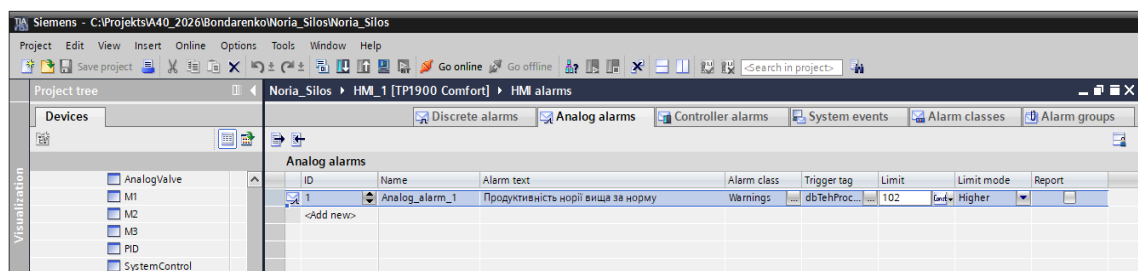


Рис. 7.13 – Приклад створення аналогових повідомлень.

Встановлюємо максимальне граничне значення продуктивності норії – 102 т/год.

Для відображення цих повідомлень для оператора створюємо екран

Alarms (див. рис. 7.14).

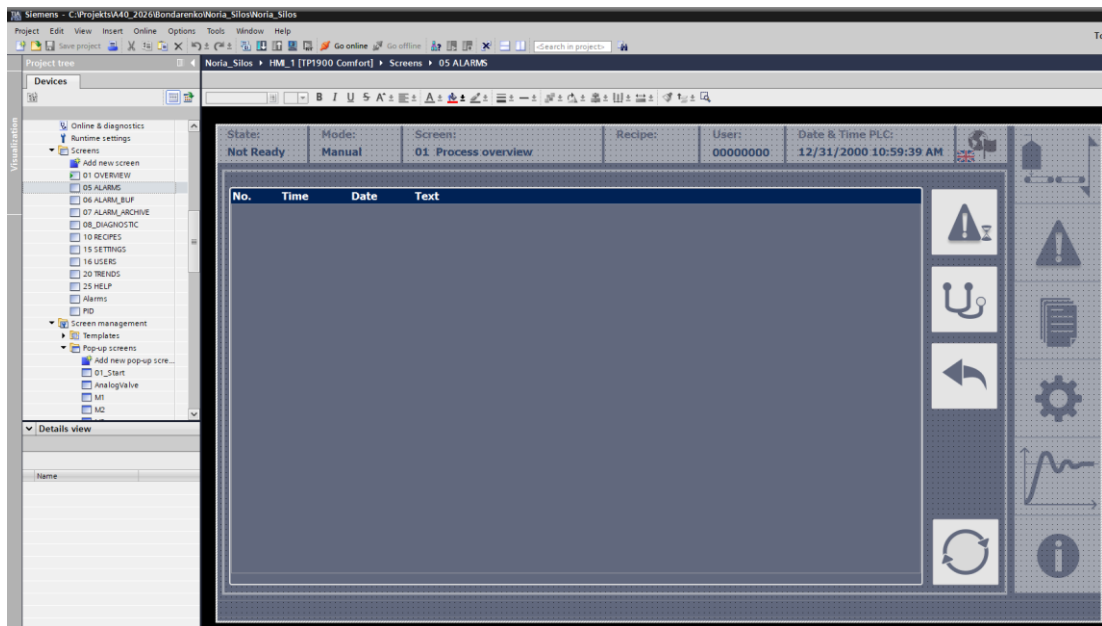


Рис. 7.14 – Екран Alarms повідомлень про несправності в системі керування процесом відвантаження зерна.

Вивід повідомлень на екран виконується за допомогою елемента «Alarm View», який може бути налаштований на виведення поточних активних повідомлень, вмісту буфера повідомлень, вмісту архіву повідомлень. Приклад налаштування наведено нижче на рис. 7.15.

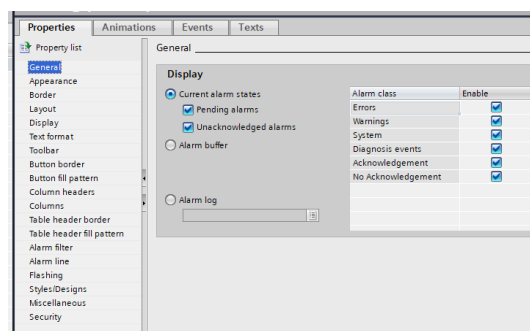


Рис. 7.15 – Налаштування властивостей елемента Alarm View

При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів. Елемент (рис. 7.15) налаштований на вивід поточних активних повідомлень.

7.4 Тестування системи керування

Тестування роботи САК процесу відвантаження зерна проведемо в режимі емуляції контролера з використанням програми S7-PLCSIM, в середовище якої завантажуюємо проект ПЛК після його компіляції. Відображення екранів виконується в режимі симуляції в середовищі WinCC Runtime Advanced, куди після компіляції завантажуюємо проект HMI.

В залежності від вимог виробництва оператор має змогу налаштувати систему керування на режими: стоп, ручний, автоматичний, індивідуальний.

Результати тестування роботи системи наведено на рис. 7.16 – 7.19.

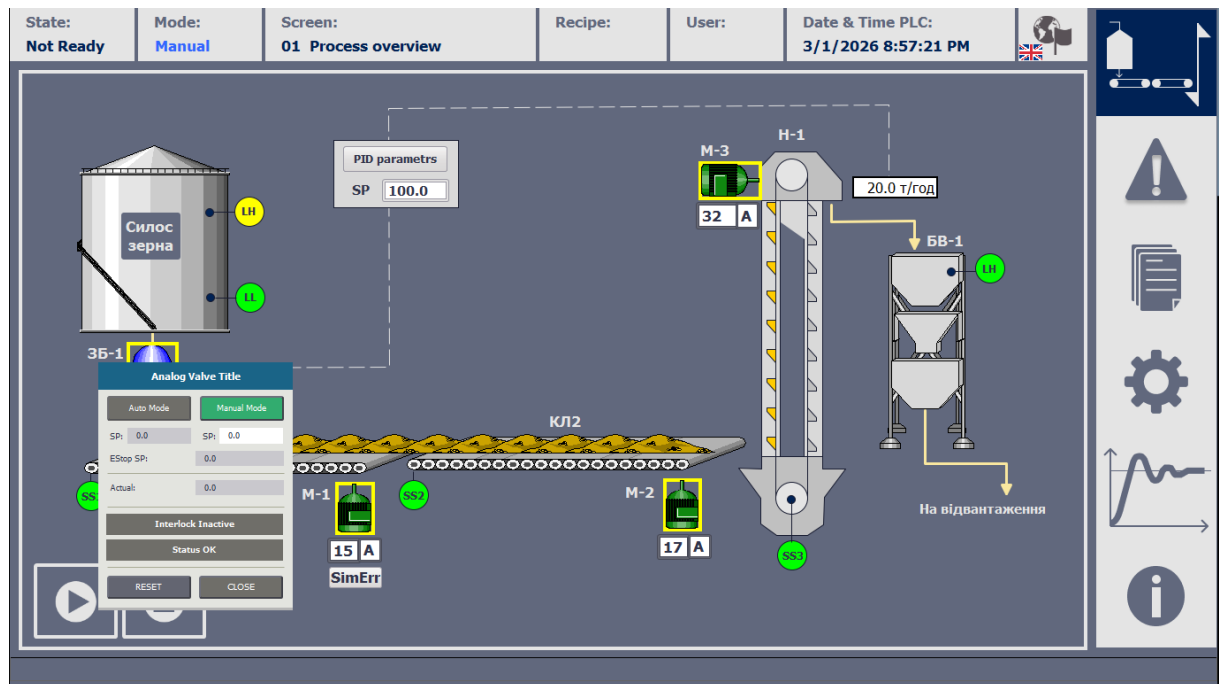


Рис. 7.16 – Схема установки відвантаження зерна в ручному режимі керування.

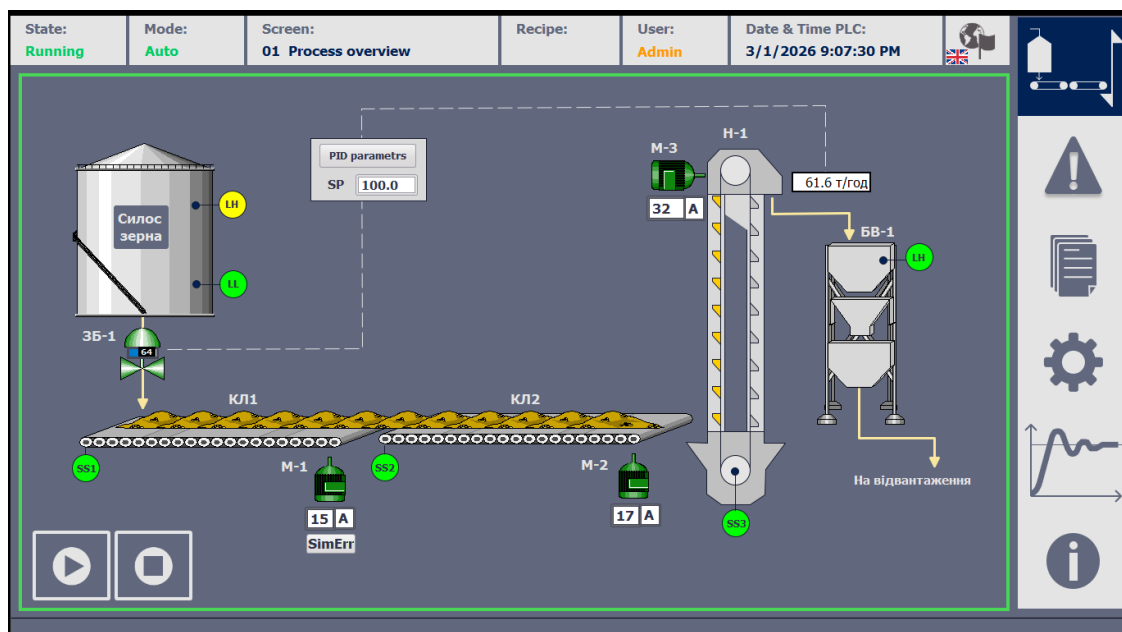


Рис. 7.17 – Схема установки з відвантаження зерна в автоматичному режимі керування.

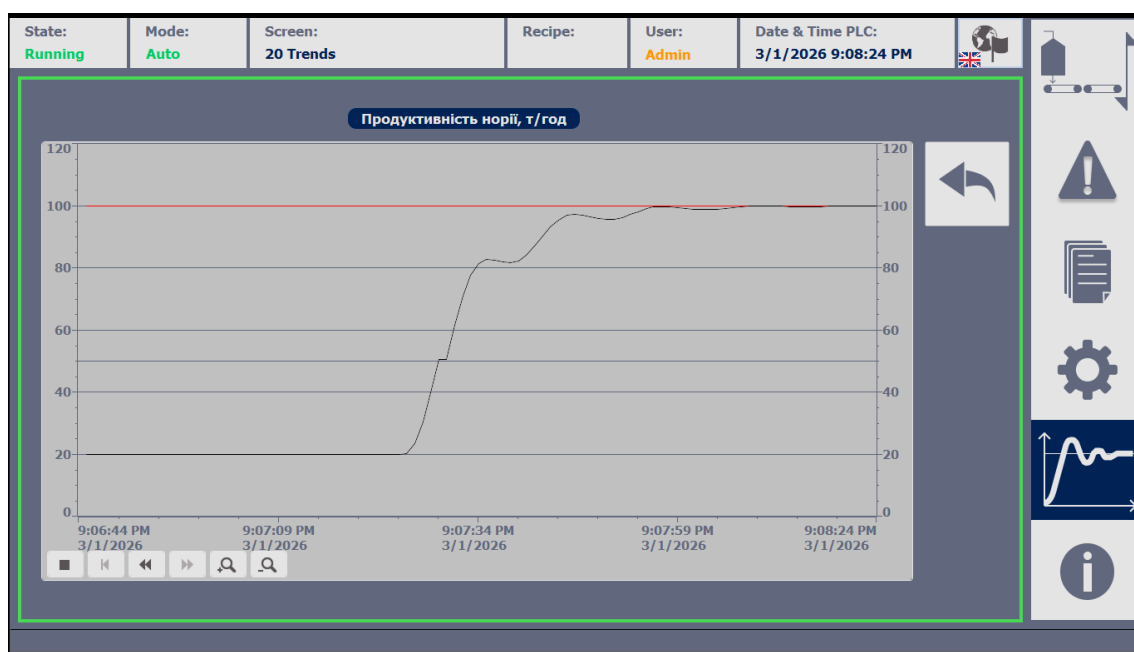


Рис. 7.18 – Екран «20 TRENDS» з відображенням продуктивності норії в тестовому режимі.

Екран Alarms відображення повідомлень в тестовому режимі при запуску ПТЛ у роботу наведено на рис. 7.19.

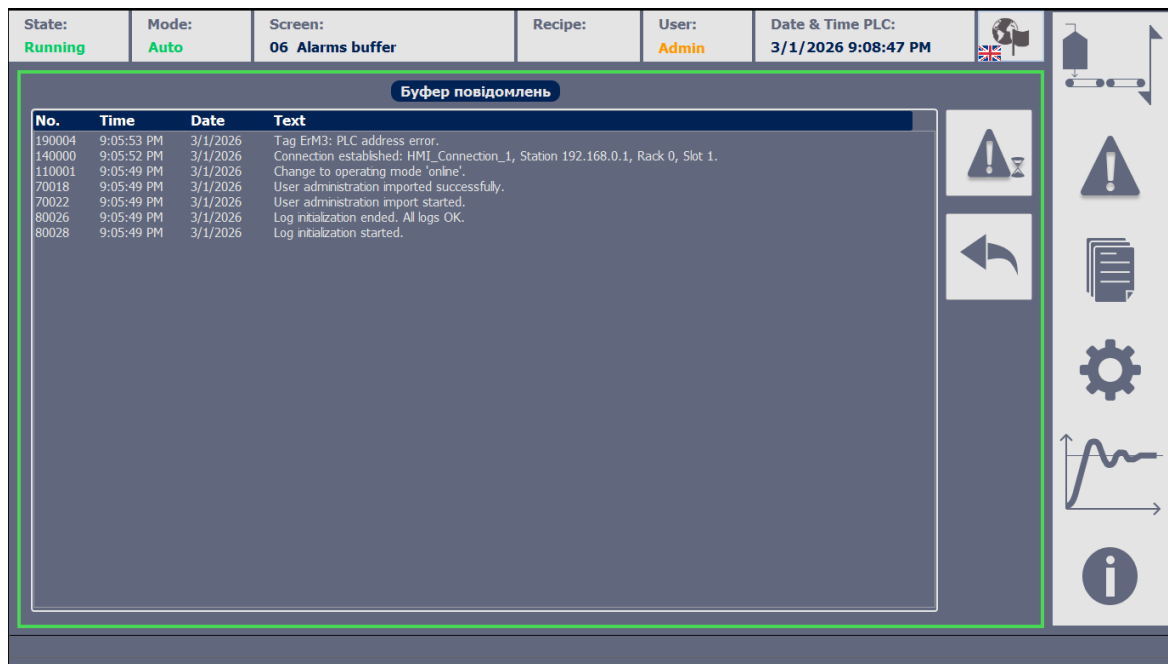


Рис. 7.19 – Екран Alarms в тестовому режимі при запуску ПТЛ відвантаження зерна.

Проведемо тестування системи повідомлень при виникненні помилки в обладнанні установки. На рис. 7.20 наведено екран Alarms в тестовому режимі при імітації несправності обладнання (транспортеру).

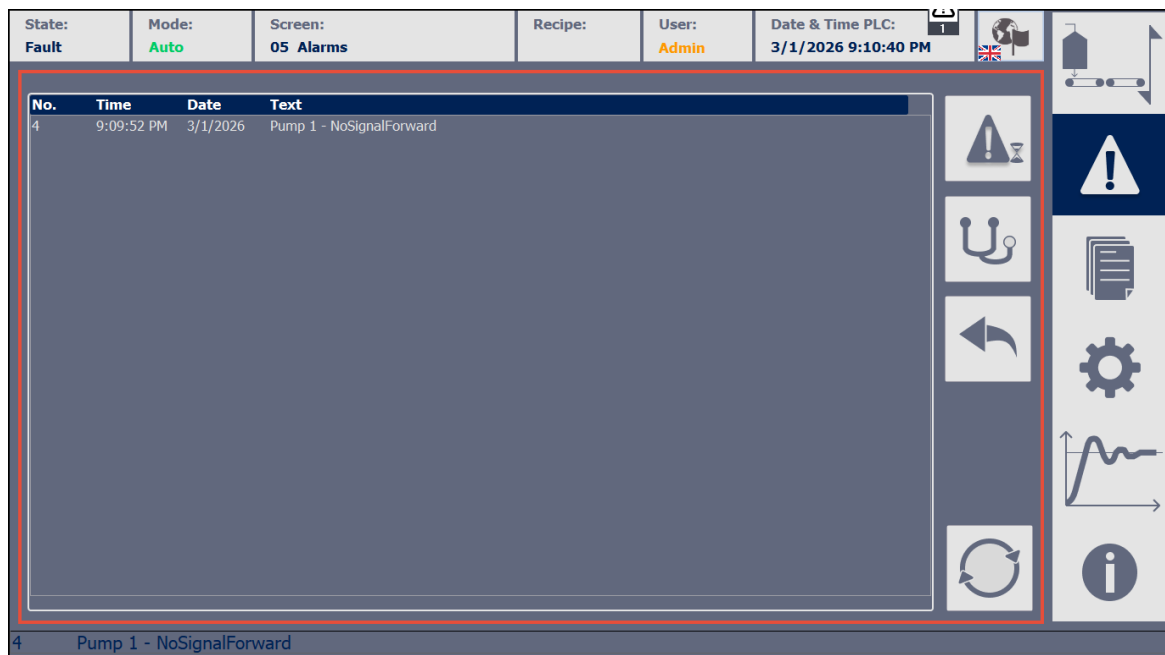


Рис. 7.20 – Екран Alarms в тестовому режимі при імітації несправності обладнання (транспортеру КЛ1) ПТЛ відвантаження зерна.

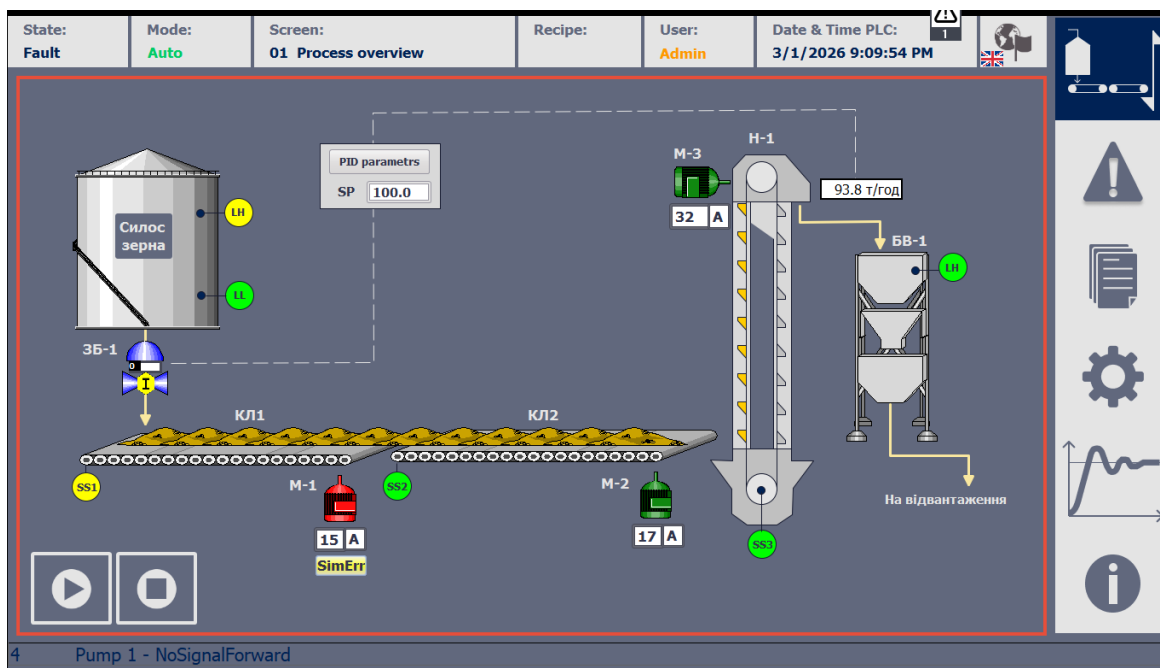


Рис. 7.21 – Головний екран в тестовому режимі при імітації несправності обладнання (транспортеру КЛ1) ПТЛ відвантаження зерна.

7.5 Висновки за розділом

У цьому розділі роботи розроблений інтерфейс для SCADA системи керування технологічним процесом відвантаження зерна. Створені екран з відображенням технологічної схеми установки для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу (продуктивності норії) та налагодження САР, екран реєстрації подій в системі керування.

Тестування системи в цілому продемонструвало її роботоспроможність у всіх режимах роботи.

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

8.1 Опис основних технічних рішень із побудови САК та склад документації її технічного забезпечення

Система автоматичного керування (САК) процесом відвантаження зерна потоково-транспортною лінією побудована на основі сучасних мікропроцесорних засобів автоматизації. Основним керуючим пристроєм обрано програмований логічний контролер SIMATIC S7-1500 (CPU 1516-3 PN/DP), додатково оснащується: аналоговим модулем вводу-виводу AI 4xU/I AQ 2x4xU/I (6ES7534-7QE00-0AB0), двома дискретними модулями вводу DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) і одним дискретним модулем виводу.

Для візуалізації технологічного процесу, оперативного керування та моніторингу розроблено автоматизоване робоче місце оператора-технолога на базі панелі оператора TP1900 Comfort фірми Siemens. Зв'язок між контролером та панеллю оператора здійснюється по промисловій мережі PROFINET.

Для збору інформації про хід процесу використовуються промислові датчики струму двигунів (DWYER CCT50-200), лінійний потенціометр положення шиберної засувки (OPKON ERTL-300), а також сигналізатори рівня (Siemens Sitrans LPS200) , підпору зерна (Sitrans LVS100), датчики зниження обертів валу(4B Braime M300), сходу стрічки (Idem 500011A). Керування електродвигунами конвеєрів, норії і засувки здійснюється через контактори та теплові реле Schneider Electric.

Алгоритми логічного керування (технологічний пуск, зупинка, блокування аварійних ситуацій) та алгоритми регулювання продуктивності норії реалізовані в середовищі TIA Portal.

За результатами вибору комплексу технічних засобів і відповідно до

складеної технологічної схеми процесу, у цьому розділі роботи розроблено документацію технічного забезпечення САК. Перелік документів включає:

- Структурна схема САК
- Функціональна схема автоматизації
- ПЕС електроприводу засувки
- ПЕС електроприводу конвеєра
- ПЕС електроприводу норії
- Принципова електрична схема (ПЕС) живлення
- Схема мережевих зв'язків
- ПЕС вводу дискретних сигналів
- ПЕС виводу дискретних сигналів
- ПЕС вводу аналогових сигналів
- Вигляд лицьової та монтажноі панелей
- Таблиця 1 – Специфікація

8.2 Розробка схеми автоматизації та специфікацій на технічні засоби системи

Схема автоматизації технологічного процесу є основним документом, що визначає функціональну структуру, обсяг автоматизації й що роз'ясняє певні процеси, що протікають у функціональних ланцюгах. Вона складена відповідно до ДСТУ Б.А. 2.4-16:2008 (заміна ГОСТ 21.404 – 85) «Система проектноі документації для будівництва. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах». Особливістю розробленої схеми є те, що всі функції системи розподілені між контролером та комп'ютером (ПК). Функції автоматичного регулювання й логіко-програмного керування, виконує комплект контролерів сумісно з ПК, розташованим в операторському пункті. Всі використані датчики обрані з уніфікованим вихідним сигналом струмовим (4...20мА) і релейним (24 VDC). Розглянемо перелік контурів контролю й керування наведений на схемі автоматизації по позиційним номерам контурів:

- 1 Керування подачею зерна через засувку З1
- 2 Керування ПЕД конвеєра К1
- 3 Керування ПЕД конвеєра К2
- 4 Керування ПЕД норії Н1
- 5 Сигналізація верхнього граничного рівня в силосі
- 6 Сигналізація нижнього граничного рівня в силосі
- 7 Сигналізація верхнього граничного рівня в приймальному бункері
- 8 Сигналізація аварії на норії
- 9 Сигналізація аварії на конвеєрі К1
- 10 Сигналізація аварії на конвеєрі К2

У контурах 2-4 реалізовані системи керування електродвигунами. У силовій шафі для збору інформації про поточний струм кожного двигуна встановлені трансформатори струму DWYER CCT50-200. У шафі автоматики для кожного ланцюга керування встановлені ключі вибору режиму керування (авт. / дист.), кнопки «ПУСК», «СТОП», а також світлова сигналізація (світлодіод), що показує стан роботи двигуна.

У контурі 1 для керування засувкою, використовується інформація з датчика струму норії для опосередкованого вимірювання продуктивності САК, і коригування положення регулюючого органу, відповідно до заданої програмно продуктивності у SCADA. Для збору інформації про поточне положення засувки використовується лінійний потенціометр (OPKON ERTL-300).

Контури 5-7 забезпечують сигналізацію граничних рівнів зерна у силосі та приймальному бункері. Використовуються сигналізатори рівня (Siemens Sitrans LPS200).

Контури 8-10 забезпечують сигналізацію передаварійних та аварійних ситуацій. Використовуються датчики зниження обертів валу (4B Braime M300), сходу стрічки (Idem 500011C), обриву стрічки (KBT R66-BD3) та підпору зерна (Siemens Sitrans LVS100).

8.3 Розробка принципів схем

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

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

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.702. ЕСКД. Правила виконання електричних схем;

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

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

Система автоматичного керування (САК) ТП включає два основних типи споживачів електроенергії:

- Силове живлення (електродвигуни технологічного обладнання):
 - Норія Н1 (18,5 кВт);
 - Конвеєр К1 (11 кВт);
 - Конвеєр К2 (5,5 кВт);
 - Шиберної засувки З1 (0,25 кВт).
- Живлення засобів автоматизації та керування:
 - ПЛК SIMATIC S7-1500 (CPU 1516-3 PN/DP) та модулі вводу/виводу;
 - Панель оператора TP1900 Comfort;
 - Датчики (4...20 мА та дискретні 24 V DC);
 - Проміжні реле, контактори котушок, сигналізація.

Для живлення, захисту та керування в ручному режимі силовим технологічним обладнанням, у розділі розроблено наступні принципові електричні схеми:

- ПЕС електроприводу засувки – Додаток В. Рис. 1
- ПЕС електроприводу конвеєра – Додаток В. Рис. 1
- ПЕС електроприводу норії – Додаток В. Рис. 1

Розглянемо принципову електричну схему керування конвеєром К1. При необхідності пуску електродвигуна М2 в ручному режимі при включеному SF2 (автоматичний вимикач лінії керування), ключ SA2 переводять у положення 1 (ручн., MANUAL) після чого натисканням кнопки «START» (замикаючої) SB3 забезпечують подачу живильної напруги на котушку контактора КМ2, що замикає головні контакти КМ3. Додатковий контакт КМ3 (замикаючий), який шунтує кнопку SB3, також замикається в момент подачі напруги на котушку, що забезпечує так зване «самопідхоплення» роботи електродвигуна і дозволяє оператору відпустити пускову кнопку після натискання. Факт роботи електродвигуна перевіряється світловим індикатором HL5. Для індикації подачі напруги на лінії керування передбачено світловий індикатор HL4.

При необхідності зупинити конвеєр, натискають кнопку «Стоп» SB4 що розмикає коло, знеструмлюється котушка контактора КМ3, його головні контакти розмикаються, і двигун зупиняється. У випадку аварійної ситуації, за місцем встановлений тросовий вимикач, для аварійної зупинки достатньо потягнути за трос або натиснути кнопку «грибок» на пристрої.

При роботі в автоматичному режимі ключ вибору SA2 переводять у положення 2(AUTO). При подачі сигналу з ПЛК активується реле К03, контакти реле замикаються, що в свою чергу активує котушку контактора КМ3, і двигун починає обертатися. Зупинка двигуна відбувається при розмиканні контакту К03.

Для захисту від перевантаження електродвигуна у схемі використовуються нормально замкнені контакти автоматичного вимикача з тепловим реле QF2.

Для захисту від сходу стрічки конвеєра використовуються нормально замкнені контакти другого блоку “STOP SIGNAL”, датчиків сходу стрічки SQ3 та SQ4. При відхиленні ролика більше ніж на 25°, контакти SQ3 та SQ4 розмикаються, конвеєр зупиняється. Для сигналізації сходу стрічки на ПЛК використовується нормально розімкнуті контакти першого блоку “WARNING SIGNAL”, вони замикаються при віддхиленні ролика більше 14°.

Для своєчасного виявлення розриву стрічки конвеєра використовуються нормально замкнені контакти датчиків пошкодження стрічки SQ9 і SQ10.

Для виявлення прослизання стрічки конвеєра використовуються нормально замкнені контакти датчика зниження обертів SR1.

Принципова електрична схему керування двигуном M3 конвеєра K2 повністю ідентична розглянутій для двигуна M2 конвеєра K1.

Нормально розімкнені контакти датчиків використовуються для передачі сигналу про спрацювання до ПЛК.

Керування електродвигуном M4 норії здійснюється аналогічно M2.

Для виявлення підпору зерна в башмаку норії використовуються нормально замкнуті контакти сигналізатора рівня SL1.

У випадку аварійної ситуації, за місцем встановлена кнопка «грибок» аварійної зупинки, активація якої призводить до знеструмлення котушки контактора KM4, та активується блокування повторного пуску до скидання аварії.

Розглянемо принципову електричну схему керування засувкою. Основна відмінність у застосуванні реверсивного пуску двигуна M1. Для індикації подачі напруги на лінії керування передбачено світловий індикатор HL1.

При необхідності відкрити засувку в ручному режимі при включеному SF1 (автоматичний вимикач лінії керування), ключ SA1 переводять у

положення 1 (MANUAL) після чого натисканням кнопки «OPEN» SB1 забезпечують подачу живильної напруги на котушку контактора КМ1, що замикає головні контакти КМ1. При необхідності закрити засувку в ручному режимі, ключ SA1 у положення 1, натисканням кнопки «CLOSE» SB2 забезпечують подачу живильної напруги на котушку контактора КМ2, що замикає головні контакти КМ2.

При роботі в автоматичному режимі ключ вибору SA1 переводять у положення 2(AUTO). При необхідності відкрити засувку подається сигнал з ПЛК який активує реле К01, контакти реле замикаються, що в свою чергу активує котушку контактора КМ1, і засувка починає відкриватись. При необхідності відкрити засувку подається сигнал на реле К02.

Для запобігання одночасного ввімкнення контакторів прямого КМ1 та зворотного КМ2 обертання двигуна в схемі передбачено електричне взаємне блокування. Воно реалізується за допомогою нормально замкнених контактів кожного контактора, увімкнених послідовно в коло керування котушкою протилежного контактора. Під час спрацювання одного контактора його нормально замкнений допоміжний контакт розмикає коло живлення котушки іншого контактора, що запобігає виникненню міжфазного короткого замикання.

Для захисту від перевантаження електродвигуна у схемі використовуються нормально замкнені контакти автоматичного вимикача з тепловим реле QF1.

Для контролю положення та автоматичної зупинки електроприводу при досягненні крайніх положень засувки застосовуються двопозиційні кінцеві вимикачі. Нормально замкнуті контакти кінцевих вимикачів використовуються в колі керування для вимкнення електродвигуна М1 після досягнення відповідного крайнього положення, а нормально розімкнені контакти — для формування сигналів індикації та передачі інформації до ПЛК. Кінцевий вимикач SQ1 відповідає положенню «Повністю відкрита», а SQ2 — положенню «Повністю закрыта». Світловий індикатор HL2 сигналізує

про відкритий стан засувки, а HL3 — про закритий. Для гальванічного розв'язання та передачі дискретних сигналів до контролера використовуються проміжні реле K3 та K4.

Для індикації на силовій шафі SS процентів ходу засувки використовується одноканальний індикатор-вимірювач ITM-101. На лицьовій панелі корпусу ITM-101 можна побачити задане значення параметру (0 – 100%).

8.4 Розробка схем живлення

Для забезпечення надійної та безперебійної роботи системи автоматичного керування, розроблена принципова електрична схема живлення Додаток В. Рис. 4. Споживачами електроенергії є програмований логічний контролер SIMATIC S7-1500 з модулями вводу/виводу, панель оператора TP1900 Comfort, промислові датчики, проміжні реле. Система живлення передбачає два лінії напруги 24В постійного струму. Перша лінія живить панель оператора, друга – ПЛК, модулі розширення, датчики. Джерелом живлення 24 V DC обрано блок Siemens PS 60W 24V DC (6ES7505-0RA00-0AB0), який входить до складу системи S7-1500. Блок забезпечує стабільну вихідну напругу, високий ККД та вбудований захист від короткого замикання і перевантаження. Схема живиться від фазної напруги 230В. У шафі передбачена установка автоматичного вимикача SF4, лампи освітлювальної HL12 та розетки REC1 для електроінструменту.

8.5 Розробка схем компонування технічних засобів у щиті або шафі.

Складання креслення загального виду щита оператора АРМ

Загальний вид щита контролю та управління наведено в додатку Д. Для реалізації функцій дистанційного контролю та керування була обрана шафа RITTAL AE1073.800. 29,9×29,9×11,8 inches. Для комутації кабелів у щиті

застосовуються перфоровані кабель-канали «АСКО-УКРЕМ» 50×80мм (В*Ш). Панель оператора HMI Panel tp1900 монтується на фронтальній частині шафи.

ПЛК SIMATIC S7-1500 та 4 модулі розширення монтуються на стандартну DIN рейку Allen-Bradley 199-DR1 35 × 7,5 мм (EN 60715), до шафи автоматики SA.

До модулів дискретних входів DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) по кабелях W9, 10, 11, 12 що підключаються до клем SA-X1 підключені датчики, сигналізатори, які мають дискретний вихід 0 – 24V DC, по кабелях W2, 4, 6, 8 підключені вихідні сигнали стану електроприводів.

На виводах модуля дискретних виходів DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7 522-1BH10-0AA0) формуються сигнали 0 або 24 V DC, які по кабелям W2, 4, 6, 8 передаються у силову шафу в схеми керування електроприводами. Також до модуля дискретних виходів по кабелю W13 підключається звукова сигналізація.

До модуля аналогових входів/виходів AI/AO 4xU/I/ (6ES7 534-7QE00-0AB0) екранованими кабелями W14, 15, 16, 17 що під'єднуються до клем SA-X1, підключаються датчики з уніфікованим виходом 4...20 mA DC: трансформатори струму ТА1, ТА2, ТА3, потенціометр RP.

У додатку Г наведені ПЕС підключення датчиків до модулів ПЛК.

8.6 Охорона праці

При експлуатації системи автоматичного керування процесом відвантаження зерна на персонал (оператора АРМ та обслуговуючий персонал) діють певні небезпечні та шкідливі виробничі фактори (НШВФ).

Таблиця 8.1 – Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

№ з/п	Найменування небезпечних та шкідливих виробничих факторів	Нормоване значення	Можливі наслідки від дії
1	2	3	4
1	Зерновий пил(підсилося приміщення)	ПДК не більше 4 мг/м ³	Подразнення дихальних шляхів, алергії, ризик вибуху пилоповітряної суміші
2	Шум від технологічного обладнання(підсилося приміщення)	не більше 80 дБА	Погіршення слуху, втома, зниження уваги
3	Підвищений рівень вібрацій(підсилося приміщення)	відповідно до ДСН 3.3.6.039-99	Захворювання нервової системи
4	Мерехтіння та блиск екрану панелі оператора	частота мерехтіння не більше 300 Гц	Головний біль, зниження гостроти зору, швидка втомлюваність
5	Рухомі частини обладнання(підсилося приміщення)	—	Механічні травми
6	Підвищена або знижена температура повітря (підсилося приміщення)	+18...+25 °С;	Порушення теплового балансу організму

Продовження таблиці 8.1

1	2	3	4
7	Підвищена або знижена вологість повітря (підсилює приміщення)	40...60 %	Ревматичні, алергічні, захворювання

У виробничих приміщеннях, де розміщене технологічне обладнання та засоби автоматизації, на персонал діють фактори мікроклімату, які нормуються відповідно до санітарних норм. Основними параметрами, що підлягають контролю, є температура повітря, відносна вологість та швидкість руху повітря. Аналіз цих параметрів для різних періодів року та категорій виконуваних робіт наведено в таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 – Аналіз параметрів виробничого приміщення, що підлягають контролю.

№ п. п	Найменування виробничого приміщення	Період року	Категорія роботи	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
1	2	3	4	5	6	7
1	Підсилює (виробниче) приміщення	Холодний	Па (середньої важкості)	+16...+22	40–60	0,2–0,5
2	Підсилює (виробниче) приміщення	Теплий	Па	+18...+25	40–60	0,2–0,5

Продовження таблиці 8.2

1	2	3	4	5	6	7
3	Щитова (операторська)	Холодний	Ia (легка)	+20...+23	40–60	$\leq 0,2$
4	Щитова (операторська)	Теплий	Ia	+22...+25	40–60	$\leq 0,2$

Для забезпечення безпеки персоналу при виконанні планово-попереджувальних та аварійно-відбудовних робіт, пов'язаних з експлуатацією та обслуговуванням системи автоматичного керування, передбачено комплекс організаційних і технічних заходів. Усі роботи з обслуговування електрообладнання, заміни датчиків, налагодження ПЛК та перевірки електричних з'єднань повинні проводитися тільки після повного знеструмлення відповідних ланцюгів, накладання переносного заземлення та вивішування попереджувальних плакатів.

Роботи підвищеної небезпеки виконуються за наряд-допуском бригадою не менше двох осіб після проведення цільового інструктажу. Під час виконання робіт обов'язково застосовуються сертифіковані засоби захисту (діелектричні рукавиці, килими, інструмент з ізольованими рукоятками). Перед початком робіт перевіряється відсутність напруги на обладнанні. Після закінчення ремонтних робіт проводиться огляд, перевірка правильності монтажу та пусконаладжувальні випробування обладнання в присутності відповідального особи.

Для локалізації аварійних ситуацій у системі передбачено апаратні та програмні блокування. При спрацюванні датчиків підпору, сходу стрічки, зниження швидкості або перевантаження двигунів система забезпечує негайну аварійну зупинку всього технологічного ланцюга з одночасним закриттям шибєрної засувки. Критичні елементи САК (контролер, модулі вводу/виводу, ключові датчики) живляться через джерело безперебійного живлення, що дозволяє підтримувати працездатність системи протягом короткочасних

зникнень напруги. Після ліквідації аварії повторний пуск ПТЛ блокується до повного скидання аварійного сигналу оператором.

Шляхи евакуації персоналу з операторського пункту та виробничих приміщень відповідають вимогам пожежної безпеки, обладнані аварійним освітленням та чітким маркуванням.

8.7 Висновки за розділом.

У розділі розроблено комплект фрагментів технічної документації технічного забезпечення САК на базі ПЛК SIMATIC S7-1500 фірми Siemens. Розроблено схему автоматизації, специфікації технічних засобів, принципові електричні схеми, схеми живлення, компоновання обладнання в шафі керування та креслення загального виду шафи.

Також розглянуто питання охорони праці: ідентифіковано небезпечні та шкідливі виробничі фактори, розроблено конкретні заходи щодо їх нейтралізації, безпечного виконання ремонтних робіт та локалізації можливих аварійних ситуацій.

РОЗДІЛ 9. ПОПЕРЕДНЄ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕРНІЗОВАНОЇ САК

9.1 Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації

Підрахуємо оптову вартість обраних нами засобів автоматизації, на основі цін заявлених виробником, на момент розрахунку.

Таблиця 9.1 – Вартість обраних засобів автоматизації

№ п/п	Назва	Кількі сть, шт.	Ціна за одиницю, з ПДВ, грн	Загальна вартість, з ПДВ, грн
1	2	3	4	5
1	Датчик струму DWYER CCT50-200	3	4 830	14 490
2	Лінійний потенціометр OPKON ERTL-300	1	10 572	10 572
3	Індикатор-вимірювач Мікрол ITM- 101	1	5 244	5 244
4	Ротаційний рівнемір Siemens Sitrans LPS200	3	39 560	118 680
5	Вібраційний рівнемір Siemens Sitrans LVS100	1	23 582	23 582
6	Датчик зниження обертів 4B Braime M3008V10AI	3	13 035	39 105
7	Idem Conveyor Belt Alignment Switch (DIE-CAST) 500011A	4	47 632,82	190531,28
8	Детектори пошкодження стрічки KBT R66-BD3	4	13 500	54 000

Продовження таблиці 9.1

1	2	3	4	5
9	Контактор Schneider Electric LC1D80AV7	1	8 421,25	8 421,25
10	Контактор Schneider Electric LC1D50AV7	1	8 660,45	8 660,45
11	Контактор Schneider Electric LC1D32V7	1	4 029,17	4029,17
12	Авт. вимикач Schneider Electric GV3P65	1	9 514	9 514
13	Авт. вимикач Schneider Electric GV3P32	1	9 039	9 039
14	Авт. вимикач Schneider Electric GV3P18	1	11 244	11 244
15	Тросовий вимикач IDEM GLS 142009-QCM12	2	9039	18 078
16	Кнопка аварійної зупинки Schneider Electric XB4BS8444	1	1 122,42	1 122,42
17	Перемикач Schneider Electric XB4BD33	4	620,5	2 482
18	Кінц. вимикач АСКО-УКРЕМ МЕ 8108	2	190,25	380,5
19	SIMATIC S7-1500 CPU 1516-3 PN/DP	1	335 228,40	335 228,40
20	Інтерфейсне реле Schneider Electric RXG22BDPV	5	631,24	3156,2
21	Siemens TP1900 Comfort 6VA2 124 OUC02-0AX0	1	142 206	142 206
22	DI 16x24VDC BA 6ES7 521-1BH10- 0AA1	2	10929,6	21859,2

Продовження таблиці 9.1

1	2	3	4	5
23	DQ 16x24VDC/0.5A BA 6ES7 522-1BH10-0AA1	1	10134,72	10134,72
24	AI/AO 4xU/I/ 6ES7 534-7QE00-0AB1	1	33 002,26	33 002,26
25	АСКО-УКРЕМ Перфорований короб 50*80 (В*Ш)	2000м м	313,13	313,13
26	Контактор Schneider Electric LC1D09V6	1	1 585,50	1585,5
27	Авт. вимикач Schneider Electric GV2ME04	1	2 272,96	2 272,96
28	Кнопка (зелена) Schneider Electric XB4BA30	4	399,7	1 598,80
29	Кнопка (червона) Schneider Electric XB4BA41	4	399,7	1598,8
30	Сигнальна лампа (зелена) Schneider Electric XB4BVM2	4	635,32	2541,28
31	Сигнальна лампа (червона) Schneider Electric XB4BVM3	4	635,32	2541,28
32	Сигнальна лампа (біла) Schneider Electric XB4BVM0	4	635,32	2541,28
33	PS 60W 24/48/60VDC (6ES7505-0RA00-0AB0)	1	49636,8	49636,8
34	LED лампа RITTAL-2500110	1	6 851,26	6851,26
Вартість, грн:				1 146 242

Крім вартості обладнання, до складу первинних інвестицій входять витрати на:

- монтажні та пусконаладжувальні роботи

- розробка проектної та робочої документації
- навчання персоналу

Вартість робіт пов'язаних з підготовкою та впровадженням розробленої автоматизованої системи залежить від обраного підрядника (надавача послуг), регіону виконання робіт та складності монтажу.

Вартість всього технічного рішення ($\text{Ц}_{\text{опт}}$):

$$\text{Ц}_{\text{опт}} = 1\,096\,376 \text{ грн} \quad (9.1)$$

Капітальні інвестиції являють собою вкладення коштів у придбання будинків, споруджень ін. об'єктів нерухомої власності, машин, устаткування, інших основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації. Капітальні інвестиції здійснюються в наступних основних формах: реконструкція, технічне переозброєння, модернізація виробництва, окремих потокових ліній, одиниць устаткування, придбання окремих матеріальних активів.

Капітальні інвестиції по базовому й новому варіантах техніки визначаються роздільно. Капітальні інвестиції по базовому варіанті включають: витрати на придбання встаткування, у т.ч.:

Вартість устаткування за оптовими цінами $\text{Ц}_{\text{опт}}$;

Витрати на тару й упакування – $\text{Ц}_\text{т}$;

Заготівельно-складські видатки – $\text{Ц}_\text{з-з}$;

Витрати на монтаж устаткування – $\text{Ц}_\text{м}$;

У сумі ці витрати визначають первинну (балансову) вартість устаткування на підприємстві – $\text{ІС}^\text{б}$ перв.

Балансову (первинну) вартість діючої техніки визначають на основі дані підприємства, де експлуатується базова техніка.

Первинна (балансова) вартість одиниці базової техніки при її придбанні може бути розрахована по формулі 9.1.

$$\begin{aligned} \text{Ісперв}^\text{б} = & \text{Ц}_{\text{опт}}^\text{б} + \text{Ц}_{\text{опт}}^\text{б} * \text{Ц}_\text{м} + (\text{Ц}_{\text{опт}}^\text{б} * \text{Ц}_\text{т})/100 + (\text{Ц}_{\text{опт}}^\text{б} * \text{Ц}_\text{тр}) / 100 \\ & + [\{ \text{Ц}_{\text{опт}}^\text{б} + (\text{Ц}_{\text{опт}}^\text{б} * \text{Ц}_\text{т}) / 100 + (\text{Ц}_{\text{опт}}^\text{б} * \text{Ц}_\text{тр}) / 100 \} * \text{Ц}_\text{з-з} / 100 \quad (9.1) \end{aligned}$$

де: $\text{Ісперв}^\text{б}$ – первинна (балансова) вартість одиниці базової техніки, тис.грн.

Цопт^б – оптова ціна базової техніки, грн. (Ціна засобів автоматизації 505 285 грн.)

Нормативи наведені в таблиці 9.1

$$I_{\text{сперв}}^b = 1\,146\,242 + 1\,146\,242 * 0,1 + (1\,146\,242 * 0,25)/100 + (1\,146\,242 * 5,0)/100 + [1\,146\,242 + (1\,146\,242 * 0,25) / 100 + (1\,146\,242 * 5,0) / 100] * 0,012 = 1\,335\,521 \text{ грн.}$$

При проведенні модернізації одиниці діючої техніки капітальні вкладення розраховують укрупнено за формулою:

$$I_{\text{с мод}} = I_{\text{с}^b}^{\text{перв}} * N_{\text{мод}} \quad (9.2)$$

де: $N_{\text{мод}}$ – норматив витрат на модернізацію експлуатованого технологічного обладнання. Приймаємо в границях 5-20 % от $I_{\text{сперв}}$.

$I_{\text{с мод}} = 1\,335\,521 \text{ тис грн.} * 0,1 = 133\,552 \text{ грн.}$

$I_{\text{с мод}}^n = 1\,335\,521 \text{ тис грн} * 1,1 = 1\,469\,073 \text{ грн}$

Таблиця 9.2 – Нормативні дані для розрахунку капітальних вкладень.

Показники	Позначення	Од.вимір.	Величина
Укрупнений норматив витрат на модернізацію	$N_{\text{мод}}$	%	10-20
Коефіцієнт відрахувань на монтажні роботи	$C_{\text{м}}$	-	0,1
Норматив відрахувань на тару й упаковання Цопті	$C_{\text{т}}$	%	0,25
Норматив відрахувань на транспортні видатки від Цопті	$C_{\text{тр}}$	%	5,0
Норматив відрахувань на заготови-тельно-складські видатки	$C_{\text{з-з}}$	%	1,2
Середня ціна 1т лома	$C_{\text{л}}$	Грн/т	200,0

Продовження таблиці 9.2

Показники	Позначення	Од.вимір.	Величина
Норматив витрат на демонтаж від Цопті		%	2
Нормативи розрахунку ліквідної вартості встаткування (від ІС пер)			
При списанні на лом	-	%	4
При використанні на запчастині	-	%	6
При продажі іншим організаціям	-	%	7

9.2. Розрахунок поточних витрат при роботі базового та нового зразка системи управління та контролю

До складу поточних витрат включаються витрати, що враховуються відповідно до прийнятої в галузі інструкцією калькуляції собівартості продукції (робіт, послуг).

Таблиця 9.3 – Нормативні дані і показники.

№ п/	Показники	Од. вим.	Величина
1	Річний фонд часу роботи обладнання	змін	60
2	Місячний фонд часу робітника	год	168
3	Тривалість роботи в зміну	год	8
4	Мінімальний розмір тарифної ставки робітника, який виконує не кваліфіковану роботу	грн	8000

Продовження таблиці 9.3

№ п/	Показники	Од. вим.	Величина
5	Годинна тарифна ставка робітника прийнятої на підприємстві	грн/год	48,63
1			52,91
2			58,15
3			64,34
4			74,82
5			86,72
6			
6	Вартість 1 кВт/год світла	грн/кВт	8
7	Рентабельність виробництва виду продукції	%	20
8	Оптова ціна продукції	грн./пак ет	6500
9	Оптова ціна сировини	грн./т	5200
10	Податок на прибуток	%	19
11	Норматив річних амортиз. відрахувань прям. (метод)	%	20
12	Податок на доходи фізичних осіб, військовий збір	%	18,0 + 1,5
13	Єдиний соціальний внесок (нарахування)	%	22,0
14	Норматив відрахувань на поточний і капітальний ремонт	%	10

Розрахунки виконуються з підрозділом витрат на наступні основні статті:

Сировина і матеріали;

Закупівельні комплектуючі вироби, напівфабрикати (роботи, послуги виробничого характеру сторонніх підприємств і організацій);

Паливо та енергія на технологічні цілі;

Основна та додаткова заробітна плата виробничих робітників;

Відрахування у єдиний соціальний внесок;

Витрати на утримання та експлуатацію устаткування;

Загальновиробничі витрати;

Виробнича собівартість продукції

Поточні витрати визначають за базовим і новому варіантам зберігання. Розрахунок виконують тільки по змінюються статтями витрат тобто по тих, які змінюються при переходу від базового варіанту до нового.

Витрати на поточний і капітальний ремонт устаткування встановлені на рівні 10% від його сукупної балансової вартості на початок звітного періоду:

$$V_r = IC_{\text{перв}}^{(6)} * H_r, \quad (9.3)$$

де: H_r – норматив витрат у ремонтний фонд, у відносних одиницях (0,1) не змінюються в процесі запровадження результатів дослідження.

Витрати пов'язані з амортизацією устаткування розраховують по формулі:

$$V_a = IC_{\text{перв}}^{(6)} * H_a. \quad (9.4)$$

де: H_a – норма річних амортизаційних відрахувань від первинної вартості встаткування за винятком зношування Для технологічного устаткування дорівнює 20%, у відносних одиницях 0,2. не змінюються в процесі запровадження результатів дослідження.

Таблиця 9.4 – Техніко-економічні показники обладнання

№ п/п	Показник	Позначення	Од.вим.	Базова машина	Нова машина
1	Продуктивність	Поб	т/год	150	170
2	Маса обладнання	М	т	40	40

Продовження таблиці 9.4

№ п/п	Показник	Позначення	Од.вим.	Базова машина	Нова машина
3	Габаритні розміри				
	довжина	Д	мм	45000	45000
	ширина	Ш	мм	2300	2300
	висота	В	мм	2800	2800
4	Мінімальна маса порції продукту	V _н	кг	100	100
5	Тривалість циклу	Ч _д	сек	144	144
6	Установленна потужність	P _э	кВт	45	55
7	Витрати електроенергії	В.елект	кВт/год	40	0.30
8	Опт. ціна обладнання	Ц _{опт} ^б	Тис.грн	750000	1096376
9	Річний фонд робочого часу обладнання	Ф _г	Змін	60	60

Всі витрати, пов'язані з утриманням базового і нового складу техніки, включаються в статті «Видатки на утримання й експлуатацію встаткування».

Після розрахунків статей, що змінюються, витрат при експлуатації (використанні) базової й нової техніки складається зведена таблиця зміни річних поточних витрат (табл. 9.5)

$$ОВ^{б(н)} = По^{б} * Фг * К_{загр}, \quad (9.5)$$

Где: По^б – часовая производительность оборудования (из технического паспорта оборудования)

Ф_г- годовой фонд времени работы оборудования, час

К_{загр} – коэффициент загрузки оборудования, принимаем равным 0,95.

$$ОВ^{б} = 150 \text{ т/год} * 8 * 60 * 0,95 = 68400 \text{ т}$$

$$ОВ^H = 170 \text{ т/доб} * 8 * 60 * 0,95 = 77520 \text{ т}$$

Виробнича собівартість продукції

Поточні витрати визначають за базовим і новому варіантам зберігання. Розрахунок виконують тільки по змінюються статтями витрат тобто по тих, які змінюються при переходу від базового варіанту до нового.

Витрати по статті «Сировина, основні та допоміжні матеріали» змінюються пропорційно зміні продуктивності обладнання.

При використанні нової техніки та збільшенню обсягів виробництва продукції вартість сировини і матеріалів розраховують за формулою:

$$Вс = Цс^{H(6)} * ОВ^{6(H)}, \quad (9.6)$$

$$Вс^6 = 5200 * 68400 = 355\,680\,000 \text{ грн.}$$

$$Вс^H = 5200 * 77520 = 403\,104\,000 \text{ грн.}$$

де : $Цс^{H(6)}$ – відповідно цена сировини і матеріалів при експлуатації нової та базової техніки.

$ОВ^{6(H)}$ – обсяги виробництва продукції при використанні базової і модернізованої техніки в натуральному вимірі.

де : $Цс^{H(6)}$ – відповідно цена сировини і матеріалів при експлуатації нової та базової техніки.

$ОВ^{6(H)}$ – обсяги виробництва продукції при використанні базової і модернізованої техніки в натуральному вимірі.

Витрати електроенергії:

$$Зв = Св * Qв * ФГ \quad (9.7)$$

$$Зв^6 = 150 * 40 * 60 = 360\,000 \text{ грн}$$

$$Зв^H = 170 * 30 * 60 = 306\,000 \text{ грн.}$$

Витрати на поточний і капітальний ремонт обладнання встановлені на рівні 10% від його балансової вартості на початок звітного періоду і обраховуються за формулою 14,8.

$$Зр = ІС \text{ перв}^{H(6)} * Нр, \quad (9.8)$$

$$Зр^6 = 1\,335\,521 \text{ тис грн.} * 0,1 = 133\,552 \text{ грн}$$

$$Зр^H = 1\,335\,521 \text{ тис грн} * 1,1 = 1\,469\,073 \text{ грн}$$

де: Нр –норматив витрат в ремонтний фонд, у відносних одиницях (0,1)

Витрати пов'язані з амортизацією обладнання розраховуються за формулою :

$$З_а = ІС_{перв}^{н(б)} * Н_а. \quad (9.9)$$

$$З_а^б = 133\,552 * 0,24 = 32\,053 \text{ грн.}$$

$$З_а^н = 1\,469\,073 * 0,24 = 352\,578 \text{ грн}$$

де: Н_а – норма річних амортизаційних відрахувань від первинної вартості обладнання за вирахуванням зносу. Для технологічного обладнання на рівня 24%, у відносних одиницях 0,24.

Витрати, пов'язані з утриманням базової і нової техніки, включаються в статті «Витрати на утримання і експлуатацію обладнання».

Після розрахунків змінних статей витрат при експлуатації базової і нової техніки складається таблиця зміни річних поточних витрат

Таблиця 9.5 – Зміна річних поточних витрат

№ п/п	Статті з витрат	Позн.	Величина, тис грн		Відхилен ня. + - збільше - зменшен
			До модер.	Після модер.	
1	Витрати на продукцію	Зв	360 000	306 000	-
2	Витрати на поточний і капітальний ремонт	Зр	133 552	1 469 073	+
3	Витрати пов'язані з амортизацією	За	32 053	352 578	+
4	Всього поточних витрат	З	525 605	2 127 651	+

9.3. Розрахунок показників виробничої діяльності підприємства

Розрахунок обсягу виробництва продукції здійснюємо за формулою:

$$ОВ^{б(н)} = По^б * Фр * К_{завант} * К_{виходу}, \quad (9.10)$$

Де: $По^б$ – фактична годинна продуктивність обладнання

$Фр$ – річний фонд часу роботи обладнання, год

$К_{завант}$ – коефіцієнт завантаження обладнання, приймаємо рівним 0,9.

$К_{виходу}$ – коефіцієнт виходу = 0,6.

Модернізація машини збільшила продуктивність 68 400 т до 77 520 т

$$ОВ^б = 150 \text{ т/доб} * 8 * 60 * 0,95 = 68\,400 \text{ т}$$

$$ОВ^н = 170 \text{ т/доб} * 8 * 60 * 0,95 = 77\,520 \text{ т}$$

Вартісну оцінку результатів від експлуатації базової і модернізованої техніки, дохід від реалізації – розраховуємо за формулою:

$$ТП^{б(н)} = ОВ^{б(н)} * Ц_{пр} \quad (9.11)$$

где: $ОВ^{б(н)}$ – обсяги випуску продукції до (б) и опісля (н) модернізації обладнання, (в натуральних одиницях);

$Ц_{пр}$ – ціна одиниці продукції, виробленої базовою (модернізованою технікою), грн;

$$ТП^б = 68\,400 * 5200 = 355\,680\,000 \text{ грн.}$$

$$ТП^н = 77\,520 * 5200 = 403\,104\,000 \text{ грн.}$$

$$\Delta ТП = ТП^н - ТП^б = 403\,104\,000 - 355\,680\,000 = 47\,424\,000 \text{ грн}$$

Повна собівартість виробленої продукції $С^б$ до модернізації обладнання, тис. грн.

$$С^б = ТП^б * 100 / 100 + Р \quad (9.12)$$

де: $Р$ – рентабельність виробленої продукції (табл. 9.2)

$$С^б = 355\,680\,000 * 100 / 115 = 309\,286\,956 \text{ грн.}$$

Повна собівартість виробленої продукції після модернізації техніки розраховуємо за формулою:

$$С^н = С^б - \Delta З \quad (14,13)$$

$$\Delta З = З_н - З_б = 1\,530\,000 \text{ грн}$$

$$C^H = 309\,286\,956 - 1\,530\,000 = 307\,756\,956 \text{ грн.}$$

де: ΔZ – зміна поточних витрат від модернізації обладнання, тис. грн.

Прибуток за результатами діяльності підприємства з використанням базової і нової техніки складе, тис. грн.

Таблиця 9.6 – Показники виробничої діяльності підприємства

№ п\п	Показник	Позначення	Обладнання		Зміна статей витрат (+)-зростання. (-) зниження
			Базове	Модернізоване	
1	2	3	4	5	6
1	Дохід від реалізації, тис. грн.	ТП	355 680 000	403 104 000	+
2	Повна собівартість продукції тис. грн.	С	309 286 956	307 756 956	-
3	Прибуток, тис. грн.	П	46 393 044	95 347 044	+
4	Чистий прибуток. грн.	ЧП	0	39 652 740	+

$$П^{б(н)} = ТП^{б(н)} - С^{б(н)} \quad (9.14)$$

$$П^б = 355\,680\,000 - 309\,286\,956 = 46\,393\,044 \text{ грн}$$

$$П^H = 403\,104\,000 - 307\,756\,956 = 95\,347\,044 \text{ грн.}$$

Приріст прибутку складе:

$$\Delta П = П^H - П^б \quad (9.15)$$

$$\Delta П = 95\,347\,044 - 46\,393\,044 = 48\,954\,000 \text{ грн.}$$

Розрахуємо приріст чистого прибутку (за вирахуванням податку на прибуток), тис. грн.

$$\Delta\text{ЧП} = \Delta\text{П}(1 - \text{Нп}) \quad (9.16)$$

$$\Delta\text{ЧП} = 48\,954\,000 * 0,81 = 39\,652\,740 \text{ грн}$$

Де: Нп – податок на прибуток (для виробничих підприємств на Україні рівняється 19%), у відносних одиницях – 0,19.

9.4 Висновки за розділом

Пропонована зміна модернізації системи автоматизації процесу керування відвантаженням зерна потоково-транспортною лінією із сушильно-складського комплексу, є доцільна, тому що чистий приведений прибуток більше 0, а саме 39 652 740 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблено систему автоматичного керування технологічним процесом відвантаження зерна потоково-транспортною лінією із сушильно-складського комплексу. Актуальність виконаної роботи обумовлена необхідністю підвищення ефективності роботи зернозберігальних підприємств, зменшення енергетичних витрат, підвищення надійності транспортного обладнання та забезпечення безпечного ведення технологічного процесу.

Проведені дослідження показали, що ефективність функціонування потоково-транспортної лінії значною мірою залежить від точності підтримання заданої продуктивності, своєчасного виявлення передаварійних режимів та рівня автоматизації процесів керування технологічним обладнанням.

У ході виконання роботи розроблено математичні моделі технологічного процесу, на основі яких проведено дослідження динамічних властивостей об'єкта керування та обґрунтовано вибір структури САР. Запропоновані алгоритми регулювання забезпечують підвищення точності підтримання продуктивності ПТЛ та зменшення впливу зовнішніх збурень.

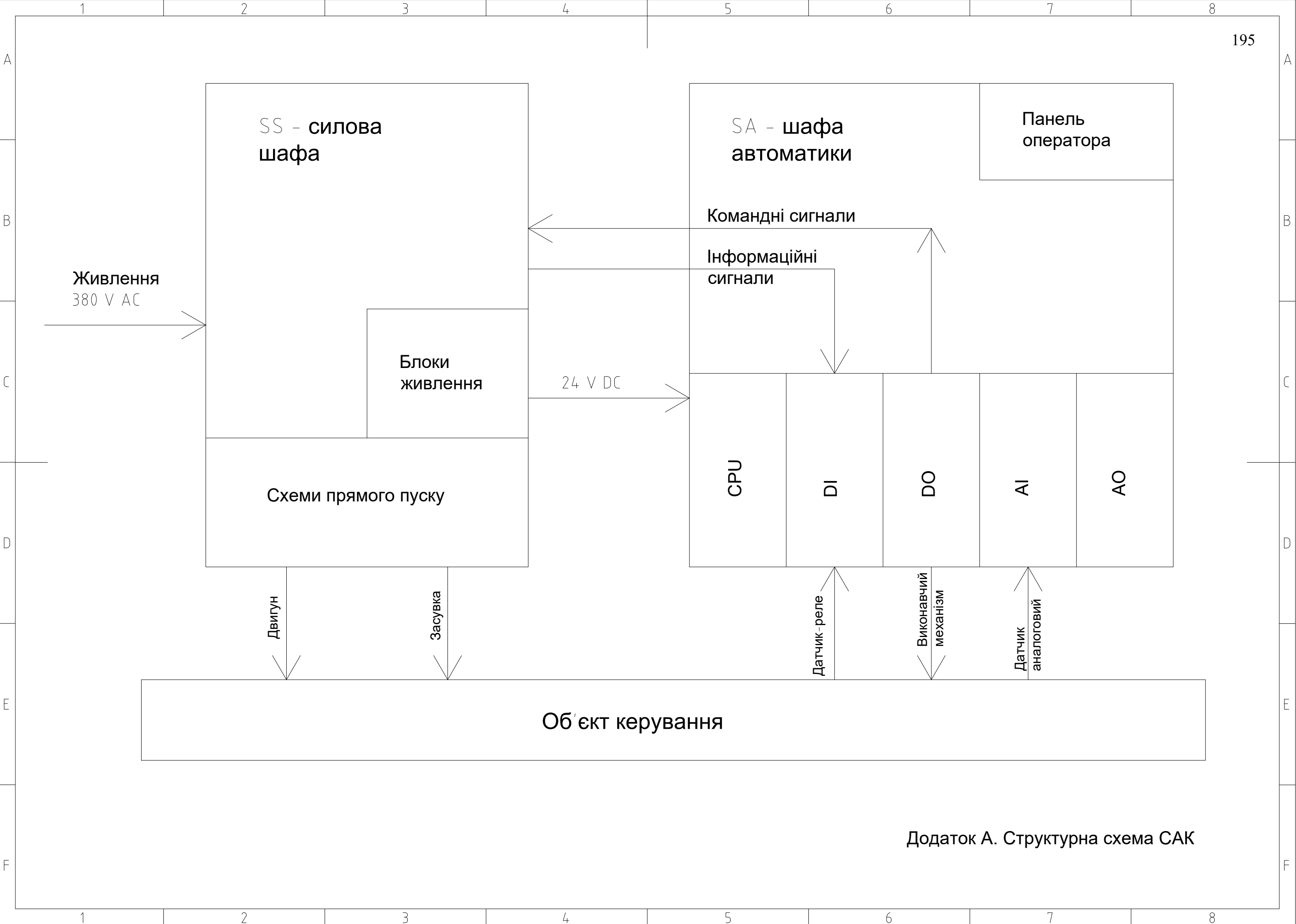
Розроблений комплекс логічного керування забезпечує автоматизацію операцій технологічного пуску та зупинки обладнання, контроль справності виконавчих механізмів і датчиків. Це дозволяє мінімізувати вплив людського фактора на роботу системи.

Для практичної реалізації системи обрано сучасні технічні засоби автоматизації, які забезпечують необхідну точність вимірювання технологічних параметрів та надійність функціонування. Розроблено програмне забезпечення контролера та автоматизоване робоче місце оператора, яке забезпечує ефективний контроль за перебігом процесу, оперативне реагування на зміни режимів роботи та зручність експлуатації системи.

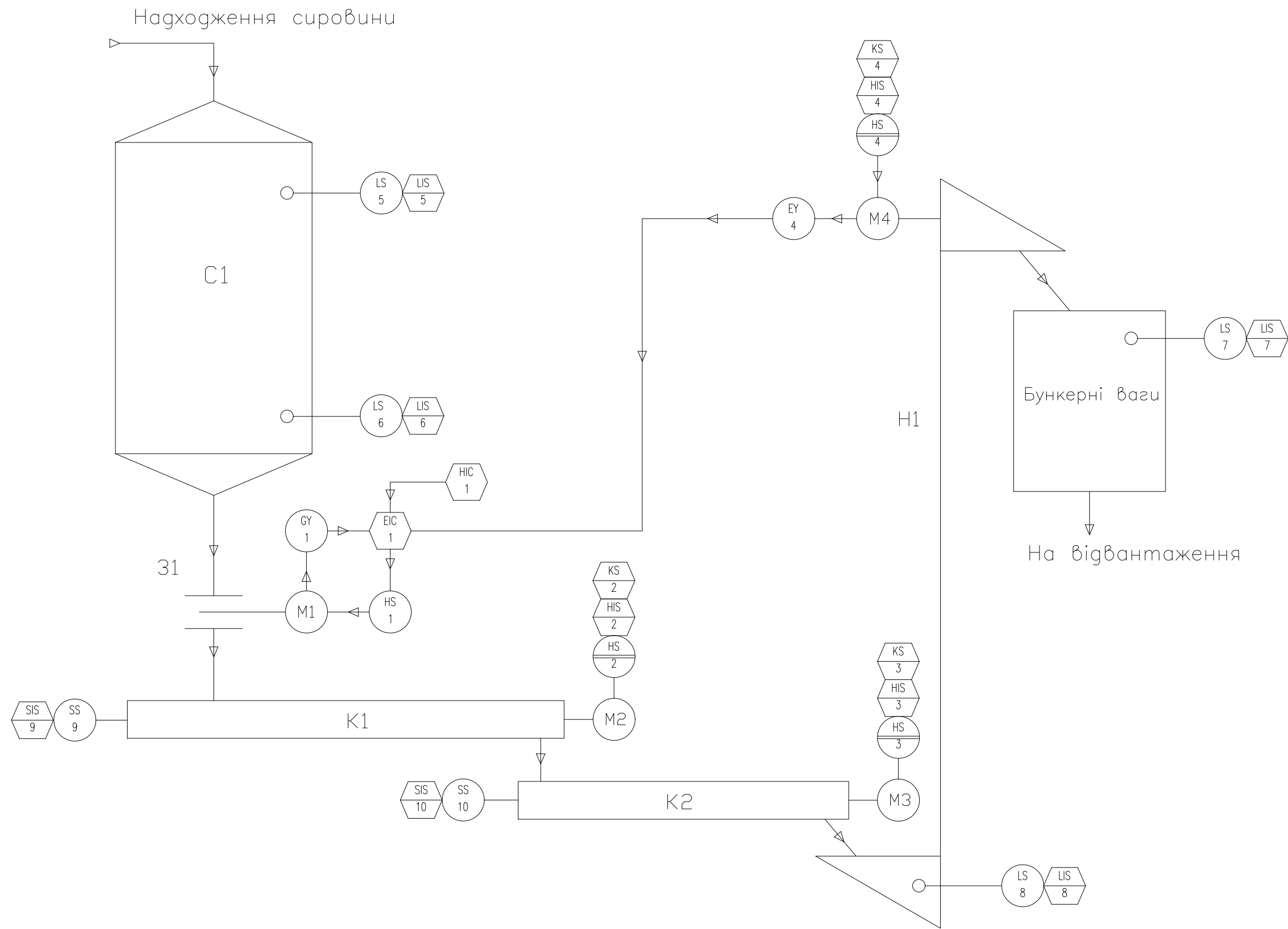
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Хобін В.А., Світий І.М. Теорія автоматичного керування: Посібник до виконання комплексної курсової роботи. Одеська національна академія харчових технологій, 2020.
2. Конспект лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування» для студентів, які навчаються за спеціальністю 151 – «Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології» денної та заочної форм навчання. Укл. В.А. Хобін. – Одеса: ОНАХТ, 2020. – Ч. 1. – 110 с.
3. Конспект лекцій з курсу «Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів» для студентів, які навчаються за спеціальністю 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання. Укл. В.А. Хобін. – Одеса: ОНАХТ, 2016. – 96 с.
4. Optimization of loading grain elevators PTL based ACS with a switched structure. Shestopalov S. V., Hobin V. A., ODESA NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, city of Odesa.
5. TeSys Catalog 2026 Innovative and connected solutions for motor starters. Schneider Electric. Document Number: MKTED210011EN.
6. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади: Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації». – Одеса, ОНТУ, 2023. – 397 с.
7. Siemens. Manual collection. SIMATIC S7-1500/ET 200MP Automation system. Edition 10/2018.
8. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Основи САПР» для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форм навчання. Кафедра автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем.

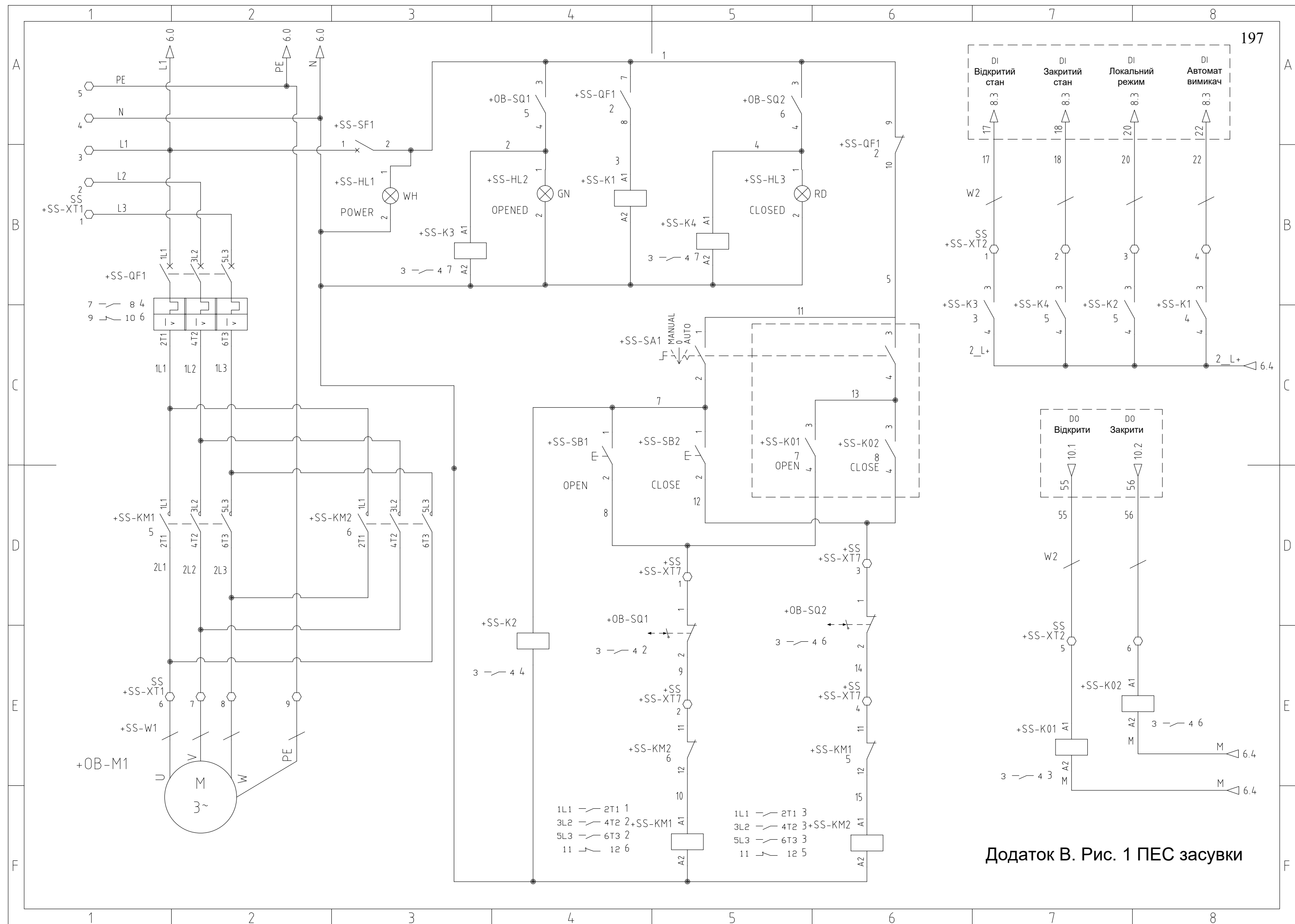
9. Левінський В.М. Основи створення проектів автоматизації в середовищі ТІАPortal: електронний навчальний посібник/ В.М. Левінський, М.В. Левінський. – Одеса, ОНАХТ, 2019. - 177 с.
10. МІЖНАРОДНИЙ СТАНДАРТ ІСО 14617-6. Графічні позначення для схем — Частина 6: Вимірювальні та контрольні функції. ISO 14617-6:2002(E).
11. Конспект лекцій з курсу «Теорія автоматичного керування» для студентів напряму підготовки 6.050202 денної та заочної форм навчання. Авт. В. А. Хобін. – Одеса: ОНАХТ, 2014. – Ч. 2. – 72 с.
12. АСКО-УКРЕМ. ПОСІБНИК ПО ОСНОВАМ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ. 93ст.
<https://www.acko.ua/upload/iblock/747/rnzkmnce6k4gha19ex10f8f73gmfcch3/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%B7%20%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B8.pdf>
13. Siemens. SIMATIC WinCC Comfort/Advanced V13.0. System Manual.
14. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Міненерговугілля України. Київ 2017. 617 ст.
15. Siemens. SIMATIC WinCC Advanced V13 SP2 – Programming reference. System Manual.
16. Siemens SITRANS L. Point Level Switches SITRANS LVS100/200. Operating Instructions. 01/2019 A5E44839609-AA. 52 ст.
17. Siemens SITRANS. Rotating Paddle Switch. SITRANS LPS200. Operating Instructions 03/2015. A5E34210883. 68 ст.

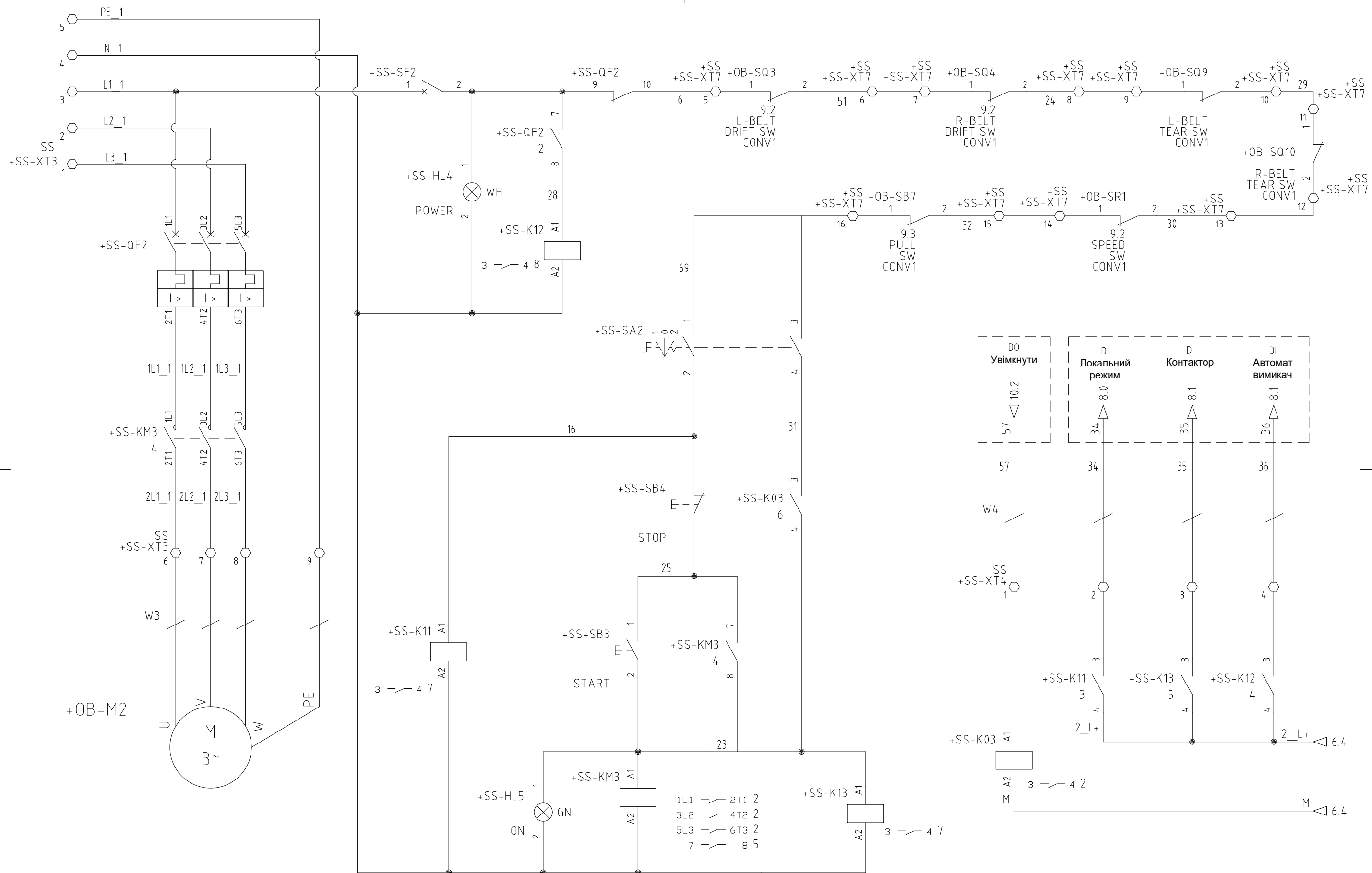


Додаток А. Структурна схема САК

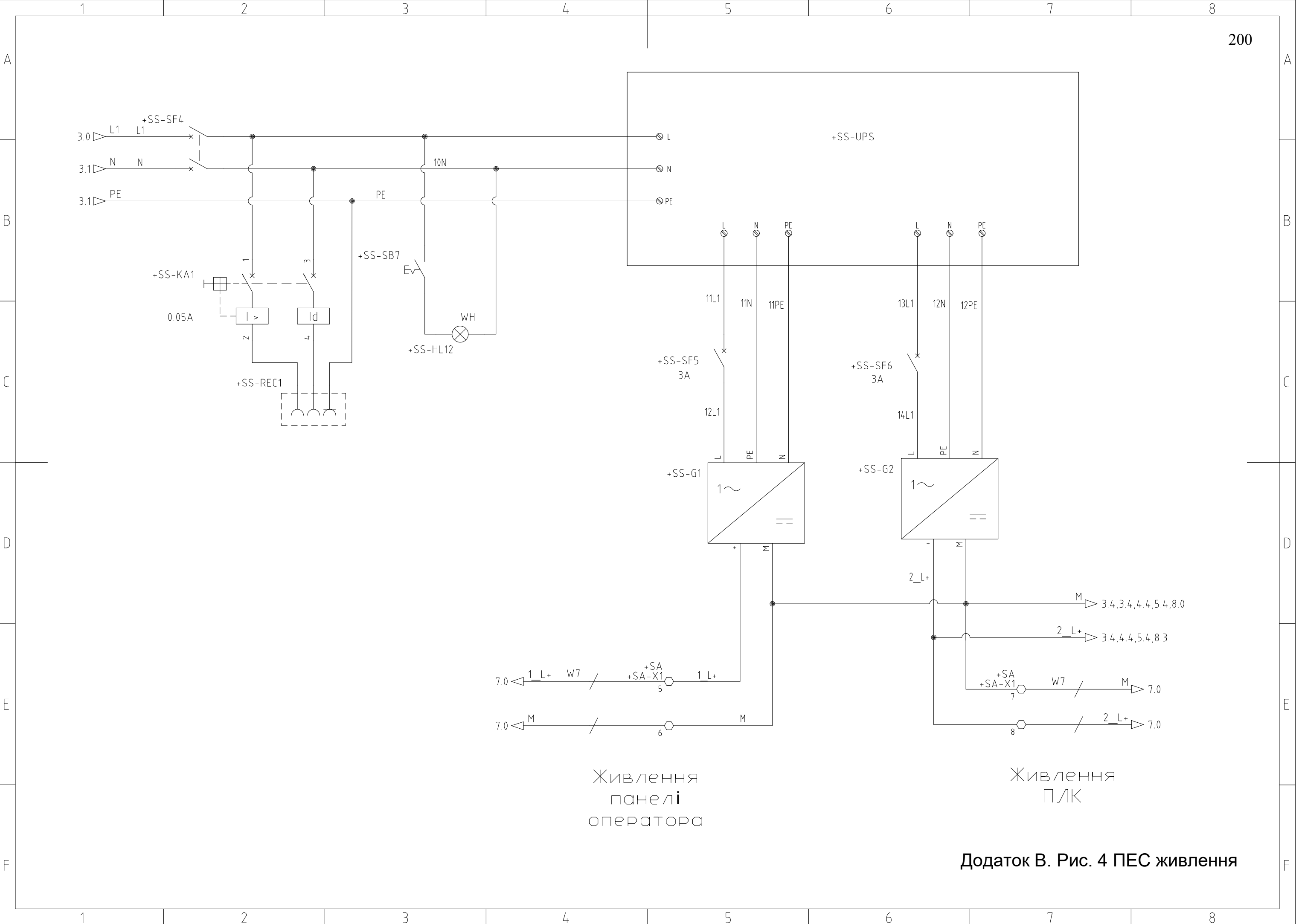


Додаток Б. Функціональна схема автоматизації

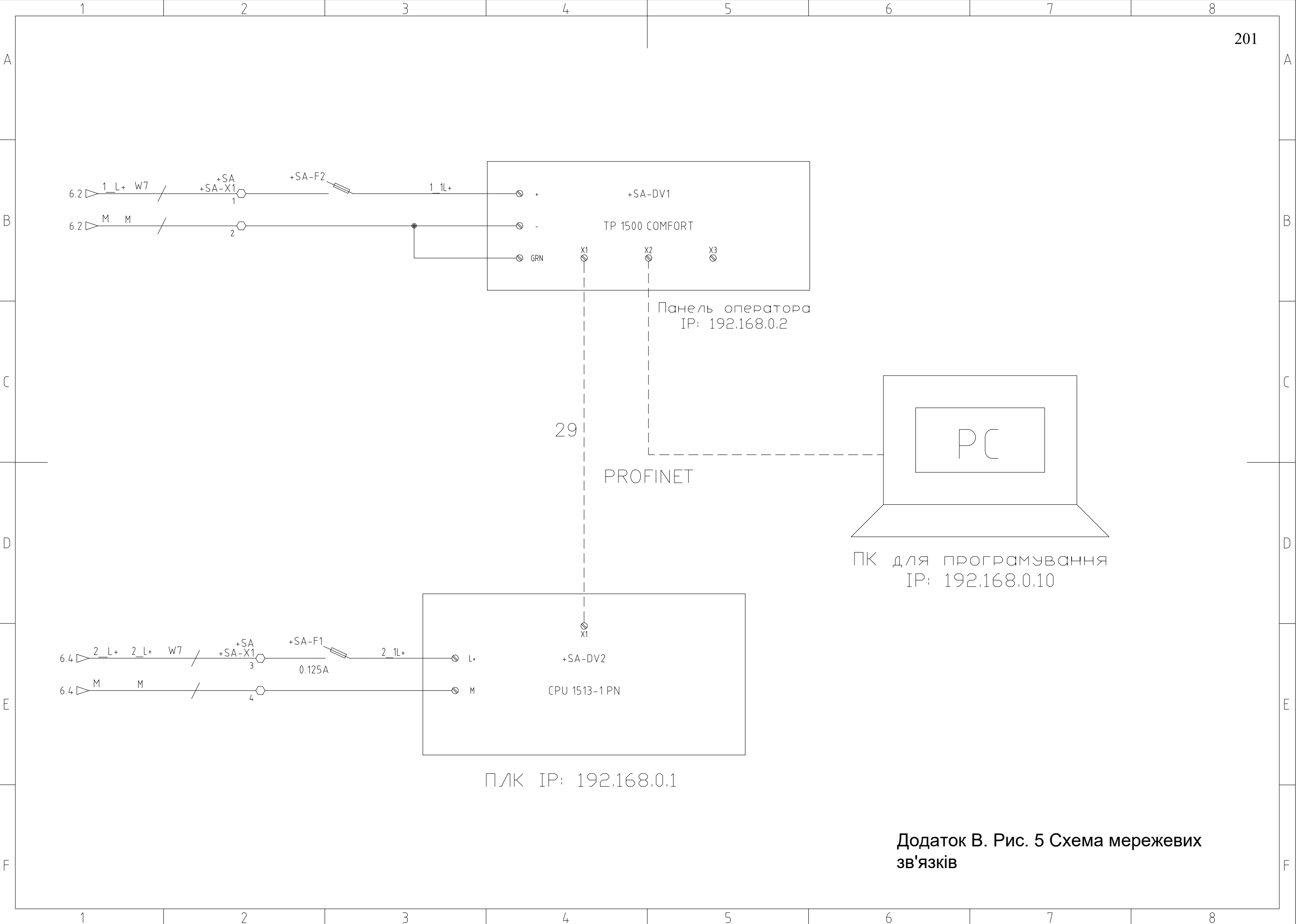




Додаток В. Рис. 2 ПЕС конвеєра



Додаток В. Рис. 4 ПЕС живлення



Додаток В. Рис. 5 Схема мережевих зв'язків

202

SA
Siemens
6ES7521-1BH10-0AA0
RACK 1
SLOT 3

+SA-PLC1

X10:20

6.4 M

9.0 M

DI1 X10:1 CH0 DI a

DI2 X10:2 CH1 DI a

DI3 X10:3 CH2 DI a

DI4 X10:4 CH3 DI a

DI5 X10:5 CH4 DI a

DI6 X10:6 CH5 DI a

DI7 X10:7 CH6 DI a

DI8 X10:8 CH7 DI a

DI9 X10:11 CH8 DI b

DI10 X10:12 CH9 DI b

DI11 X10:13 CH10 DI b

DI12 X10:14 CH11 DI b

DI13 X10:15 CH12 DI b

DI14 X10:16 CH13 DI b

DI15 X10:17 CH14 DI b

DI16 X10:18 CH15 DI b

W4

W8

W6

W2

W9

XX1

XX2

XX3

W

34

35

36

52

53

54

48

49

50

17

18

20

22

71

81

54

55

52

53

2_L+

2_L+

2_L+

9.0

4.3

4.4

4.4

4.8

5.3

5.4

5.4

3.3

3.4

3.4

3.4

4.7

4.8

Локальний режим

Контактор

Автоматичний вимикач

Локальний режим

Контактор

Автоматичний вимикач

Локальний режим

Контактор

Автоматичний вимикач

Відкритий стан

Закритий стан

Локальний режим

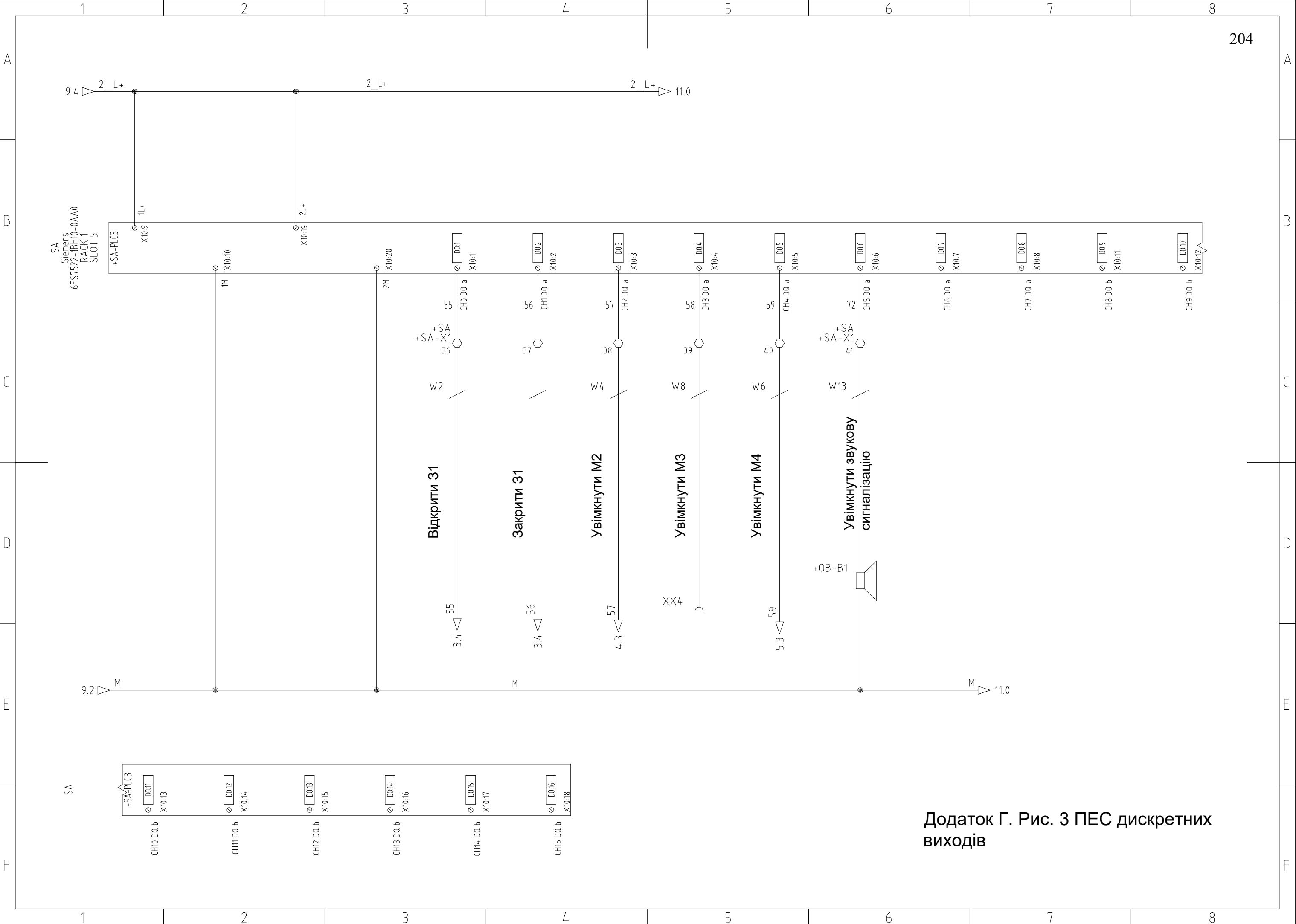
Автоматичний вимикач

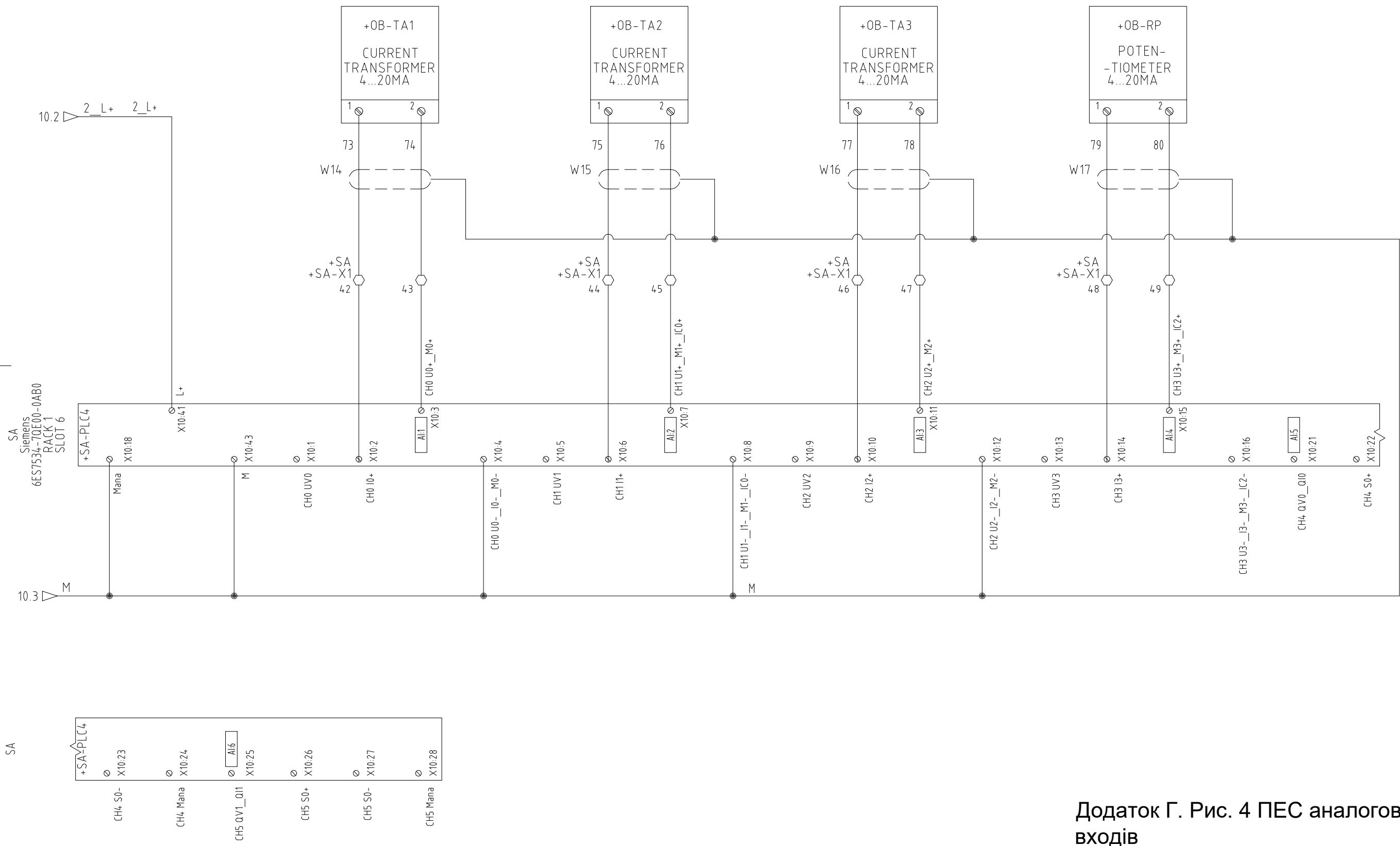
L-BELT TEAR SW CONV1

R-BELT TEAR SW CONV1

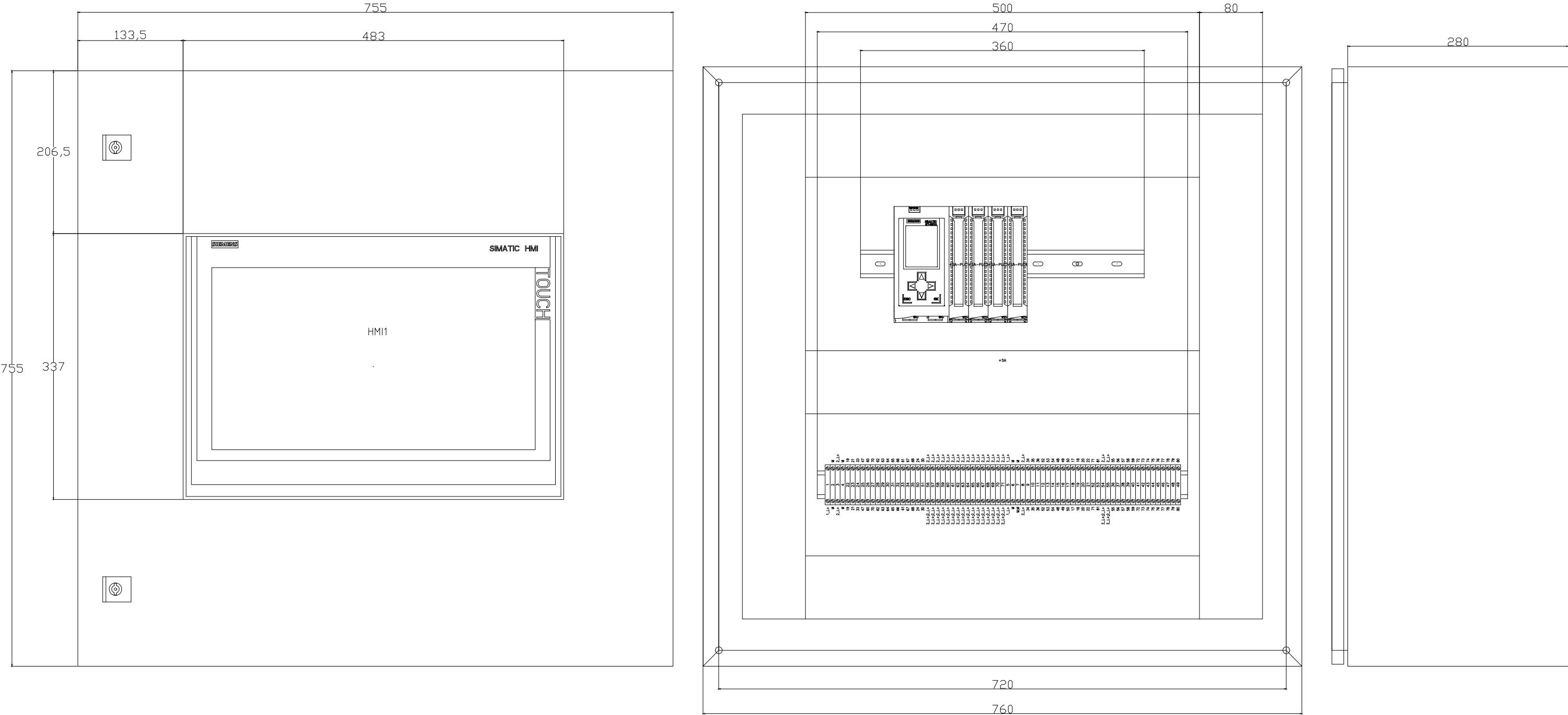
Додаток Г. Рис. 1 ПЕС дискретних входів







Додаток Г. Рис. 4 ПЕС аналогових входів



Додаток Д. Рис. 1 Монтажна панель

Додаток Д. Табл. 1 Специфікація

A

ПОЗИЦ. ПОЗНАЧЕ ННЯ	ОПИС	КАТАЛОЖНИЙ НОМЕР	ВИРОБНИ К	К-СТЬ
+SA +SA	ZINC/STEEL DIN RAIL EN 50022 (35mm x 7.5mm x 1m)	199-DR1	AB	2
+SA	COMPACT AE ENCLOSURE, SINGLE DOOR, RIGHT DOOR HINGE, 2 CAM LOCKS, GLAND PLATE, MOUNTING PANEL	AE1073.800	RITTAL	1
+SA	SIMATIC HMI TP1900 COMFORT	6AV2128-3UB06-0AX1	SIEMENS	1
+SA	CPU - 1MB FOR PROGRAM AND 5MB FOR DATA, PROFINET IRT WITH 2 PORT SWITCH, 10 NS BIT-PERFORMANCE	6ES7516-3AN01-0AB0	SIEMENS	1
+SA-PLC 1 +SA-PLC 2	SIMATIC S7-1500 DI 16 X 24 V DC BA 25 MM INCL. FRONT CONNECTOR PUSH-IN	6ES7521-1BH10-0AA0	SIEMENS	2
+SA-PLC 3	SIMATIC S7-1500 DQ 16X24VDC/0.5A BA 25 MM INCL. FRONT CONNECTOR PUSH-IN	6ES7522-1BH10-0AA0	SIEMENS	1
+SA-PLC 4	SIMATIC S7-1500 AI 4XU/I/RTD/TC /AQ 2XU/I ST 25 MM INCL. FRONT CONNECTOR PUSH-IN, POWER SUPPLY ELEMENT, SHIELD BRACKET, AND SHIELD TERMINAL	6ES7534-7QE00-0AB0	SIEMENS	1

D

E

F