

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



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**на тему: «Автоматизація процесу керування лінією первинної переробки
винограду»**

Здобувач: Карбовський С.В.
4 курс, група АТ-20

Керівник: доцент О.В. Мазур

Консультанти:

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

Кваліфікаційна робота допускається до захисту.

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

В.о. завідувача 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</u> . <u>робототехнічних систем</u> .
Ступінь вищої освіти	<u>Бакалавр</u> .
Спеціальність	<u>174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка</u> .
Освітньо-професійна програма	<u>Комп'ютерні системи та програмна інженерія в</u> . <u>автоматизації та робототехніці</u> .

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри АТПіРС
І.М. Світий

«05» січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувач Карбовський Станіслав Віталійович

- Тема роботи «Автоматизація процесу керування лінією первинної переробки винограду»
- Керівник кваліфікаційної роботи Мазур Олександр Васильович, к.т.н., доцент.
Пункти 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ № 39-03 від 24.01.2025 р.
- Строк подання здобувачем випускної кваліфікаційної роботи на кафедру «12» червня 2026 р.
- Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали індивідуальних завдань виробничої і переддипломної практик, курсових і самостійних робіт, комплексне кваліфікаційне завдання (для заочників).
- 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	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС або Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 7	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 8	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 9	Мазур О.В. доц. каф. АТПіРС		

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач Карбовський С.В.

Керівник роботи Мазур О.В.

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 Карбовський С.В.

Прізвище, ініціали

Підпис

АНОТАЦІЯ

Карбовський С.В, «Автоматизація процесу керування лінією первинної переробки винограду»

Дипломна робота бакалавра: 120 с., ____ рис., ____ табл., 10 джерел.

Дипломна робота розроблена з метою створення (АСУТП) ділянки отримання виноградного соку для поліпшення техніко-економічних показників роботи лінії при веденні ТП в оптимальному режимі, та розробки SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК. Саме від того наскільки точно досягнута мета ведення даного технологічного процесу і залежить якість отриманої продукції. В нашому випадку об'єктом розробки є шнековий прес ПВО-30А, в якому відбувається процес пресування винограду. Суть даного процесу полягає в отриманні готової продукції з відповідними властивостями шляхом регулювання подачі енергоносіїв. Саме таке регулювання, при дотриманні всіх вимог регламенту, і досягається при впровадженні в, нашому випадку, сучасних мікропроцесорних засобів автоматизації, створенні нових та удосконаленні вже існуючих алгоритмів керування. У результаті цього ми отримаємо досить високу економічну ефективність технологічного процесу отримання виноградного соку, яка полягає в збільшенні виходу соку. А це призводить до поліпшення конкурентоспроможності підприємства, його прибутковості і рентабельності.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 ОПИС ДІЛЯНКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ЙОГО АГРЕГАТИВ ТА ІСНУЮЧОГО РІВНЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ НИМИ. ВИЯВЛЕННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ І КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ МОДЕРНІЗАЦІЇ САК.....	12
1.1. Автоматизована ділянка технологічного процесу: локалізація, перехід від аналізу сутності технології до її формалізованого подання у формі взаємозв'язків параметрів	12
1.2. Виявлення існуючого рівня автоматизації ділянки ТП та технічних засобів, що використовуються для цього.....	19
1.3 Аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко- економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК.....	20
1.4 Висновки за розділом	21
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ, СТРУКТУРНА ТА ПАРАМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЙОГО КОМПОНЕНТІВ, ЇХ РЕАЛІЗАЦІЯ У СЕРЕДОВИЩІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	22
2.1. Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання..	22
2.2. Структурна та параметрична ідентифікація математичних моделей каналів перетворення об'єкта регулювання.....	23
2.3. Реалізація математичних моделей на ПЕОМ у середовищі комп'ютерного імітаційного моделювання, проведення з ними комп'ютерних експериментів для обґрунтування їх адекватності об'єкту оригіналу	30
2.4 Висновки за розділом.....	34
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА І ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЮВАННЯ, ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ САР	35
3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом	35

3.2 Синтез і аналіз САР найпростішої структури	37
3.3. Структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності і її аналіз.....	48
3.4 Висновки за розділом.....	57
РОЗДІЛ 4. КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ І РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ	58
4.1.Конкретизація задачі та необхідного рівня реалізації функцій логічного (логікопрограмного) керування технологічним процесом	58
4.2. Формалізація регламентів функціонування технологічного агрегату при технологічному пуску, технологічній зупинці та при аварійній зупинці технологічного процесу у вигляді блок-схем та їх опис	59
4.3 Висновки за розділом.....	61
РОЗДІЛ 5. ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ЗМІНИ ПРОЦЕСУ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ КЕРУЮЧИХ ВПЛИВІВ, РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ СТРУКТУРИ КОНТРОЛЕРНО-КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ.....	62
5.1. Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення.....	62
5.2. Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання	63
5.3. Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу	67
5.4. Вибір технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі	68
5.5 Висновки за розділом.....	73
РОЗДІЛ 6. ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ, КОНТРОЛЕРА І МЕРЕЖ, ПРОГРАМУВАННЯ АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ САК	74
6.1 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж	74

6.2 Розробка програм для реалізації алгоритмів логічного керування.....	76
6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання.....	83
6.4 Висновки за розділом.....	86
РОЗДІЛ 7. РОЗРОБКА SCADA ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ТЕХНОЛОГА І НАЛАДЧИКА САК.....	87
7.1 Встановлення зв'язку між контролером та панеллю оператора, її конфігурування.....	87
7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога.....	88
7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.	89
7.4 Тестування системи керування.....	95
7.5 Висновки за розділом.....	98
РОЗДІЛ 8. РОЗРОБКА ФРАГМЕНТІВ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ САК, ВКЛЮЧАЮЧИ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	99
8.1 Характеристики технологічного об'єкта керування та опис основних технічних рішень	99
8.2 Розробка схеми автоматизації.....	101
8.3. Розробка принципової електричної схеми керуванням електроприводом	102
8.4. Розробка принципової електричної схеми живлення.....	103
8.5. Розробка принципової схеми мережевих підключень	103
8.6. Розробка принципових електричних схем підключення до модулів ПЛК	103
8.7 Охорона праці при монтажі, налагодженні та експлуатації АСКТП.....	104
8.8 Висновки за розділом.....	108
РОЗДІЛ 9. ПОПЕРЕДНЄ ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТУ.....	109
9.1. Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації..	109
9.2 Висновки за розділом.....	112
ВИСНОВКИ.....	113
ЛІТЕРАТУРА.....	114
ДОДАТОК А Документація до схеми автоматизації	115

ДОДАТОК Б Документація до принципів електричних схем.....	116
---	-----

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ:

САК – система автоматичного керування;

ММ – математична модель;

ВП – випадковий процес;

СП – стохастичний процес;

ОР – об'єкт регулювання;

СХ – стохастичні характеристики;

ТП – технологічний процес;

ОК – об'єкт керування;

КЗ – коригувальний зв'язок;

ПДТ – підвищена динамічна точність;

ТА – технологічний агрегат;

ВСТУП

В умовах сучасної ринкової економіки будь-яке підприємство, яке прагне до стабільного існування та розвитку, повинно забезпечувати достатньо високий рівень прибутковості. Основним джерелом цього прибутку є реалізація власної продукції, а отже, така продукція має бути конкурентоспроможною на ринку. Це означає, що підприємство зобов'язане вести активну економічну боротьбу з іншими виробниками, постійно вдосконалюючи свої підходи до організації виробничого процесу.

Одним із найбільш дієвих методів підвищення конкурентоспроможності є зниження собівартості продукції при одночасному збереженні її якості та зменшенні частки браку. На більшості вітчизняних підприємств сьогодні експлуатується морально та фізично застаріле обладнання, що суттєво обмежує можливості для поліпшення якісних характеристик готової продукції. Теоретично найефективнішим виходом із цієї ситуації була б повна заміна застарілого парку машин і механізмів на сучасні аналоги. Проте на практиці такий підхід вимагає значних капітальних вкладень і для більшості підприємств є економічно недоцільним.

Альтернативним і значно менш затратним рішенням є вдосконалення системи керування технологічними процесами. Цей шлях дозволяє досягти відчутного покращення якості продукції без необхідності повного переоснащення виробництва, що робить його набагато привабливішим з точки зору співвідношення витрат і результату. Крім того, постійні зміни у структурі технологічних об'єктів управління, коливання виробничої потужності та трансформації організаційної структури підприємств висувають нові, більш складні завдання перед системами автоматичного керування.

Сучасні автоматизовані системи управління технологічними процесами є якісно новим рівнем організації виробничого контролю порівняно із застарілими локальними системами автоматизації. Вони реалізовані у вигляді автоматизованих робочих місць операторів-технологів та технічних керівників і мають суттєві переваги: забезпечують більш повне і всебічне відображення стану об'єкта

керування, здійснюють прогнозування його поведінки, обробляють і подають інформацію оперативному персоналу у зручному і структурованому форматі. Крім того, такі системи дають змогу коригувати продуктивність технологічного обладнання та спрямовують управлінський вплив на досягнення найбільш раціонального перебігу технологічного процесу, ефективність якого оцінюється за економічними критеріями — рівнем витрат, втрат і прибутку. Технічною основою сучасних АСУТП є комп'ютерні засоби, об'єднані в локальну мережу.

У харчовій промисловості найбільшого поширення набула трирівнева структура АСУТП. На нижньому рівні здійснюється безпосереднє управління окремими пристроями, агрегатами та технологічними лініями. Середній рівень базується на застосуванні мікроконтролерів і забезпечує збір та первинну обробку інформації. На верхньому рівні функціонують обчислювальні машини, що координують роботу двох попередніх рівнів і вирішують завдання оперативного управління виробництвом у цілому. Виконання покладених на АСУТП функцій досягається завдяки злагодженій взаємодії математичного, інформаційного, технічного, програмного та організаційного забезпечення системи разом із кваліфікованим оперативним персоналом.

Враховуючи все вищесказане, можна зробити висновок, що для підвищення якості керування виробничими процесами найбільш доцільним є впровадження сучасних автоматизованих систем управління на основі передових технологій автоматизації. Зважаючи на те, що значна частина підприємств харчової промисловості досі не використовує у своїй роботі сучасні засоби автоматизації, розробка та впровадження відповідної АСУ ТП є актуальним і практично значущим завданням, вирішення якого здатне суттєво підвищити ефективність та конкурентоспроможність виробництва.

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

В якості об'єкта для вдосконалення системи автоматизації обрана ділянка пресування соку, оскільки навіть відносно незначні зміни у її технологічній схемі здатні суттєво поліпшити техніко-економічні показники виробництва загалом. Такі як продуктивність, витрати на енергоносії і якість продукції.

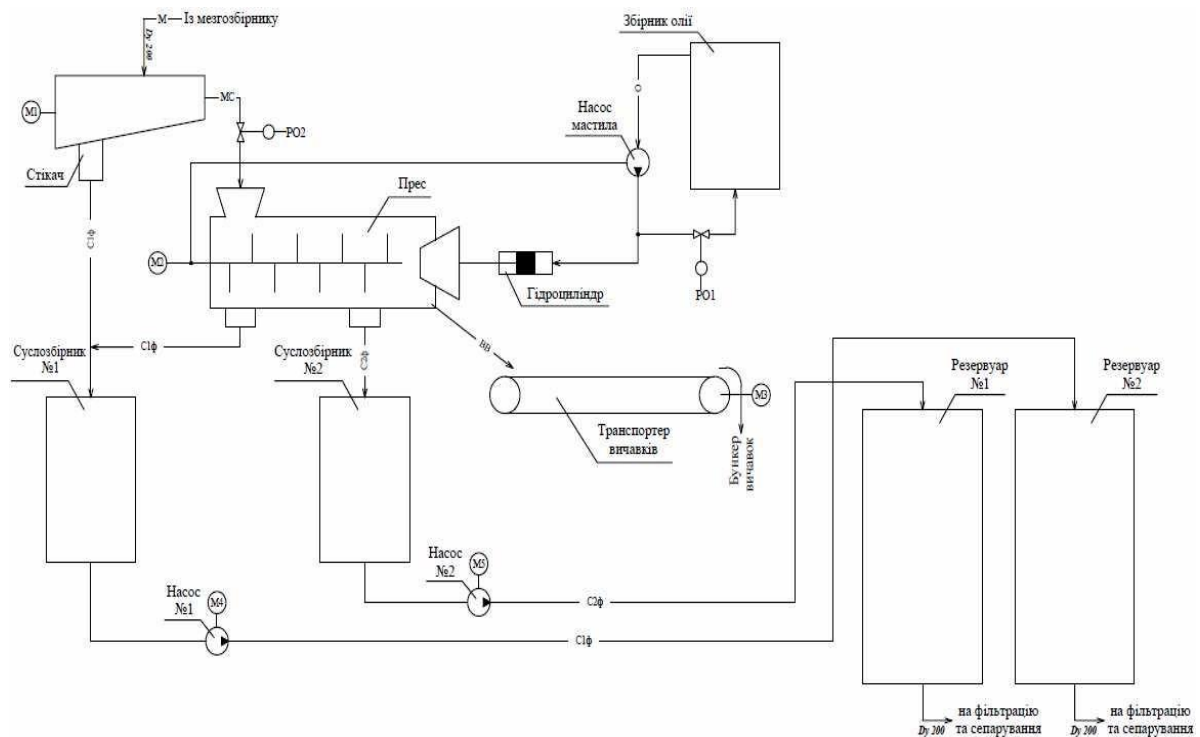


Рис. 1.2 – Технологічна схема віджимання виноградного соку.

До складу технологічної лінії пресування виноградного соку входять такі агрегати: стікач, шнековий прес, суслозбірники, транспортер для вичавків, насоси, збірник масла, гідроциліндр та резервуари для соку.

Після стікача, подрібнена виноградна маса потрапляє до внутрішнього простору пресу, де переміщається за допомогою шнека, що електричний привід. При цьому відбувається витіснення соку з подрібненої маси; сік відводиться в збірники через два відповідних патрубки: перший, який розташований напочатку

преса — до збірки

«первинного соку» і другий, який розташований в кінці преса — до збірки «вторинного соку».

Робочий тиск в пресі регулюється за допомогою гідроциліндра, який переміщує конус назустріч руху продукту, тим самим підтримують задане значення тиску в гідроцилінді, не повинно перевищувати 1,48 МПа. Струм статора двигуна пресу має номінальне значення 70 А і змінюється подачею ягід на пресування.

Саме значення олії регулюється за допомогою зміни положення регулюючого органу PO1 на зворотньому трубопроводі подачі олії. Зміна положення регулюючого органу PO2 дає змогу регулювати навантаження на шнековий прес, забезпечуючи безперервну роботу преса. Вичавки відводяться від преса за допомогою транспортеру. Сік першої та другої фракцій із суслозбірників за допомогою насосів поступає до відповідних резервуарів.

Суть технологічного процесу полягає у механічному стисненні подрібнених ягід, попередньо оброблених у стікачі, за допомогою преса з метою вилучення «вторинного» соку.

Ведення технологічного процесу віджиманням виноградного соку можливо і доцільно вести тільки за таких умов:

- Продуктивність преса більше або дорівнює встановленій номінальній;
- Забезпечується безперервна подача сировини зі стікача до пресу;
- Забезпечується безперервна подача масла до гідроциліндра;
- Рівень соку в збірниках менше максимально допустимий;
- Забезпечується безперервне відведення вичавок;
- Забезпечується безперервна робота насосів;
- Забезпечується безпечна робота оператора пресу;
- Відсутні порушення режимів ведення технологічного процесу, які можуть призвести до виникнення аварій і значних втрат.

Шнековий прес ВПНД-10 використовується для віджиму соку з винограду. Прес складається з редуктора, вала із двома шнеками, завантажувального бункера, перфорованого барабана, запірного конуса, гідрорегулятора, ванни для соку і

кожуха.

Мезга подається в завантажувальний бункер, де відділяється перша фракція – вільно випливає частина соку (самоплив). Потім мезга захоплюється транспортним шнеком і переміщається вперед до преси шнеку.

При транспортуванні мезга незначно стискається, внаслідок чого відділяється друга фракція соку, що містить більше суспензій, ніж сік-самоплив. У третій зоні діаметр валу збільшується, крок шнека зменшується, в результаті обсяг вільного простору також зменшується, а тиск збільшується. Тут відділяється третій фракція соку з високим вмістом суспензій. Третю фракцію у виробництві натурального соку зазвичай не використовують.

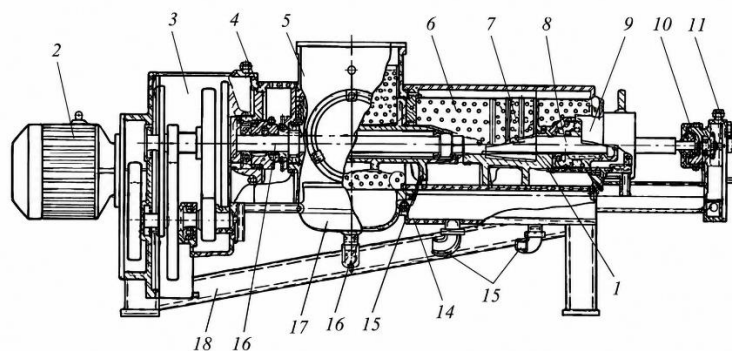


Рис.1.3 –Шнековий прес ВПНД-10

Шнековий прес ВПНД-10 (рис. 1.3) призначений для віджиму соку з ягід винограду. Основа преса — зварна рама 1 з фасонного прокату. На ній змонтовані перфорований циліндр 5 з бандажами 6, приймальний литий бункер 4, спеціальний зубчастий редуктор 3, приводний електродвигун 2, запірний корпус 8, завзятий кронштейн 9 і гідрорегулятор 10. Усередині перфорованого циліндра розташовані транспортує 15 і пресуючий 12 шнеки.

Пресуючий шнек має змінні діаметр і крок. До виходу в пресуючу камеру діаметр основи шнека збільшується, а крок зменшується. При цьому обсяг пресуючої маси зменшується, а тиск збільшується, чим і досягається необхідна ступінь стиснення мезги в пресі. Усередині шнеків проходить основний вал 18, яким пресуючий шнек приводиться в обертання в бік, протилежний обертанням транспортує шнека, і з іншою частотою. Транспортує шнеку обертання

повідомляється від маточини зубчастого колеса редуктора. Із зовнішнього верхнього боку перфорований циліндр закритий кожухом 7, у нижній частині циліндра є збірник 14 з двома відводами 13 відпресованого соку. Приймальний бункер оснащений збіркою 17 з відведенням 16. Для контролю тиску в гідросистемі призначений манометр 11.

Мезга (подрібнені і цілі ягоди без гребенів) завантажується в бункер преса, де від неї відділяється частина соку-самопливу. Потім мезга захоплюється витками транспортуючого шнека і просувається в циліндр до преси шнеку. На стику шнеків мезга розпушується, чим полегшується подальше вилучення соку. Порожнина стику шнеків чинить опір зворотного руху мезги в приймальний бункер і створює умови для нормальної роботи пресуючого шнека. Пресуючим шнеком частково зневоднена мезга стискається і подається в камеру тиску, де піддається максимальному стисненню. Віджата зневоднена мезга далі надходить в кільцевий канал між перфорованим циліндром і запірним конусом 8 і видаляється з преса.

Віджятий сік збирається в збірник 14. Ступінь віджимання мезги в пресі залежить від розміру кільцевого зазору, який регулюється гідравлічним запірним пристроєм.

Загальний вихід суслу залежить від сорту винограду, його зрілості і коливається від 72 до 80 дал з 1 тони винограду. На стікача безперервної дії вихід суслу становить 50-60 дал.

При технологічних розрахунках вихід суслу при пресуванні приймають такі показники з 1 тони винограду: сушло 1 фракції –27%; 2 фракції –11%; 3 фракції –4%. В результаті переробки винограду отримують відходи або вторинні сировинні ресурси: гребні і вичавки. Гребні використовують як добрива, вичавки направляють на переробку. Вихід вичавок залежить від сорту винограду і становить від 12 до 18% від маси переробленого винограду.

З виноградних вичавок отримують цінну сировину: спирт, винну кислоту, енофарбувач, танін, виноградне масло та ін.

Технологічний процес віджиманням виноградного соку є безперервним процесом, реалізується з підведенням електроенергії і за допомогою тиску масла в

гідравлічній системі преса.

Важливою умовою нормального технологічного процесу, якщо продуктивність преса більше або дорівнює встановленій номінальній.

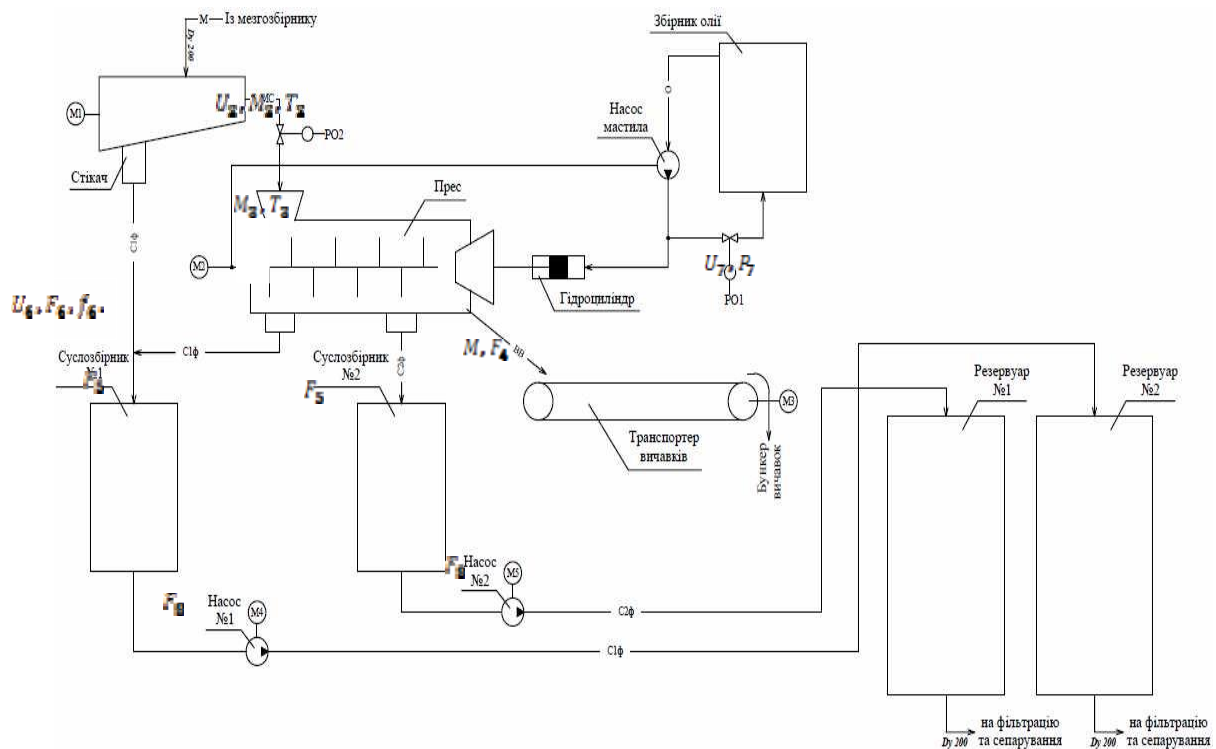


Рис. 1.4 – Параметризована технологічна схема ТП віджимання соку

Позначення на параметризованій технологічній схемі:

U_2 – переміщення регулюючого органу на продуктопроводі від дробарки ягід винограду до пресу;

U_7 – переміщення регулюючого органу від насоса до гідроциліндру приводу конуса преса;

F_5 – сік, що надійшов до суслозбірників після пресування та стікача;

P_7 – тиск, що надає гідроциліндр;

M_2 – вологість винограду, що поступає до пресу;

T_2 – температура винограду, який поступає до пресу; T_4 – температура вичавків, що утворюється після пресу; T_1 – температура стінки пресу;

M_3 – вологість мезги, що у пресі;

F_4 – залишки, що надходять до транспортеру;

U_4 – напруга двигуна пресу;

M – вологість вичавок;

I – струм двигуна пресу;

f_s – частота обертання шнеків;

F_s – витрати електроенергії;

$F_{\text{с}}$ – сік, що надійшов від суслозбірників до резервуарів.

Табл. 1.1 – Перелік основних параметрів процесу та похибка їх вимірювання

Найменування параметра	Умовне позначення	Діапазон вимірювання	Допустима похибка	Роль та значення параметра
1	2	3	4	5
Начальна вологість вичавків	M_0	55 %	$\pm 2\%$	Визначає виробничу потужність
Кінцева вологість вичавків	M_c	50 %	$\pm 2\%$	Характеризує якість роботи об'єкту
Номинальний струм двигуна преса	I_n	75	$\pm 2A$	Характеризує якість роботи об'єкту
Тиск у гідроциліндрі	P	1.46МПА	$\pm 2МПА$	Визначає умови процесу по енергії
Рівень продукту в суслозбірнику	L_c	1300мм	$\pm 5мм$	Визначає безпеку процесу
Струм двигуна стікача	I_c	60	$\pm 2A$	Показник роботи об'єкту
Струм двигуна конвеєра	I_v	60	$\pm 2A$	Показник роботи об'єкту

Нормативну основу складають три головні регламенти:

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РЕГЛАМЕНТ — визначає умови, за яких у ході технологічного процесу виходить продукт із заданими властивостями. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від номіналу технологічних параметрів. Для ТП віджимання соку є

$F_{\text{с}}, F_{\text{с}}, F_{\text{с}}, M, M_{\text{с}}, T_{\text{с}}$.

ЕКСПЛУАТАЦІЙНА РЕГЛАМЕНТ — визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів цього технологічного обладнання. Таким параметром є струм статорних обмоток електродвигуна шнеків I .

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ ТА ЕКОЛОГІЧНИЙ РЕГЛАМЕНТ — визначає умови ефективності ведення процесу та його екологічності. Він являє собою набір номінальних або гранично-допустимих значень техніко-економічних і екологічних параметрів. До цієї групи параметрів можна віднести витрату електроенергії F_e .

Відхилення вологості вичавків нижче гранично допустимих значень може призвести до закопорення стінок шнеку. Отже, буде перегрів електродвигуна пресу.

Відхилення струму статорних обмоток електродвигуна шнеків вище гранично допустимих значень може призвести до перенавантаження електродвигуна преса, тобто буде автоматичне відключення електродвигуна преса.

Отже, потрібно задане значення вологості підвищувати, а задане значення току двигуна знижувати з тим, щоб запобігти автоматичному відключенню електроприводу преса. Вихід параметрів за ЗНВ свідчить про порушення в технологічному процесі або в експлуатації обладнання, які можуть призвести до аварії.

Таблиця 1.2 – Таблиця регламентів

Найменування	Позначення	Одиниця виміру	Номінальні значення	Допустимі відхилення від номінала		
				Довготривалі ($t \rightarrow \infty$)	Короткочасні ($0 < t \ll \infty$)	
				величина	величина	час, сек
Вологість вичавок	M	%	50	± 2	± 5	60
Струм обмоток електродвигуна шнеків	I	A	75	± 2	± 5	15

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

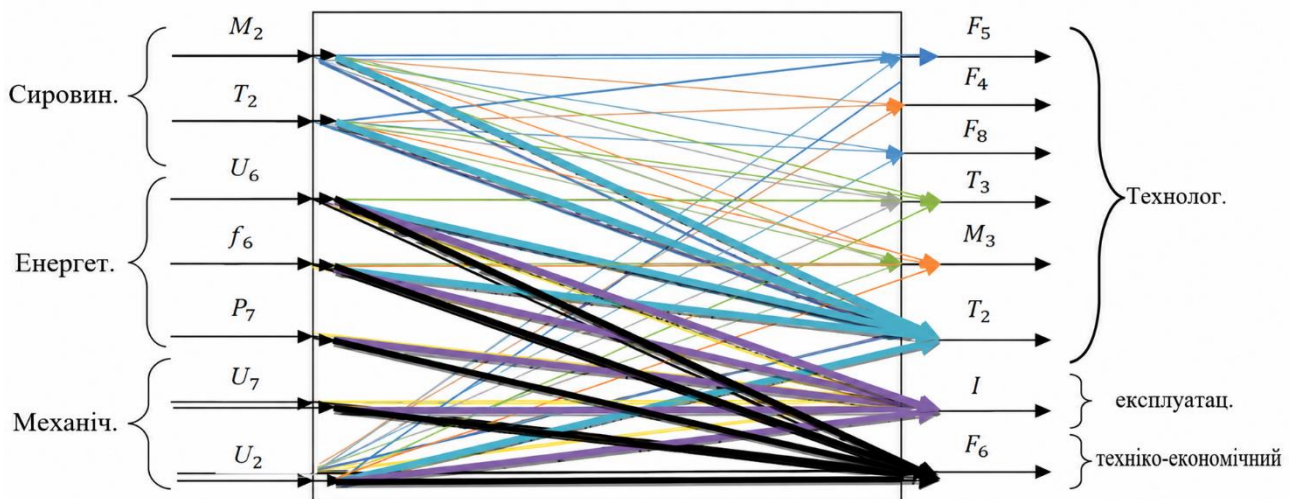


Рис. 1.5 – Параметрична схема ТП віджимання виноградного соку.

Автоматизована система управління ТП пресування соку створюється для підвищення техніко-економічних показників підприємства шляхом забезпечення оперативного моніторингу технологічного процесу, стабілізації ритмічності виробництва та підтримки оптимального режиму роботи.

Операція пресування є одним із визначальних етапів отримання готового соку. Головне завдання виробничої ділянки полягає у забезпеченні безперервної та стабільної роботи пресового обладнання. Для виконання даної умови необхідно строго підтримувати такі технологічні параметри як вологість вичавків, струм статорних обмоток преса.

В результаті впровадження системи автоматизації:

- Буде використано більш вдосконалений ПІД-закон регулювання вологості в ПК, який призведе до підвищення якості регулювання: зменшиться час перехідного процесу, буде ліквідовано відхилення.

- Буде запроваджена двомірна САР, так як керуючий вплив однієї сепаратної САР через перехресний зв'язок об'єкта і одночасно через міжрегуляторний зв'язок впливає на регульовану змінну іншої САР, то необхідно вимагати, щоб ці впливи були б взаємно протилежними і компенсували б один одного, тобто забезпечувався б їх баланс.

Функціонування АСУ ТП здійснюється відповідно єдиного критерію, яким

зазвичай виступає один з економічних показників підприємства: прибуток, виробничі витрати на здійснення технологічного процесу, виробничі втрати.

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

Кінцева економічна мета дипломного проекту полягає у зміцненні конкурентних позицій підприємства через підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів шляхом впровадження вдосконаленої АСУТП.

Система управління ділянкою пресування соку будується на основі комплексу технічних засобів автоматизації, персональних комп'ютерів та мікропроцесорних контролерів.

В процесі функціонування АСУ ТП повинна:

- Упорядкувати і пришвидшити обробку оперативної інформації в темпі перебігу ТП;
- Пришвидшити виявлення передаварійних та аварійних ситуацій функціонування ТОУ та їх ліквідацію;
- Розрахувати значення побічних зміннихі техніко-економічних показників виробництва;
- Підготувати належнимчином і подати оперативному персоналу інформацію про показники функціонування ТП;
- Визначати екстремальні (min) значення регульованих змінних;
- По розробленим алгоритмам здійснювати логічне керування в режимах: пуск, перемикання в циклах безперервно-дискретних ТП, зупинки;
- Оцінювати та прогнозувати стан ТП та технологічного обладнання.

Всі ці задачі вирішуються встановленням додаткового комплексу вимірювального, сигнального, регулюючого обладнання, а також технічних і програмних засобів для реалізації всіх інтелектуальних функцій АСУТП.

На кожному етапі ТП виконуються певні функції. Визначимо послідовність і

суть виконуваних функцій.

Спочатку відбувається отримання аналогових та дискретних сигналів (1), котрі зображуються на АРМ оператора (2), тобто дані надходять, перетворюються та відображаються завдяки ПЛК та ПК. Далі відбувається аналіз аналогових (3) та дискретних (4) сигналів, і у випадку їх виходу за граничні значення відбувається сигналізація (5), і формуються захисні впливи (6) для запобігання аварійних ситуацій.

1.4 Висновки за розділом

На основі проведеного аналізу технології та обладнання ділянки віджимання соку сформульовані основні вимоги до АСУТП, що модернізується, проведено обґрунтування шляхів підвищення конкурентоздатності на основі сучасних технологій автоматизації, і відображення їх у схемі функціональної структури АСУТП.

Виходячи з вище викладеного, при впровадженні АСУТП процесом віджимання соку на базі сучасних технічних засобів, яка буде ефективно контролювати і керувати процесом, потрібно домогтися: збільшення виходу соку з 1т сировини. Для чого необхідно поліпшити якість регулювання, удосконалити існуючі алгоритми управління, розробити контролерно-комп'ютерні мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК.

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

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

Необхідною умовою вирішення задач керування є наявність керуючих дій, що повинні бути вхідними змінними, тобто координатами об'єкта керування. Для задач регулювання такими керуючими діями, насамперед, є дії, що цілеспрямовано можуть змінювати витрати матеріальних і енергетичних потоків, а саме положення регулювальних органів. Кількість керуючих дій повинна відповідати кількості регульованих змінних.

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

Структурна схема ОК є черговим і завершальним етапом формалізованого подання технологічного процесу як об'єкта керування. Розробка схеми проводиться на основі результатів досліджень.

Структурна схема ОК, по суті, є найбільш загальною концептуальною моделлю технологічного процесу як об'єкта керування.

Структурна схема об'єкта керування процесом пресування винограду наведена на рис. 2.1.

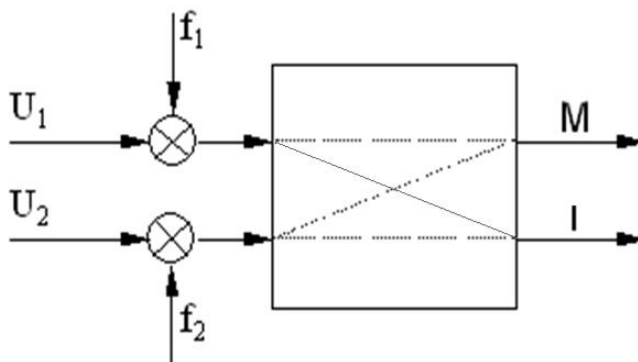


Рис. 2.1 – Структурна схема процесу

U – регулюючий вплив, % х.р.о.; f – неконтрольоване збурення.

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

До проведення експериментальних досліджень рекомендується, спираючись на апіорні відомості та фізичну природу об'єкта, здійснити попередню оцінку властивостей каналів, моделі яких потребують ідентифікації.

Для технологічного процесу пресування винограду об'єкт керування за каналами управління характеризується властивістю самовирівнювання. Зростання керуючої дії U_1 призводить до зменшення вологості вичавок M та збільшення струму двигуна I . Зростання керуючої дії U_2 призводить до збільшення вологості вичавок M та струму двигуна I .

З огляду на фізичну природу процесів, що відбуваються в ОК, у загальному випадку вони описуються нелінійними диференціальними рівняннями. Однак номінальний режим роботи ОК характеризується відносно вузьким діапазоном варіювання регульованих координат — вологості вичавок та струму двигуна, у межах якого процеси допускають опис лінійними диференціальними рівняннями, тобто лінеаризація моделі ОК є прийнятною.

Активні дослідження виконуються лише для каналів із доступними для цілеспрямованого впливу вхідними змінними, насамперед керуючими діями. При цьому експериментатор може обирати вхідну дію будь-якої форми: ступінчасту, лінійно зростаючу, імпульсну, гармонічну або випадкову. Однак з урахуванням простоти організації цих дій, мінімізації витрат часу на проведення експерименту та обробку його результатів доцільно використовувати ступінчасті дії.

План активного експерименту:

1. За допомогою зміни керуючих дій U_1 та U_2 домагаємося значень регульованих координат, що перебували б в околицях їх номінальних значень.
2. Чекаємо закінчення перехідних процесів у каналах та настання сталих режимів, за яких вихідні змінні перестануть змінюватися.
3. Змінюємо керуючу дію U_1 ступінчастим чином на 15 % х.р.о., відзначивши при цьому момент початку її зміни.
4. Реєструємо зміну вихідних змінних до настання нових сталих режимів.

5. Повертаємо U_1 у вихідний стан, чекаємо закінчення перехідних процесів у каналах та настання сталих режимів.

6. Змінюємо керуючу дію U_2 ступінчастим чином на 20 % х.р.о., відзначивши при цьому момент початку її зміни.

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

Результати активного експерименту наведені на рис. 2.2.

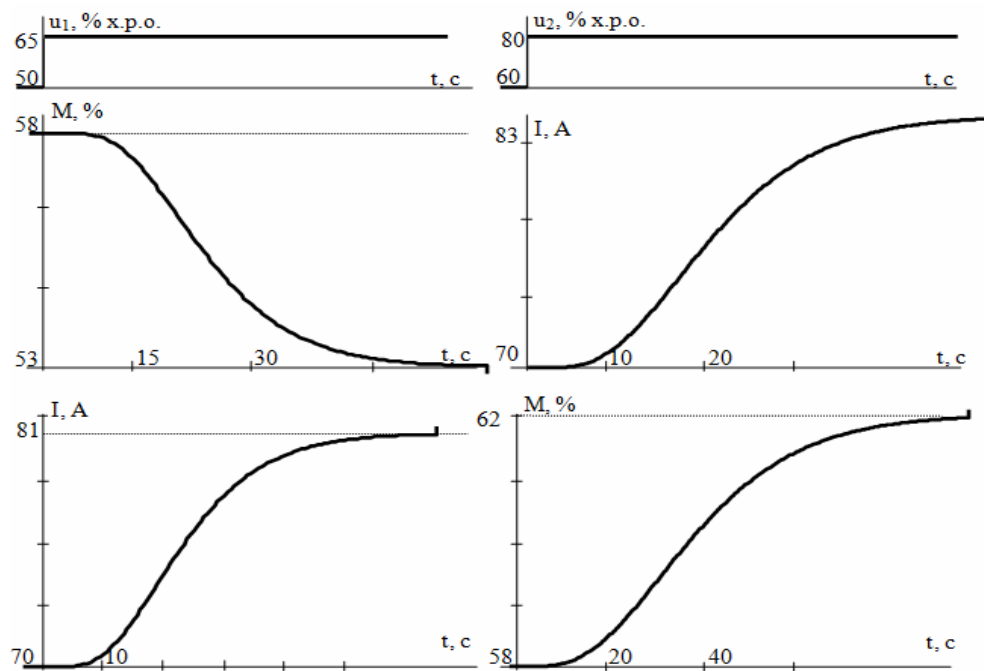


Рис. 2.2 – Результати активного експерименту

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

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

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

Канал « $U_1 - M$ »

Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

Вибір методик і проведення параметричної ідентифікації моделей першого

та другого порядків.

$$K_0 = \frac{\Delta M}{\Delta U_1} = \frac{53-58}{65-50} = -0,33 \text{ \%} / \text{ \% x.p.o.}$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.3), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

$$t_{0,33} = 20,25 \text{ с};$$

$$t_{0,7} = 29,05 \text{ с}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 20,25 - 29,05) = 15,85 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (29,05 - 15,85) / 1,2 = 11 \text{ с}$$

Для моделі 2-го порядку

$$t_{0,19} = 16,92 \text{ с}.$$

Тоді

$$\tau_0 = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 16,92 - 29,05) = 10,9 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 2,4 = (29,05 - 10,9) / 2,4 = 7,6 \text{ с}$$

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

$$W_o(p) = \frac{0,4 \cdot e^{-7,8p}}{(9,25p + 1)^2}$$

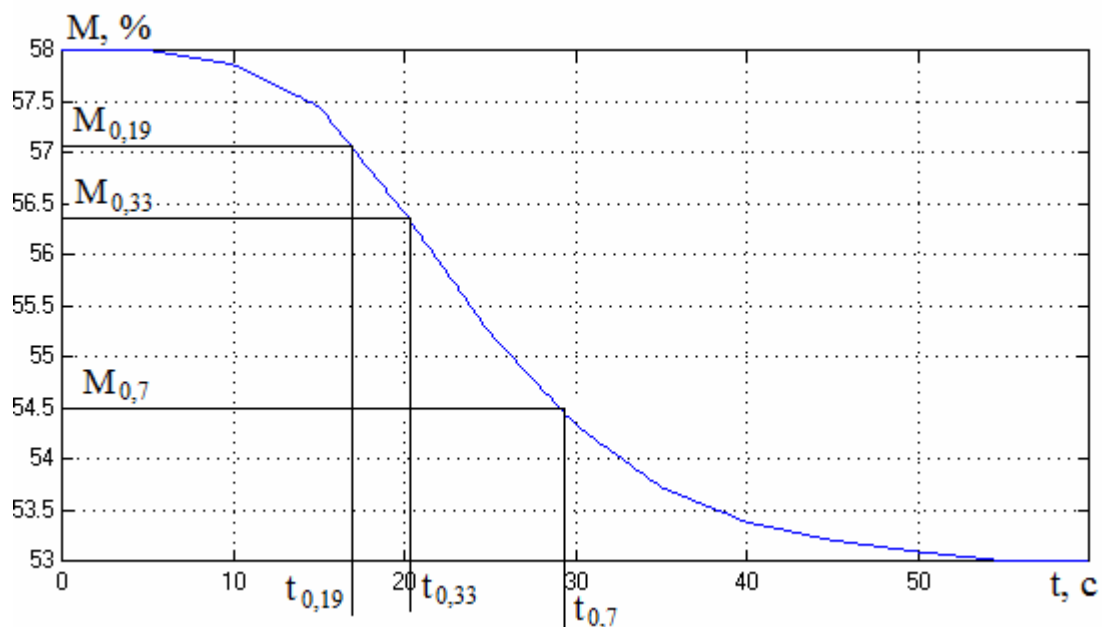


Рис. 2.3 – Параметрична ідентифікація моделі ОК на каналом « $U_1 - M$ »

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

точок”. Для моделі 1-го порядку

$$\Delta I_{1,0} = 83 - 70 = 13A;$$

$$I_{0,33} = 0,33 \cdot 13 + 70 = 74,29A;$$

$$I_{0,7} = 0,7 \cdot 13 + 70 = 79,1A;$$

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.4), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

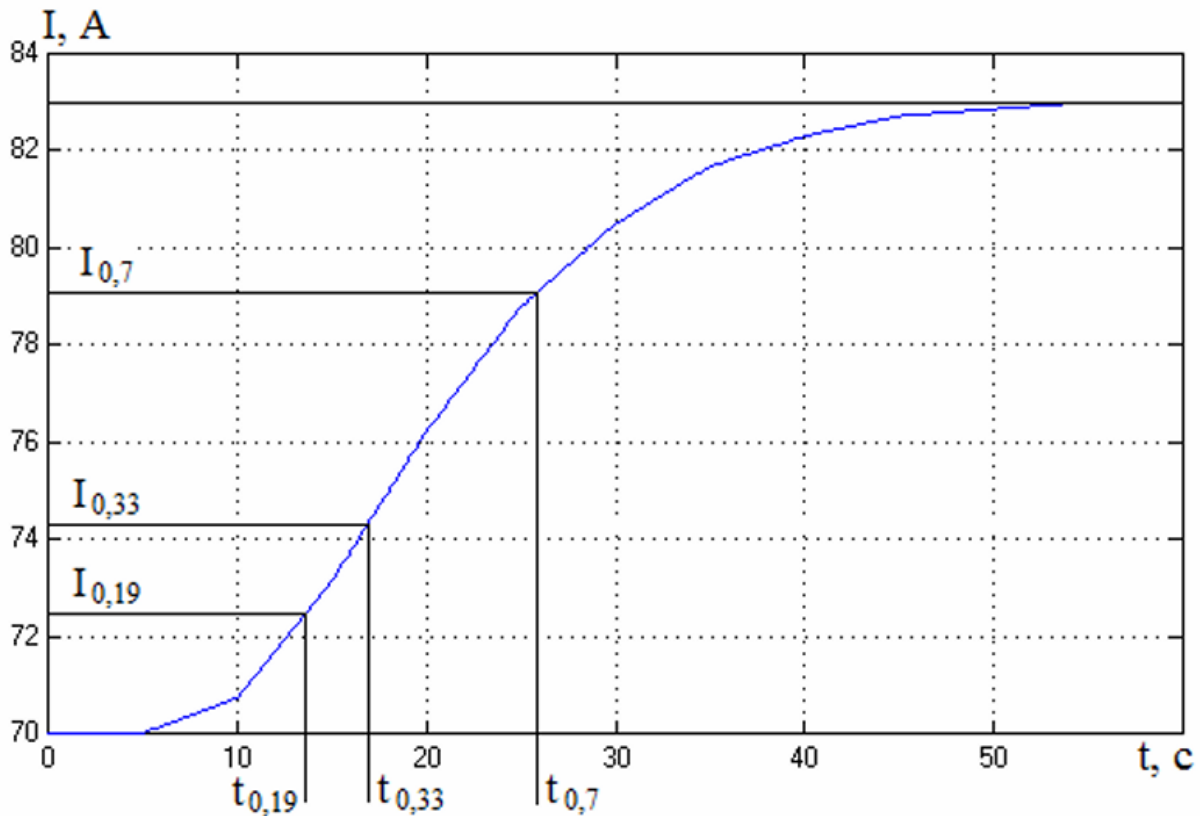


Рис. 2.4 – Параметрична ідентифікація моделі ОК на каналом « $U_2 - I$ »
 $t_{0,33} = 16,88$ с;

$$t_{0,7} = 25,91$$
с.

Тоді

$$\tau_o = 0,5 \cdot (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) = 0,5 \cdot (3 \cdot 16,88 - 25,91) = 12,4$$
 с

$$T_o = (t_{0,7} - \tau_o) / 1,2 = (25,91 - 12,4) / 1,2 = 11,3$$
 с

Канал « $U_2 - M$ » Коефіцієнт передачі ОК визначають за формулою:

$$K_o = \frac{\Delta M}{\Delta U_1} = \frac{68 - 58}{80 - 60} = 0.2$$

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

Для моделі 1-го порядку

$$\Delta M_{1,0} = 62 - 58 = 4\%;$$

$$M_{0,33} = 0,33 \cdot 4 + 58 = 59,32\%;$$

$$M_{0,7} = 0,7 \cdot 4 + 58 = 60,8\%;$$

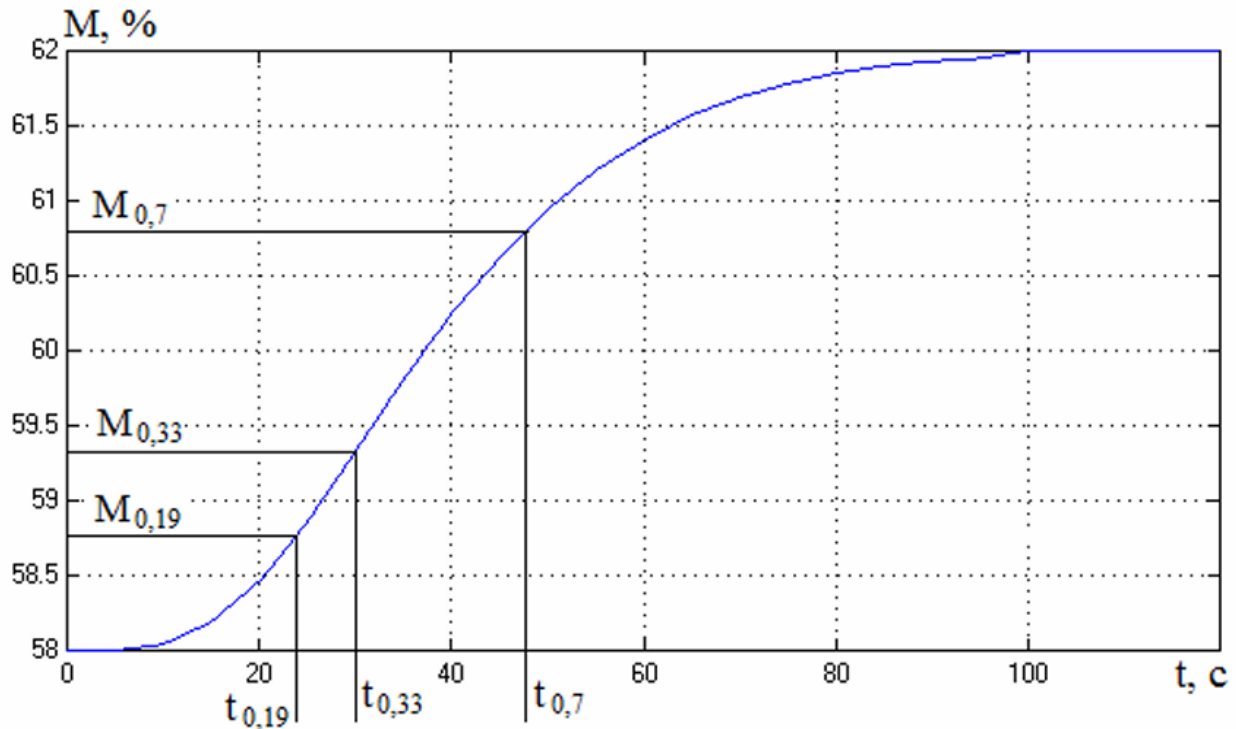


Рис. 2.5 – Параметрична ідентифікація моделі ОК на каналом «U2 – M»

Статичні властивості ОК описуються статичними характеристиками, тобто моделями каналів. Вони відображають взаємозв'язок між вхідними і вихідними координатами каналів ОК у статично сталих режимах, тобто після загасання всіх перехідних складових цих змінних.

Кінцевим результатом ідентифікації математичної моделі статичної є встановлення функціональної залежності вихідної координати від вхідних змінних ОК на основі експериментальних даних. Значення вихідної координати, отримані в результаті експерименту, завжди мають випадкову складову, обумовлену дією некерованих і неконтрольованих змінних, а також похибками вимірювання.

У цьому випадку залежність визначається з використанням статистичних методів, і вона називається регресією, регресійною залежністю або рівнянням регресії. У теорії експерименту вхідні змінні ОК називають факторами, а

регульовані координати — відгуком. Відповідно до цієї термінології експеримент, проведений для ідентифікації моделі, де функція залежить від однієї змінної, називають однофакторним, а функція багатьох змінних — багатофакторним.

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

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

А. Діапазони зміни факторів в експерименті фактично визначають діапазон, у якому отримана модель може коректно використовуватися. Тому вони повинні відповідати реальним діапазонам зміни змінних, обумовлених факторами.

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

В. Кількість повторів для компенсації випадкової складової визначається інтенсивністю випадкових складових у вхідних і вихідних змінних ОК, кількістю факторів, витратами часу та іншими обставинами. Кількість повторів приймається рівною 3–5. У деяких випадках повторів можна не робити.

Г. Послідовність зміни факторів, особливо при їх великій кількості, доцільно вибрати такою, щоб рандомізувати експеримент, тобто надати випадкові властивості ходу експерименту. Це можна зробити за рахунок запланованої заздалегідь випадкової зміни послідовності зміни факторів і, можливо, величин їх збільшень. Така організація експерименту дозволить “не пропустити” особливостей властивостей об’єкта, що при однакових сполученнях факторів при повторях можуть не виявитися. У найпростіших випадках можна використовувати і регулярні плани.

Таблиця 2.1 – План активного експерименту для визначення статичних характеристик ОК

№ експерименту	U1, % х.р.о.	U2, % х.р.о.	M, %	I, A
1	50	60	58	70
2	65	60	53	81
3	80	60	48	92
4	35	60	63	59
5	50	70	60	76,5
6	50	80	62	83
7	50	50	56	63,5
8	50	40	54	57

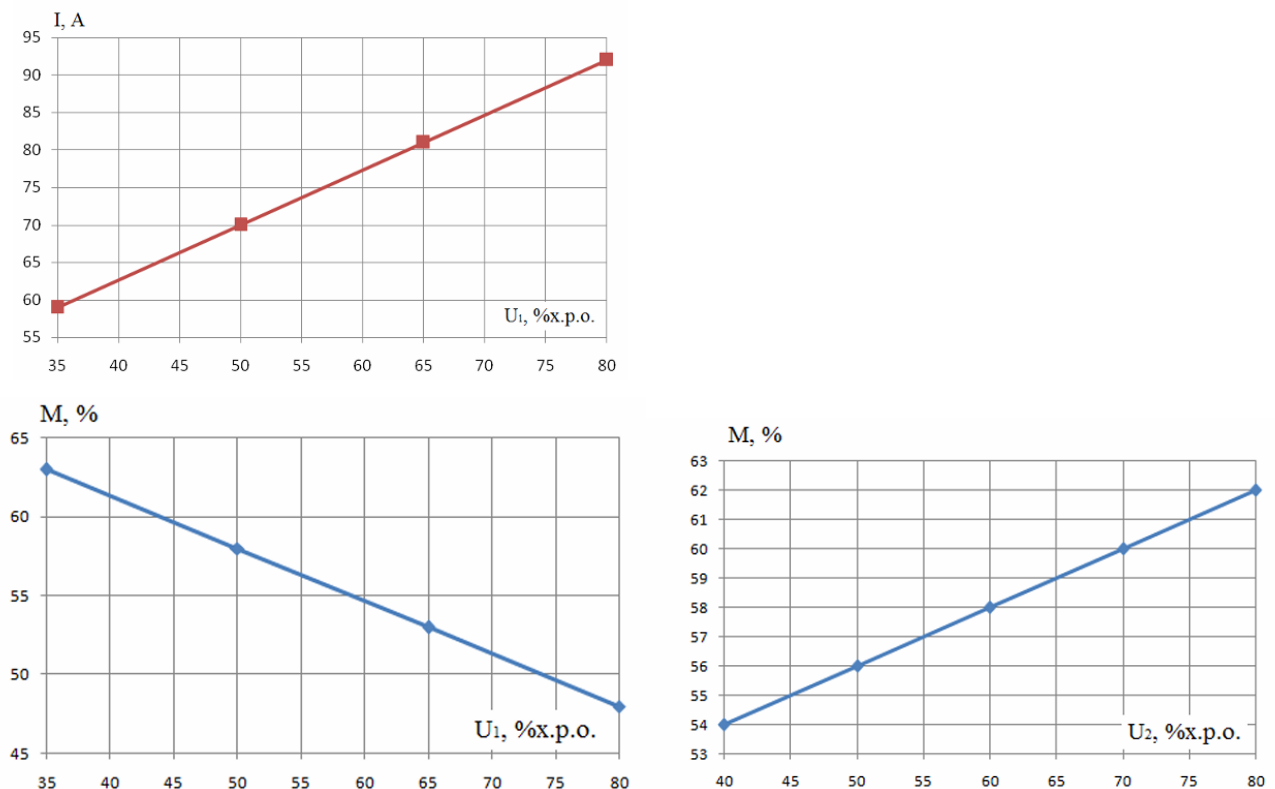


Рис. 2.6 – Результати експериментів для визначення статичних характеристик ОК

Структурна ідентифікація моделей статички зводиться до вибору виду рівняння регресії. Структурна ідентифікація є вихідним пунктом загального завдання ідентифікації моделей статички. Але, як показує практика, вибрати вид моделі відразу, як правило, не вдається. Причому недоліки вибраної моделі стають очевидними тільки після етапу її параметричної ідентифікації. Усунення недоліків моделі вимагає повернення до процедури структурної ідентифікації. Таких варіантів може бути кілька, тобто процедура ідентифікації має ітераційний характер.

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

$$\vec{a}^* = \operatorname{argmin} \{I(\vec{a}) = \sum_{i=1}^n (y_i(\vec{x}_i) - y^m(\vec{a}, \vec{x}_i))^2\}.$$

Для досліджуваного ОК, як можемо побачити, статична характеристика може бути описана лінійною залежністю виду:

$$M = a_1 \cdot U_1 + a_2 \cdot U_2 + a_0$$

$$I = b_1 \cdot U_1 + b_2 \cdot U_2 + b_0$$

Параметри a_1 , a_2 , b_1 та b_2 були нами визначені в процесі ідентифікації в підрозділі 2.2. При цьому:

$$a_1 = K_0 = -0,33 \text{ \%/\%x.p.o.}, a_2 = 0,2 \text{ \%/\%x.p.o.},$$

$$b_1 = 0,73 \text{ A/\%x.p.o.}, b_2 = 0,65 \text{ A/\%x.p.o.}$$

Параметри a_0 та b_0 можна визначити із залежностей:

$$a_0 = M - a_1 \cdot U_1 - a_2 \cdot U_2 = 58 + 0,33 \cdot 50 - 0,2 \cdot 60 = 58 + 16,5 - 12 = 62,5\%;$$

$$b_0 = I - b_1 \cdot U_1 - b_2 \cdot U_2 = 70 - 0,73 \cdot 50 - 0,65 \cdot 60 = 70 - 36,5 - 39 = -5,5 \text{ A}.$$

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

У цьому підрозділі роботи в пакеті Simulink середовища MATLAB для каналів ОК розробляються схеми моделювання як для моделі 1-го, так і для моделі 2-го порядку. Моделі повинні мати один вхід, а вихід моделей виводиться на графік в одній системі координат. У цю ж систему координат зводяться експериментальні дані.

Для додавання в схему експериментальних даних попередньо готують експериментальні дані в табличному вигляді і реалізують їх у компоненті Look-Up Table.

Передаточна функція моделі 1-го порядку ОК має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{-0,33 \cdot e^{-15,85p}}{11p + 1}$$

Передаточна функція моделі 2-го порядку ОК має вигляд:

$$W_o(p) = \frac{-0,33 \cdot e^{-,109p}}{(7,6p + 1)^2}$$

Для досліджуваного каналу ОК експериментальні дані зведено в таблицю 2.2. Схема моделювання каналу управління ОК наведена на рис. 2.7. Результати моделювання наведені на рис. 2.8.

Таблиця 2.2 – Експериментальні дані для каналу «U1 – М»

t, c	M, %	t, c	M, %
0	58	35	53,72
5	58	40	53,38
10	57,86	45	53,2
15	57,45	50	53,09
20	56,41	55	53
25	55,23	60	53
30	54,33	65	53

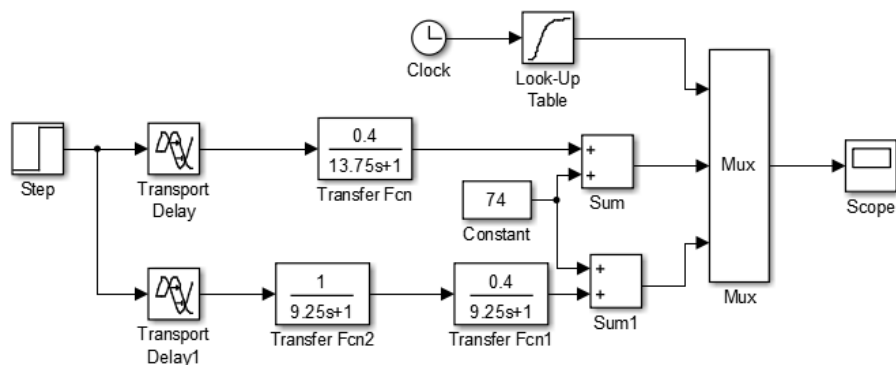


Рис. 2.7 – Схема моделювання ОК за каналом «U1 – М»

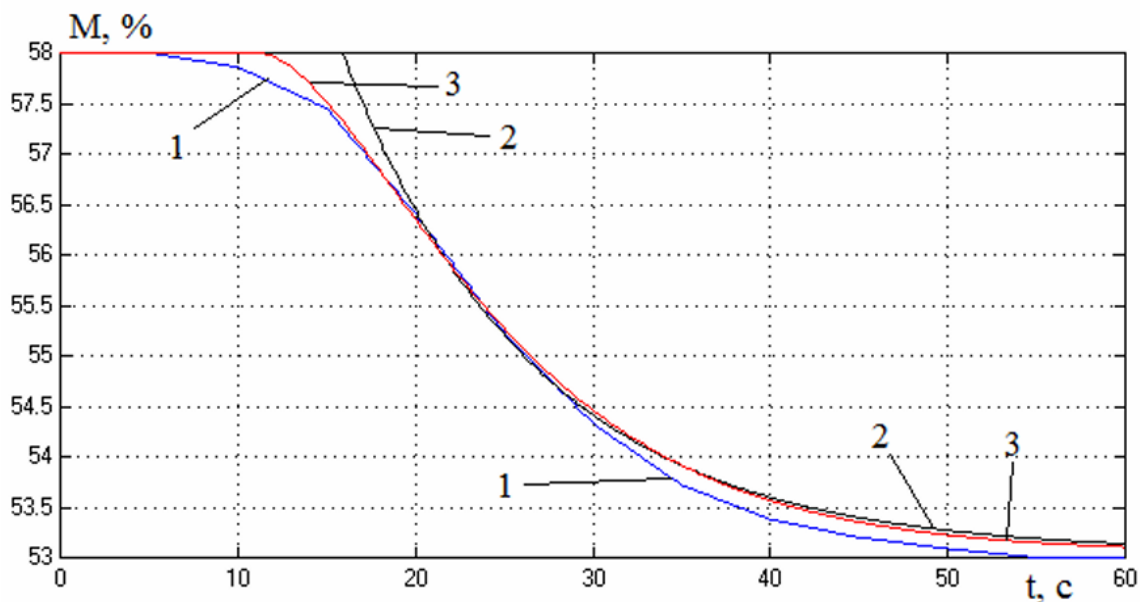


Рис. 2.8 – Результати моделювання ОК за каналом «U1 – M»: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

Для досліджуваного каналу «U1 – I» експериментальні дані зведено в таблицю 2.3. Схема моделювання каналу управління ОК наведена на рис. 2.9. Результати моделювання наведені на рис. 2.10.

Таблиця 2.3 – Експериментальні дані для каналу «U1 – I»

t, c	I, A	t, c	I, A
0	70	40	79,9
5	70	45	80,4
10	70,5	50	80,67
15	72,05	55	80,8
20	74,21	60	81
25	76,36	65	81
30	78,05	70	81
35	78,98	75	81

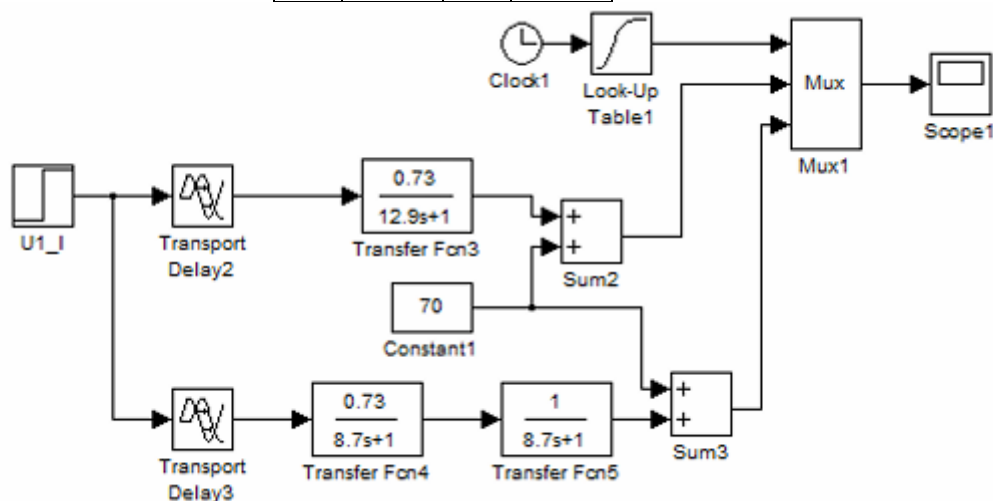


Рис. 2.9 – Схема моделювання ОК за каналом «U1 – I»

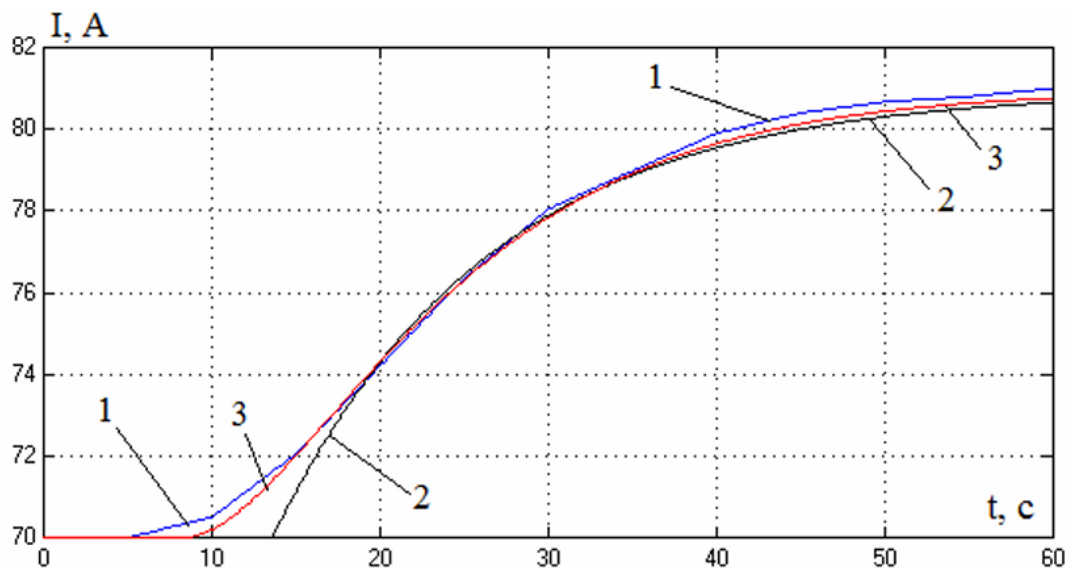


Рис. 2.10 – Результати моделювання ОК за каналом «U1 – I»: 1 – експериментальні дані; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

Розробка структурних схем моделювання статички каналів передбачає отримання статичних характеристик моделей і їх порівняння з експериментальними статичними характеристиками.

Моделі статичних характеристик:

$$M = -0,33 \cdot U_1 + 0,2 \cdot U_2 + 62,5;$$

$$I = 0,73 \cdot U_1 + 0,65 \cdot U_2 - 5,5.$$

Для виконання цього підрозділу роботи скористаємося можливостями додатка MS Excel. Експериментальні дані для перевірки моделі статички наведені в таблиці 2.1, результати розрахунків зведені в таблицю 2.4 та наведені на рис. 2.11. Як видно з таблиці та рисунку, результати моделювання достатньо точно повторюють експериментальні дані, а отже, модель є правильною.

Таблиця 2.4 – Результати розрахунку моделей статички

№ експерименту	U1, % х.р.о.	U2, % х.р.о.	M, %	I, A	Mм, %	Iм, A
1	50	60	58	70	58	70
2	65	60	53	81	53,05	80,95
3	80	60	48	92	48,1	91,9
4	35	60	63	59	62,95	59,05
5	50	70	60	76,5	60	76,5
6	50	80	62	83	62	83
7	50	50	56	63,5	56	63,5
8	50	40	54	57	54	57

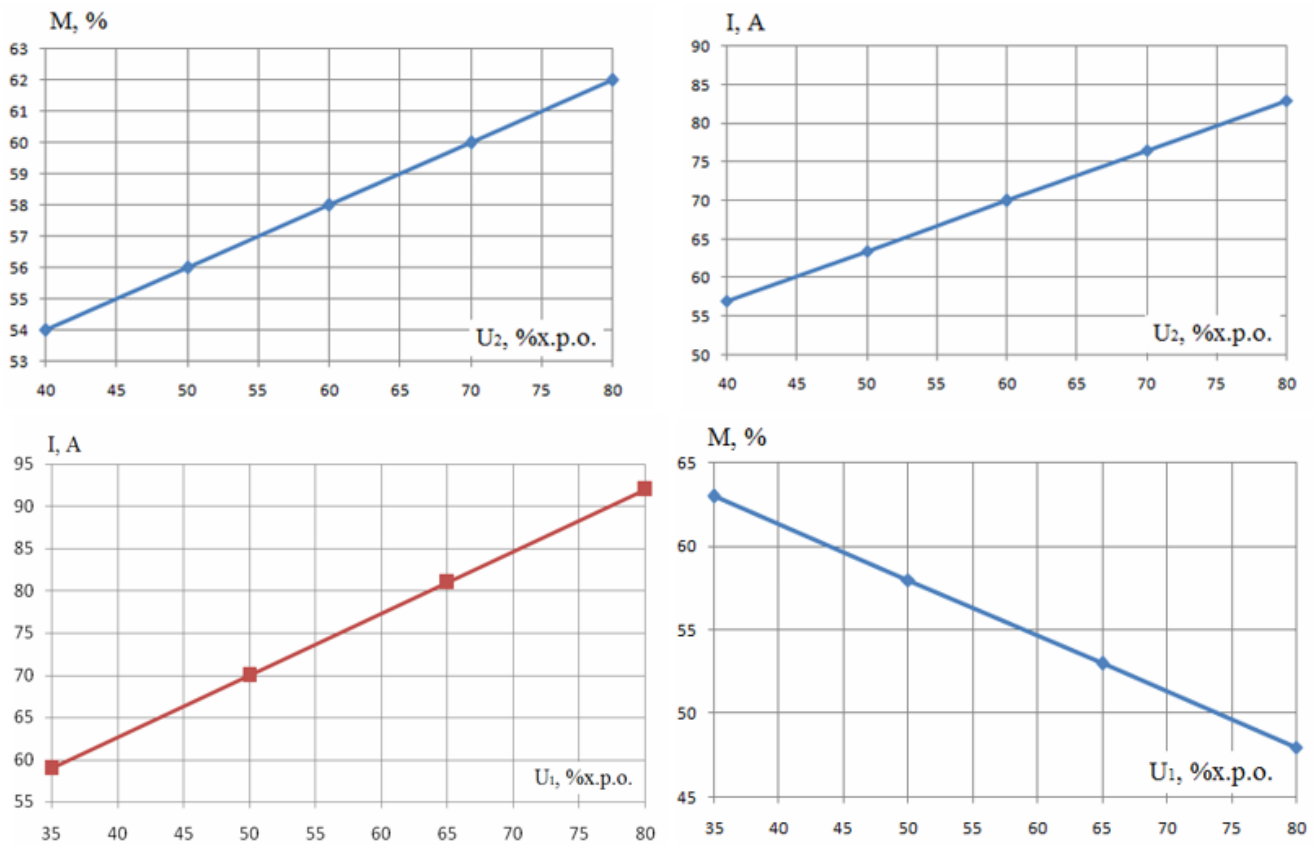


Рис. 2.11 – Результати розрахунку моделей статички

2.4 Висновки за розділом

У ході виконання розділу з ідентифікації було виявлено, що якісна реалізація технологічного процесу залежить від точності підтримки режимних параметрів: вологості вичавок та струму головного двигуна. Як керуючі дії можуть виступати положення регулюючих органів подачі мезги та оливи в гідросистему преса.

За всіма каналами об'єкт має статичні властивості і найбільш точно може бути описаний моделями другого порядку. Ідентифікація моделей каналів ОК проводилася методом активного експерименту з нанесенням на вхід каналу 15 %-ї та 20 %-ї ступінчастих дій. Для параметричної ідентифікації моделей каналів управління застосовувалися методики двох загальних точок для моделей першого і другого порядку.

Відтворення отриманих моделей у середовищі імітаційного моделювання здійснювалося в середовищі MATLAB. Надалі отримані в розділі моделі будуть використовуватися для синтезу і аналізу САК підвищеної динамічної точності управління технологічним процесом пресування винограду в шнековому пресі.

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

3.1. Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом

Загальною задачею керування є керування продуктовими та енергетичними потоками для отримання властивостей продукту необхідного виду і якості. Із загальної мети керування можна виділити окремі задачі:

- підтримання вихідних змінних об'єкту керування (M та I) на їх заданих значеннях ($M_{ЗДН}$ та $I_{ЗДН}$)- задача регулювання;
- пристосування в процесі роботи об'єкта керування до його змінних властивостей завданням - задача адаптації;
- забезпечення найкращих (оптимальних) в певному (заданому) сенсі режимів роботи об'єкта керування - задача оптимізації;
- забезпечити включення і відключення при пусках, зупинках, аварійних ситуаціях - задача логічного керування.

Обґрунтування необхідності і доцільності автоматизації кожної з окремих задач керування. Необхідно і доцільно автоматизувати кожен із задач 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 пресування винограду необхідно регулювати вологість вичавок M та струму головного двигуна преса I . Для задачі адаптації слід автоматизувати пристосування в процесі роботи об'єкту керування до його мінливим властивостям, завданням. Розглянутий технологічний процес є об'єктом неперервної дії. Властивості продукту істотно впливають на динамічні властивості об'єкта. Але ці властивості в процесі роботи установки на тривалому інтервалі часу змінюються мало. Цю задачу можна розв'язати, міняючи (коригуючи) налаштування регуляторів у процесі роботи установки. Для задачі оптимізації слід автоматизувати пошук оптимального протікання процесу, мінімізувати витрати енергії, брак продукції, збільшити продуктивність обладнання. Для процесу пресування винограду цю задачу можна розв'язати, підвищивши вимоги до

розв'язання задачі регулювання. Процес пресування винограду є об'єктом неперервної дії. Для нього є характерним тривалий робочий режим, на який об'єкт виводять в дистанційному режимі. Режим пуску і зупинки є неекономічними режимами роботи установки. Підвищення економічної ефективності роботи цього процесу в режимах пуску і зупинки можна досягти, автоматизувавши ці задачі. Тому для розглянутого технологічного процесу актуальна автоматизація задачі логічного керування.

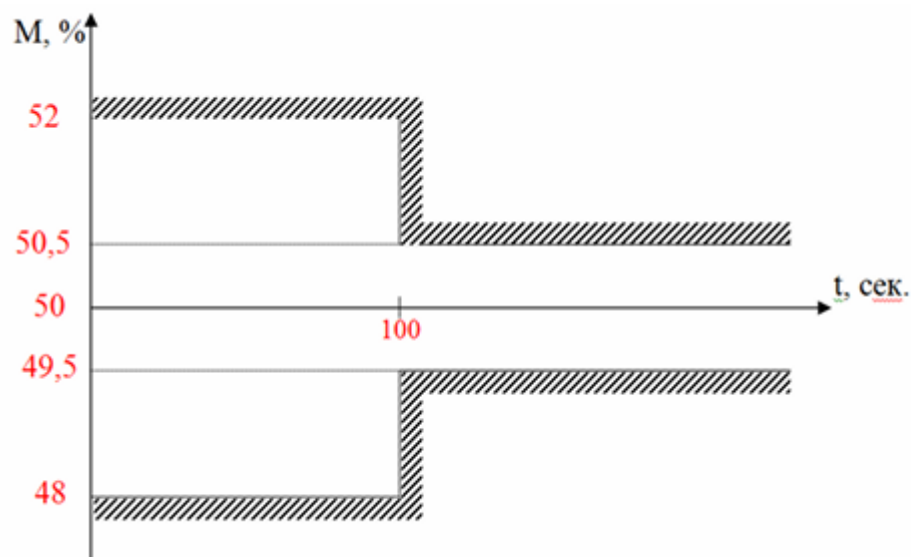


Рис. 3.1 – Регламентна зона для вологості вичавок M

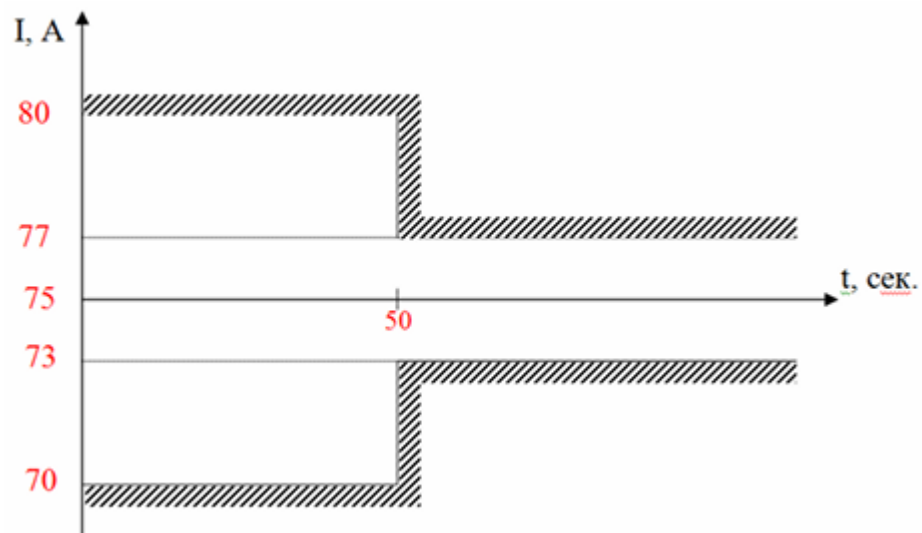


Рис. 3.2 – Регламентна зона для струму двигуна I

Як видно з регламентів на САР для процесу пресування винограду особливо жорсткі вимоги пред'являються до короточасних відхилень, так як саме

недотримання цих регламентів може призвести до браку готової продукції і суттєвих економічних збитків. При цьому малі відхилення регламентуються дуже жорстко. Тому в якості інтегрального критерію застосуємо саме інтегральний квадратичний критерій, який сильно штрафує більші відхилення. Тому ефективність роботи САР і підвищення її динамічної точності доцільно вести за таким критерієм:

Як видно з регламентів, для систем автоматичного регулювання (САР) процесу пресування винограду пред'являються особливо жорсткі вимоги до короткочасних відхилень, оскільки їх недотримання може призвести до браку готової продукції та значних економічних збитків. Навіть незначні відхилення суворо контролюються. Тому в якості інтегрального критерію доцільно застосувати інтегральний квадратичний критерій який сильно штрафує більші відхилення. Саме за цим критерієм доцільно оцінювати ефективність роботи САР процесу пресування винограду та підвищувати її динамічну точність:

$$J = \int_0^{t_M} \left(\left| \frac{\Delta M(t)}{2} \right| + \left| \frac{\Delta I(t)}{5} \right| \right) \cdot dt$$

3.2 Синтез і аналіз САР найпростішої структури

Основу керування становить інформація про мету управління або про бажаний стан ОК (МЗДН, ІЗДН), про поточний стан ОК (М, І) і про збурення f_1 , f_2 . В залежності від об'єму використаної керуючим пристроєм (КП) інформації про ОК виділяють чотири принципи побудови САР: принцип розімкненого жорсткого (програмного) керування; принцип розімкненого керування за збуренням; принцип замкненого керування станом ОК або керування зі зворотнім зв'язком; комбінований принцип керування. Для САР процесу пресування винограду доступною, крім інформації про бажаний стан ОК, є інформація про поточний стан ОК. Такий обсяг інформації для формування керуючих дій достатній для реалізації замкненого принципу керування. Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР пресування винограду базової структури. Структурна схема цього принципу керування наведена на рисунку 1.3.

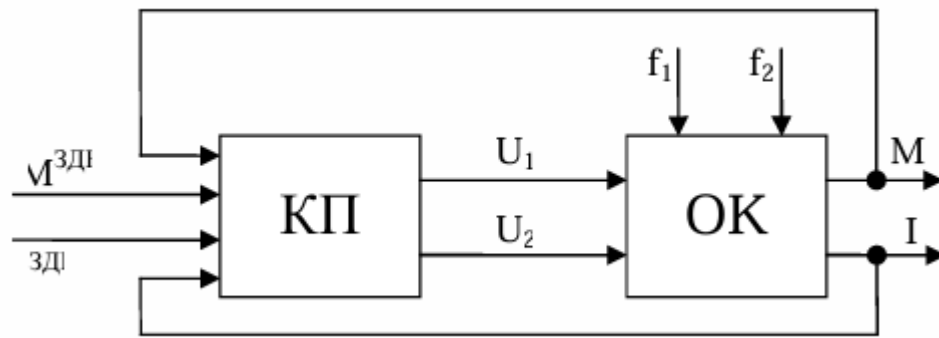


Рис. 3.3 – Структурна схема замкнутого принципу керування
Структурна схема САР процесу пресування винограду наведена на рис.

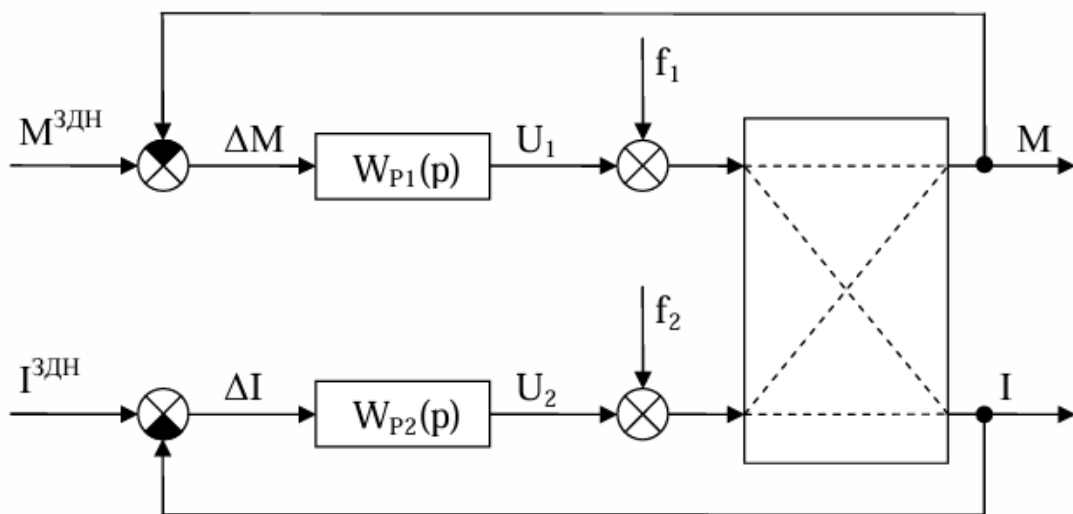


Рис. 3.4 – Структурна схема САР процесу пресування винограду найпростішої структури

Позначення на схемі:

M – вологість вичавків, %;

I – струм статорних обмоток електродвигуна шнеків, А;

U_1, U_2 – регулюючі дії (U_1 – переміщення регулюючого органу на гідравлічній магістралі від насоса до гідроциліндру приводу конуса преса; U_2 – переміщення регулюючого органу на продуктопроводі від дробарки ягід винограду до пресу), % х.р.о.;

f_1, f_2 – неконтрольовані збурення;

$W_{P1}(p), W_{P2}(p)$ – передаточні функції регуляторів;

$M^{\text{ЗДН}}, I^{\text{ЗДН}}$ – задані значення регульованих координат;

$\Delta M, \Delta I$ – помилки регулювання.

В інженерній практиці при керуванні технологічними процесами в більшості випадків використовують типові алгоритми регулювання або регулятори. До них відносяться пропорційний (П), пропорційно-інтегральний (ПІ), пропорційно-диференціальний (ПД) і пропорційно-інтегрально диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання. Якщо ОК за каналами керування має статичні властивості, то П- і ПД-алгоритми регулювання у складі САР дають помилку статизму. При цьому найчастіше статична точність таких САР неприйнятна. І-складова усуває помилку статизму, але істотно знижує швидкодію регулювання. Якщо канали ОК є статичними, то рекомендується використовувати алгоритми регулювання з І-складовою, тобто ПІ і ПІД.

Процес пресування винограду за всіма каналами має статичні властивості, тому в якості альтернативних варіантів алгоритмів регулювання вибираємо пропорційно-інтегральний (ПІ) і пропорційно-інтегрально диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання.

Рівняння руху ПІ-регулятора

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

Передаточна функція ПІ-регулятора

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

Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис. 3.5, а з ПІД-регулятором - на рис. 3.6. Реалізація схеми моделювання ОК наведена на рис. 3.7.

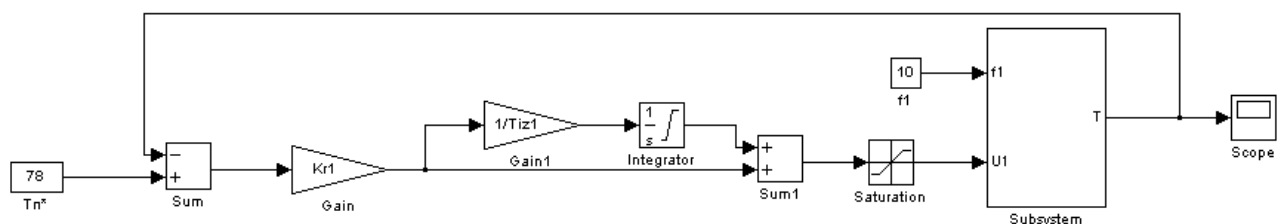


Рис. 3.5 – Реалізація моделі САР з ПІ-регулятором

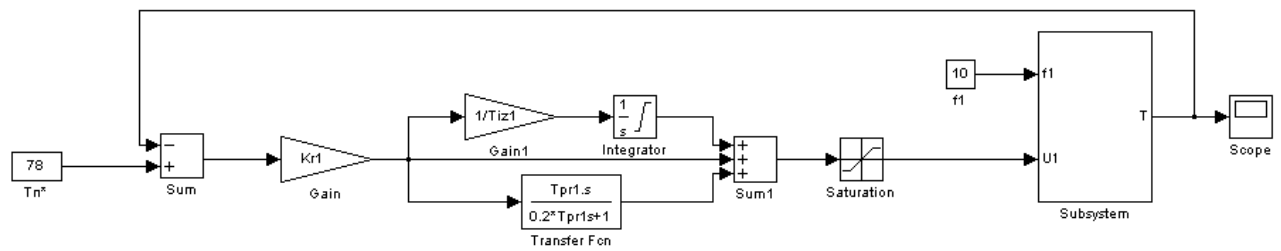


Рис. 3.6 – Реалізація моделі САР з ПІД-регулятором

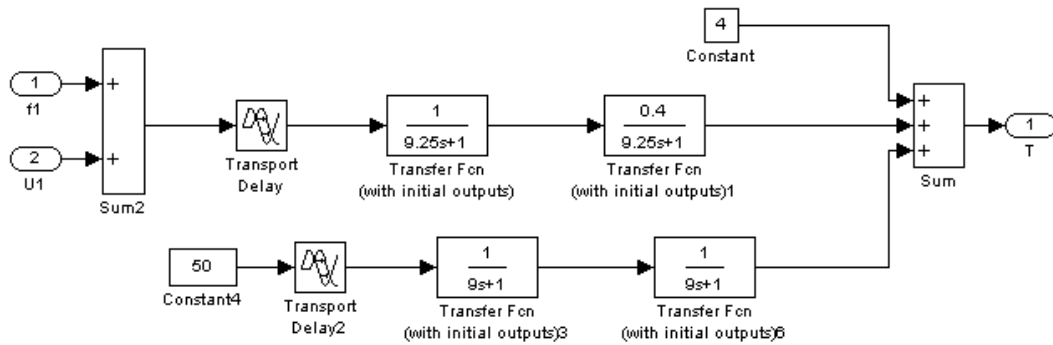


Рис. 3.7 – Схема моделювання ОК

Для оптимального параметричного синтезу САР вологості вичавок та струму двигуна з ПІ-регуляторами будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.8. Результати оптимізації налаштувань ПІ-регуляторів наведені на рис. 3.9.

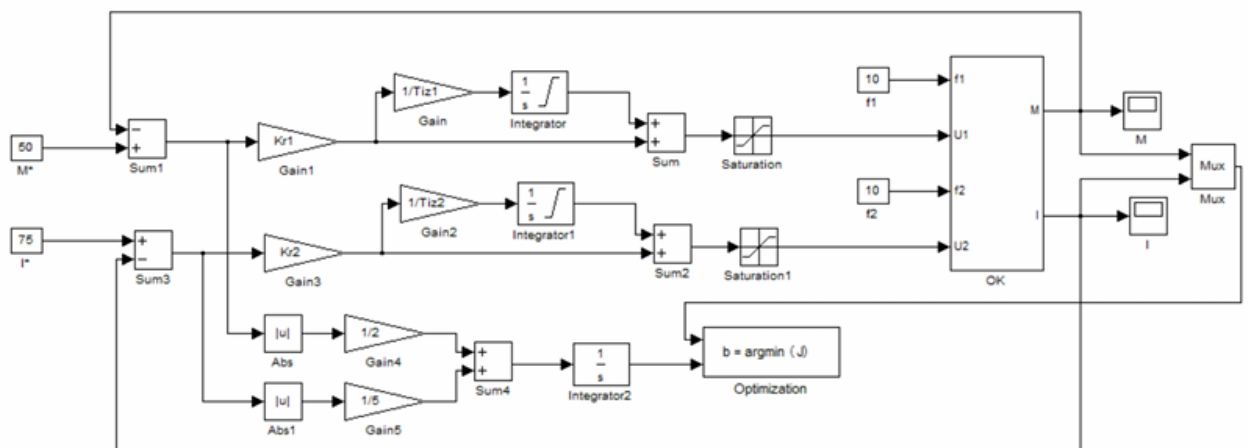
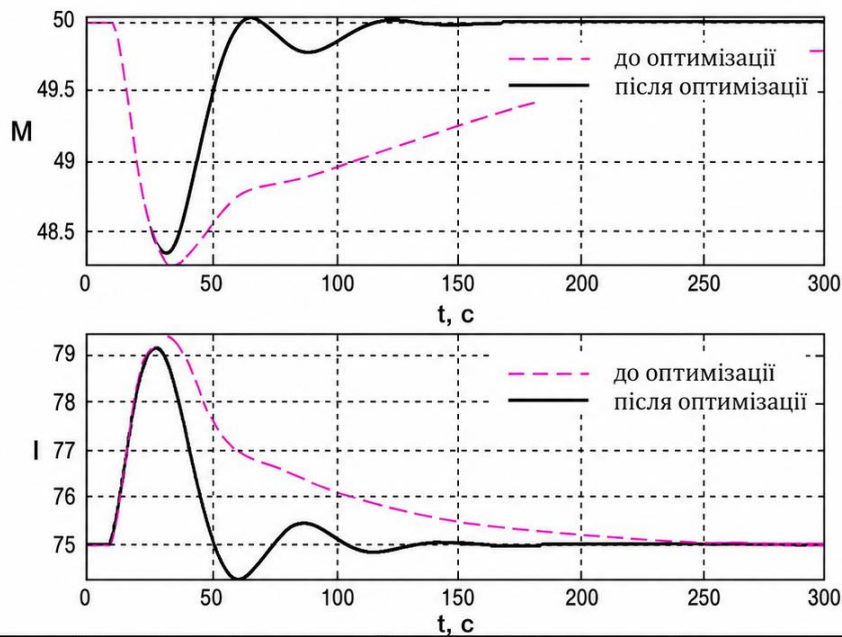


Рис. 3.8 – Структурна схема моделювання для САР з ПІ-регуляторами для оптимального параметричного синтезу



Назва змінної	оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr1	-3.4823	-10	-1.7	0	до - 163.4301
Tiz1	17.2713	1	39.6	100	після - 49.9951
Kr2	1.5155	0	1.1	10	до оптимізації.
Tiz2	14.377	1	31.25	100	Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальне - 1000
					фактичне - 191

Рис. 3.9 – Результати оптимізації параметрів ПІ-регуляторів

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

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

таблиця 3.1 таблиця регламентів

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниця вимірювання	Номінальні значення	Припустимі відхилення від номіналу		
					Довготривалі	Короткочасні	
					Величина	Величина	Час
1	Вологість вичавків	M	%	50	$\pm 0,5$	± 2	100с
2	Струм статорних обмоток електродвигуна шнеків	I	A	75	± 2	± 5	50с

Для оптимального параметричного синтезу САР з ПІД-регуляторами будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.10. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регуляторів наведені на рис. 3.11.

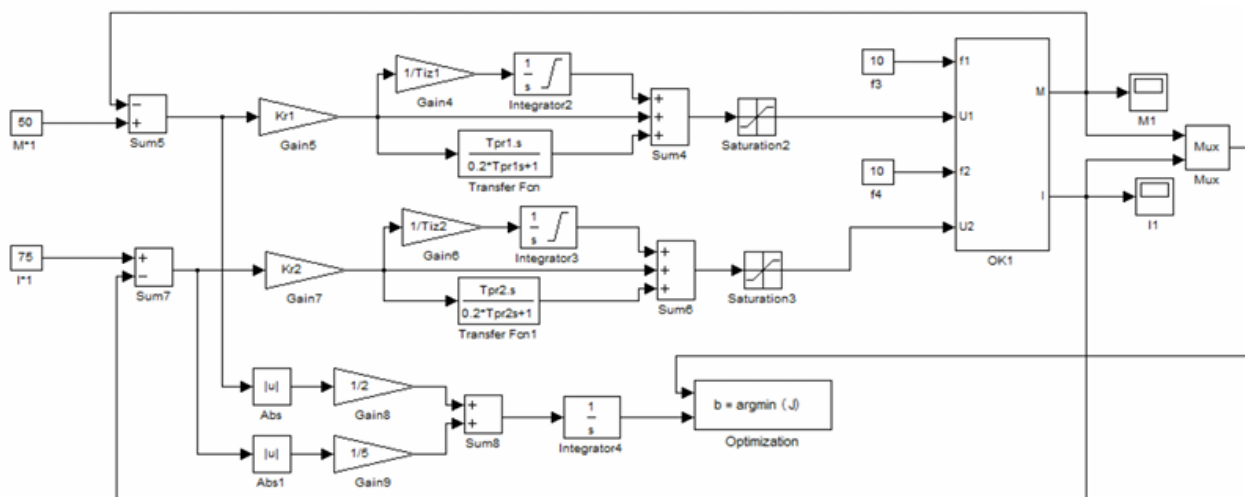


Рис. 3.10 – Структурна схема моделювання для САР з ПІД-регуляторами для оптимального параметричного синтезу

Порівнюємо перехідні процеси в САР з ПІД-регуляторами до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведено в таблицю 3.3

Порівняння перехідних процесів у САР з ПІД-регуляторами до та після оптимізації зведено в таблицю 3.3.

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

САР з ПІД-регулятором	ΔM^{MAX} , %	$T_{\text{пп1}}$, с	ΔI^{MAX} , А	$T_{\text{пп2}}$, с	Критерій
до оптимізації	1,625	136,8	3,69	51,58	109,97
після оптимізації	1,53	46,36	3,37	32,16	31,47

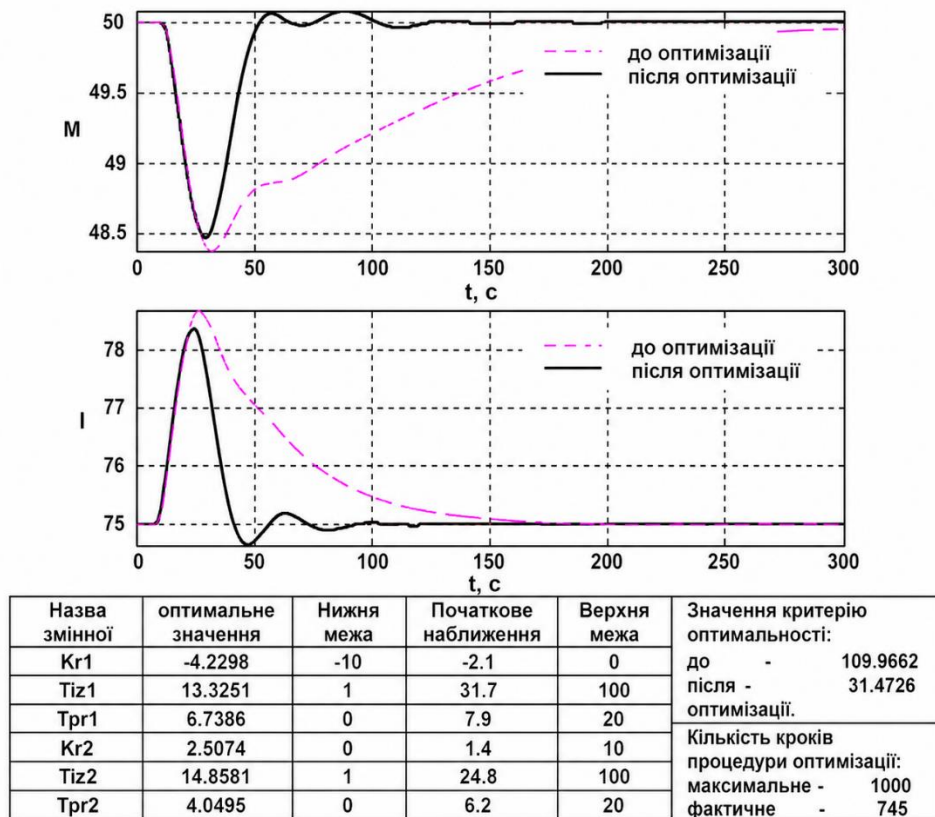


Рис. 3.11 – Результати оптимізації параметрів ПІД-регуляторів

Для проведення порівняльного аналізу САР, що наведена на рис. 3.12. При цьому структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис. 3.13, а САР з ПІД-регулятором - на рис. 3.14. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 3.15 і в таблиці 3.4.

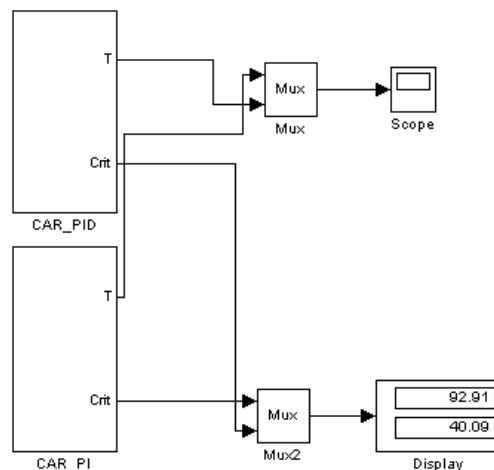


Рис. 3.12 - Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

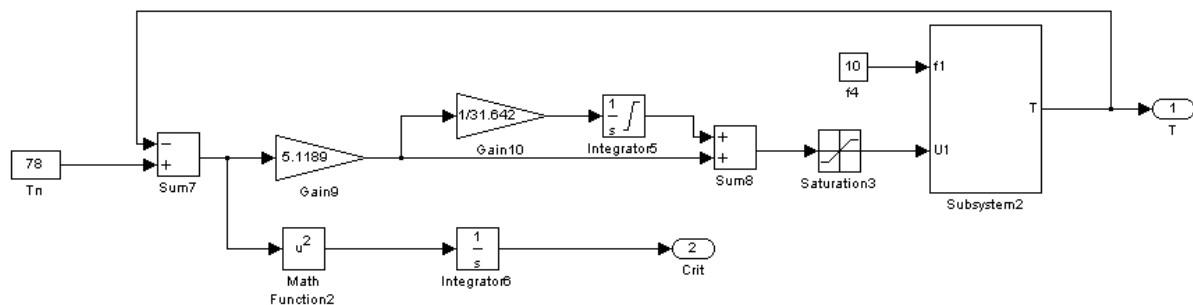


Рис. 3.13 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

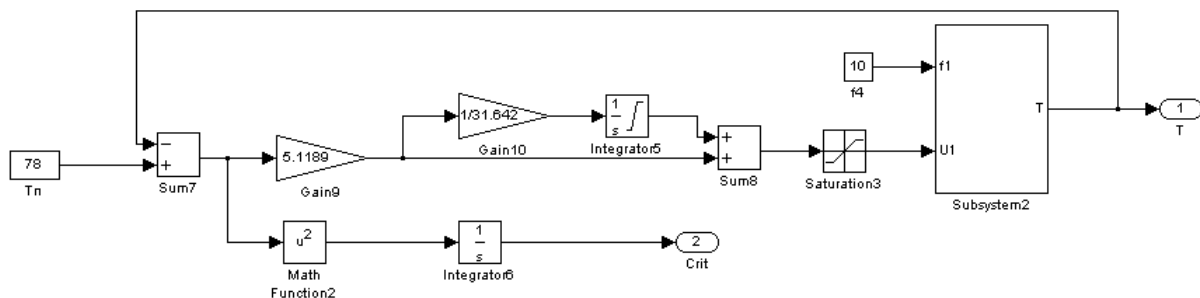
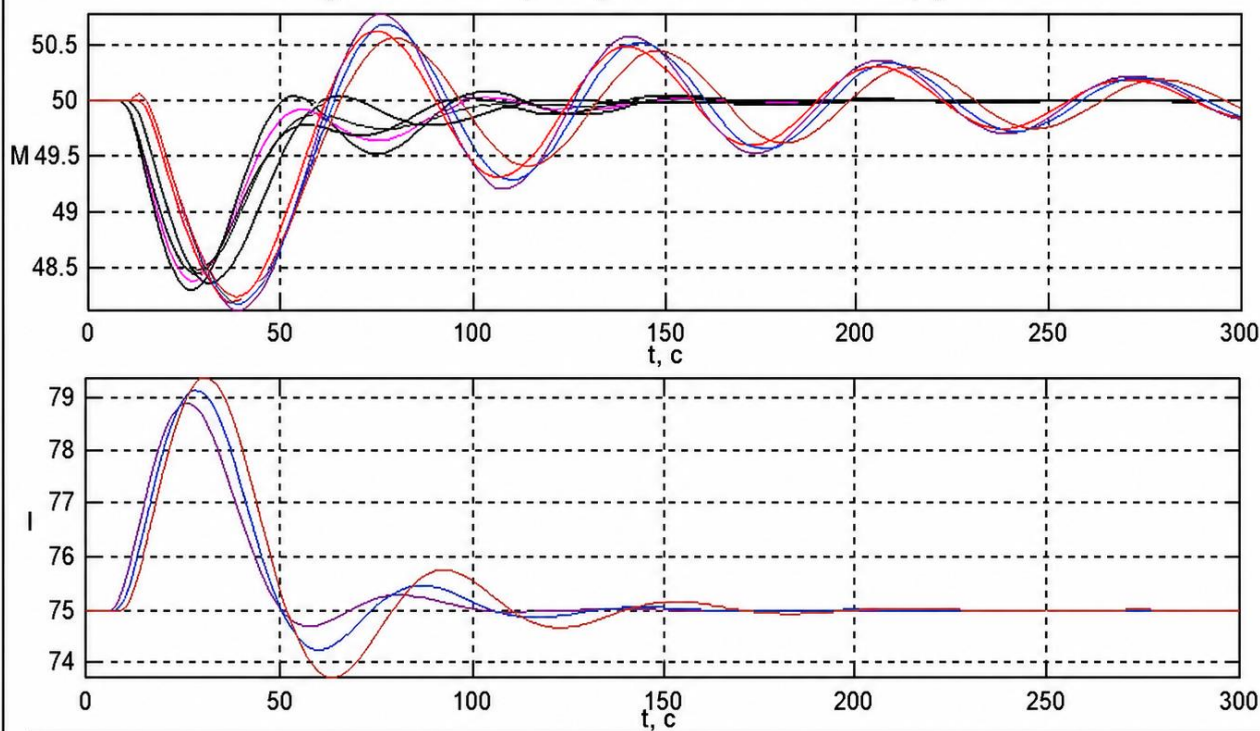


Рис. 3.14 – Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором

Результати перевірки системи на грубість.

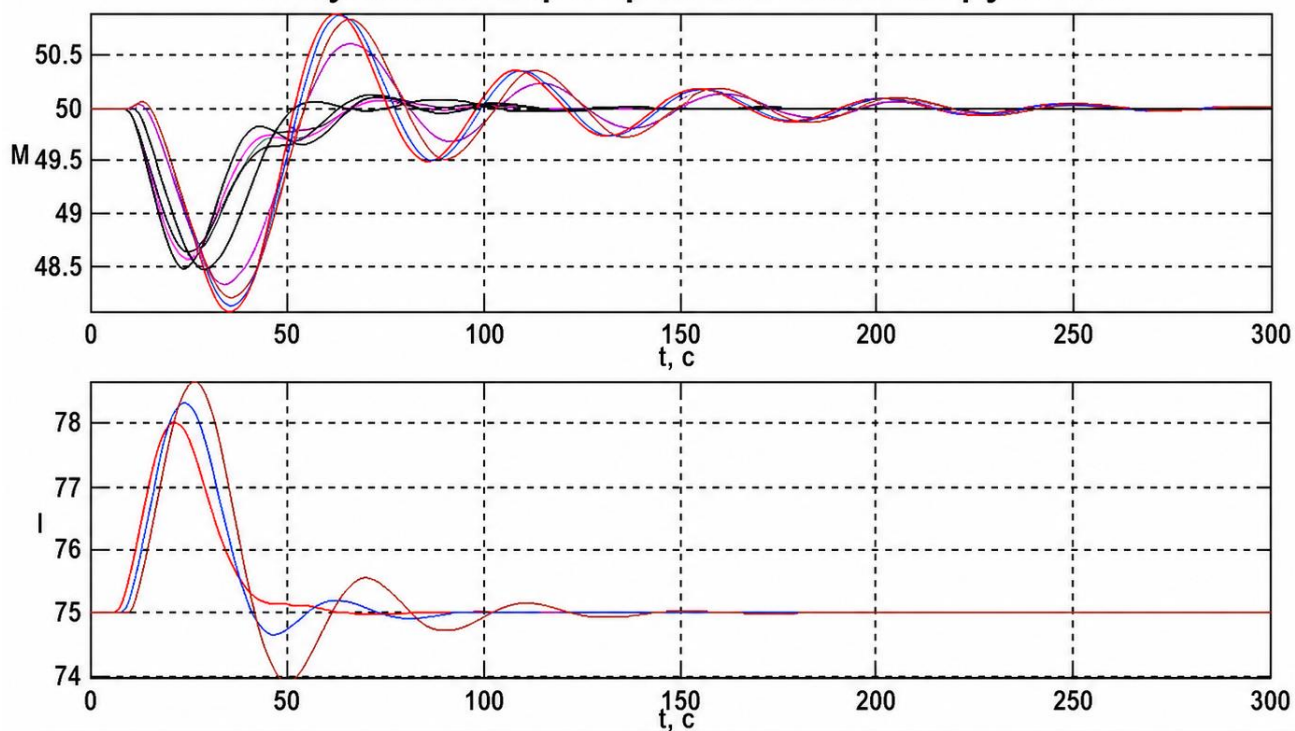


Значення параметрів об'єкта керування і значення критерію оптимальності.

1. $k_1=0.8$ $k_2=0.8$ $J=45.6006$ $k_3=0.8$	2. $k_1=0.8$ $k_2=1$ $J=46.2425$ $k_3=0.8$	3. $k_1=0.8$ $k_2=1.2$ $J=47.7641$ $k_3=0.8$
4. $k_1=1$ $k_2=1$ $J=49.9951$ $k_3=1$	5. $k_1=0.8$ $k_2=0.8$ $J=51.0827$ $k_3=1$	6. $k_1=1.2$ $k_2=1$ $J=77.2558$ $k_3=0.8$
7. $k_1=1.2$ $k_2=0.8$ $J=84.4093$ $k_3=0.8$	8. $k_1=1.2$ $k_2=0.8$ $J=84.8255$ $k_3=1$	9. $k_1=1.2$ $k_2=0.8$ $J=86.4345$ $k_3=1.2$

Рис. 3.15 – Результати перевірки САР з ПІ-регуляторами на грубість

Результати перевірки системи на грубість.



Значення параметрів об'єкта керування і значення критерію оптимальності.		
1. $k_1=0.8$ $k_2=0.8$ $J=29.2411$ $k_3=0.8$	2. $k_1=0.8$ $k_2=1$ $J=29.3286$ $k_3=0.8$	3. $k_1=0.8$ $k_2=1.2$ $J=29.7023$ $k_3=0.8$
4. $k_1=1$ $k_2=1$ $J=31.4726$ $k_3=1$	5. $k_1=0.8$ $k_2=0.8$ $J=31.5319$ $k_3=1$	6. $k_1=1.2$ $k_2=0.8$ $J=51.5813$ $k_3=0.8$
7. $k_1=1.2$ $k_2=1$ $J=52.1903$ $k_3=1.2$	8. $k_1=1.2$ $k_2=0.8$ $J=53.1348$ $k_3=1$	9. $k_1=1.2$ $k_2=0.8$ $J=59.1052$ $k_3=1.2$

Рис. 3.16 – Результати перевірки САР з ПД-регуляторами на грубість

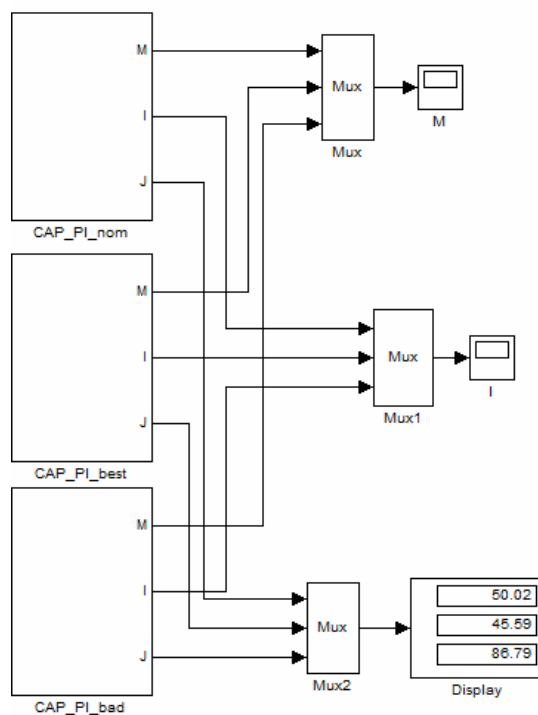


Рис. 3.17 – Схема моделювання для порівняння варіантів САР з ПД-регулятором

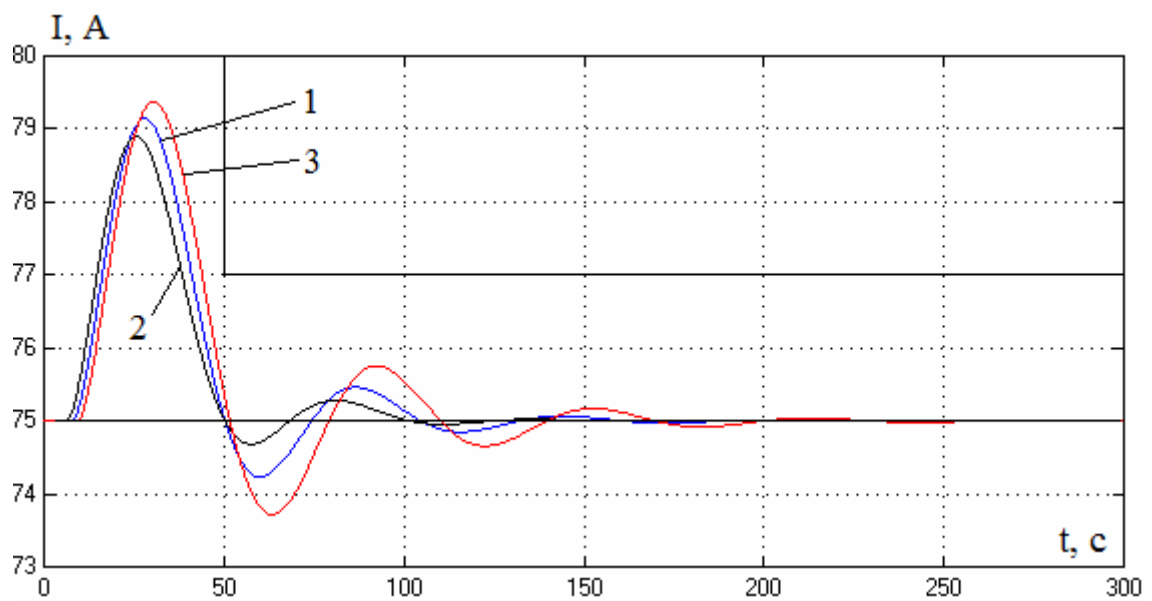
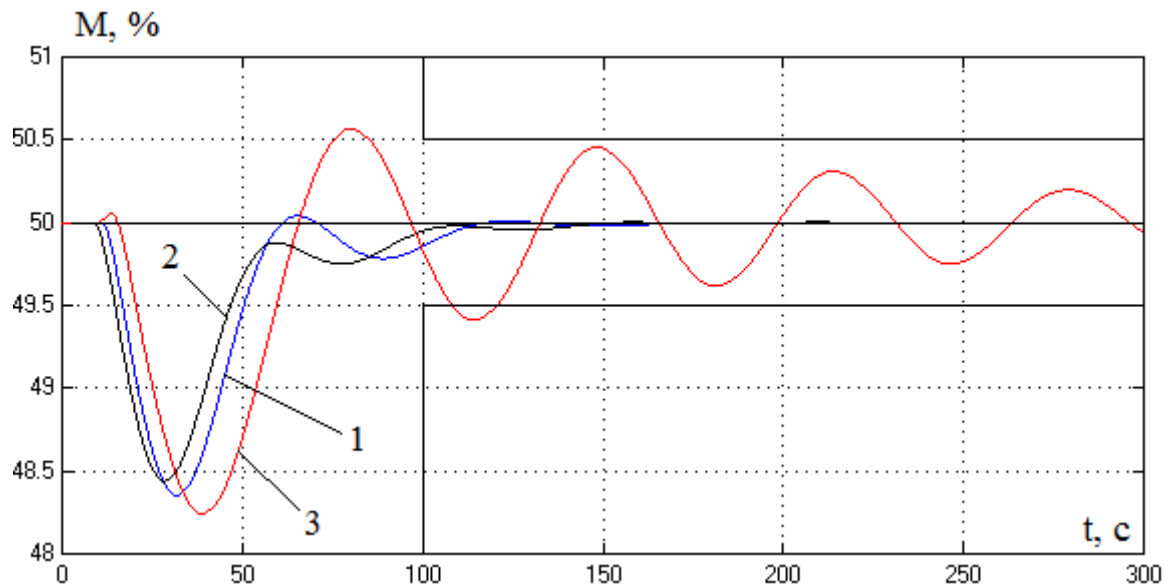


Рис. 3.18 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІ-регуляторами та з параметрами ОК: 1 – номінальними; 2 – «сприятливі» для керування; 3 – «несприятливі» для керування

Аналогічну процедуру виконано для САР з ПД-регуляторами. Схема моделювання наведена на рис. 3.19.

Результати порівняння варіантів САР з ПІД-регуляторами наведені на рис. 3.20 і зведені в таблицю 3.7.

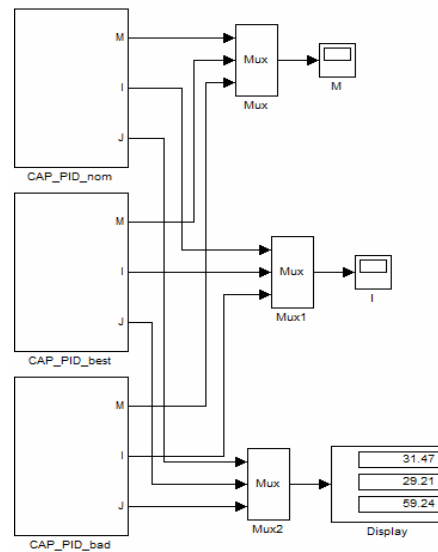


Рис. 3.19 – Схема моделювання для порівняння варіантів САР з ПД-регулятором

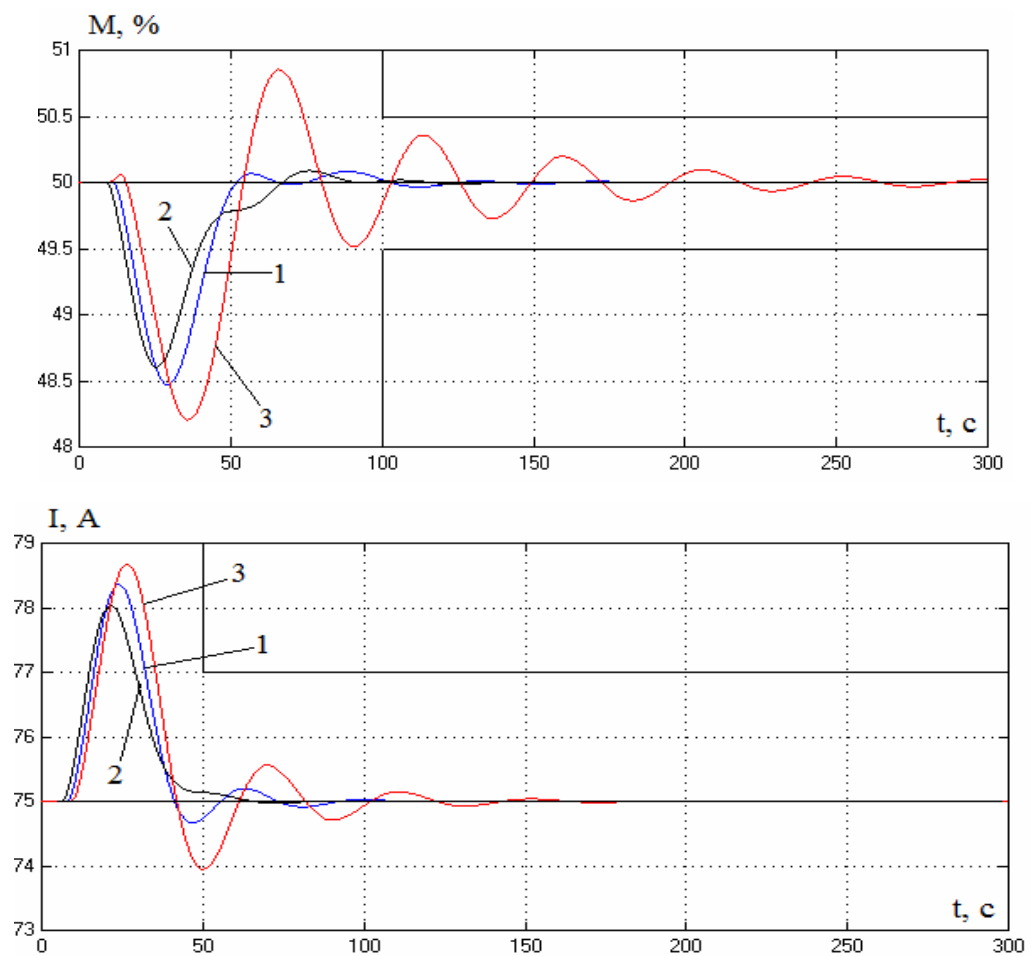


Рис. 3.20 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІД-регуляторами та з параметрами ОК: 1 – номінальними; 2 – «сприятливі» для керування; 3 – «несприятливі» для керування

Таблиця 3.7 – Результати порівняння САР з ПІД- регуляторами при варіаціях параметрів ОК

Параметри ОК	$\Delta M^{\text{MAX}},$ %	$T_{\text{пп}1},$ с	$\Delta I^{\text{MAX}},$ А	$T_{\text{пп}2},$ с	Критері й
номінальні	1,53	46,36	3,37	32,16	31,47
«сприятливі»	1,4	39,6	3	29,07	29,21
«несприятливі»	1,8	74,06	3,68	35,32	59,24

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

Основною причиною недостатньої динамічної точності базової структури є вплив каналу « $U_2 - M$ ». Для його компенсації в структуру системи вводиться коригуючий зв'язок, що забезпечує автономність контуру регулювання вологості.

У нашому випадку основною причиною недостатньої динамічної точності САР є дія каналу « $U_2 - M$ ». Основним шляхом підвищення динамічної точності є введення в структуру корегуючого зв'язку, що забезпечує автономність системи.

Виведення передатної функції коригуючого зв'язку

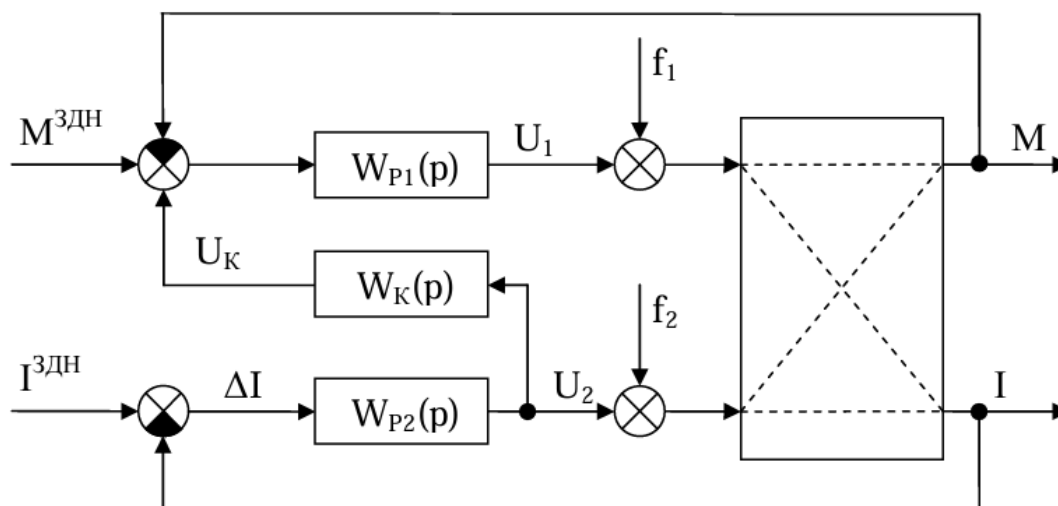


Рис. 3.21 – Структурна схема САР автономної структури

Позначення на схемі:

M – вологість вичавок, %;

I – струм статорних обмоток електродвигуна шнеків, А;

U_1, U_2 – регулюючі дії (U_1 – переміщення регулюючого органу на гідравлічній магістралі від насосу до гідроциліндру приводу конуса преса; U_2 – переміщення регулюючого органу на продуктопроводі від дробарки ягід винограду до пресу), % х.р.о.;

U_K – коригуючий сигнал;

f_1, f_2 – неконтрольовані збурення;

$W_{P1}(p), W_{P2}(p)$ – передаточні функції регуляторів; $W_K(p)$ – коригуючий зв'язок;

$M^{ЗДН}, I^{ЗДН}$ – задані значення регульованих координат;

$\Delta M, \Delta I$ – помилки регулювання.

Виведення передаточних функцій коригуючих зв'язків, аналіз їх структури з умов фізичної реалізованості, приведення до фізичної реалізації, подання у формі з'єднання типових динамічних ланок та отримання перехідних характеристик.

Передатна функція коригуючого зв'язку виводиться з умови компенсації перехресного каналу « $U_2 - M$ ».

$$W_K(\delta) = -\frac{W_{U2-M}^o(p)}{W_{P1}(p) \cdot W_{U1-M}^o(p)}$$

$$W_{U1-M}^o(p) = \frac{-0,33 \cdot e^{-15,85p}}{11p+1}; \quad W_{U2-M}^o(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-20,95p}}{22,4p+1}; \quad W_{P1}(\delta) = -4,23 \cdot \left(1 + \frac{1}{13,3p} + 6,7p\right)$$

$$W_K(\delta) = -\frac{\frac{0,2}{22,4\delta+1} \cdot \tilde{a}^{-20,95\delta}}{-4,23 \cdot \left(1 + \frac{1}{13,3p} + 6,7p\right) \cdot \frac{-0,33}{11\delta+1} \cdot \tilde{a}^{-15,85\delta}} = -\frac{0,2}{-4,23 \cdot -0,33} \cdot e^{(-20,95+15,85)p} \times$$

$$\times \frac{\frac{1}{22,4\delta+1}}{\frac{101,76p^2+15,9p+1}{15,9p} \cdot \frac{1}{11\delta+1}} = -0,12 \cdot e^{-5,1p} \cdot \frac{15,9p \cdot (11\delta+1)}{(101,76p^2+15,9p+1) \cdot (22,4\delta+1)}$$

Передаточна функція коригуючого зв'язку є фізично реалізовуваною.

Структурна схема коригуючого зв'язку у виді з'єднання типових ланок наведена на рис. 3.22, а перехідна характеристика коригуючого зв'язку наведена на рис. 3.23

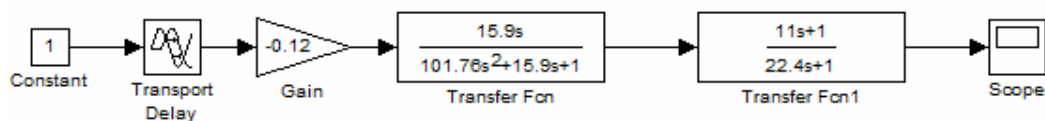


Рис. 3.22 – Структурна схема коригуючого зв'язку у виді з'єднання типових ланок

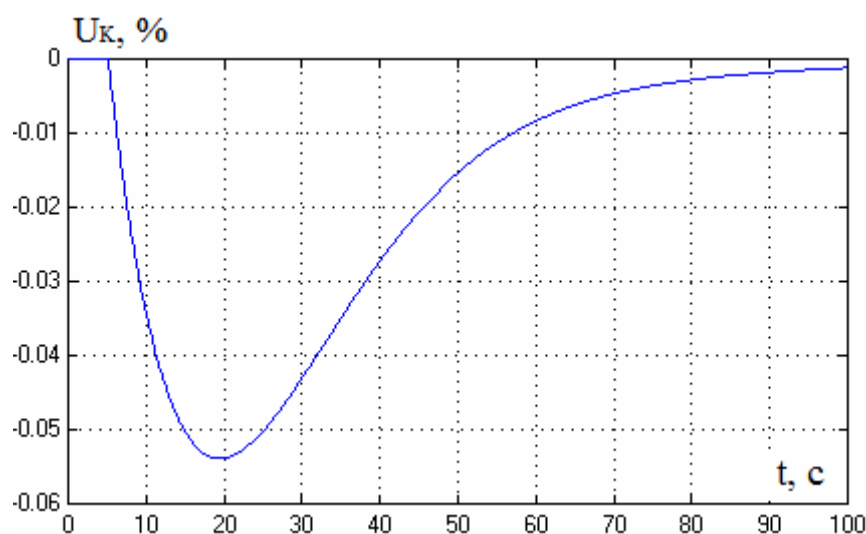


Рис. 3.23 – Перехідна характеристика коригуючого зв'язку

Спрощення коригуючого зв'язку та параметричний синтез

Точна передатна функція коригуючого зв'язку є надмірно складною для

практичної реалізації. Її спростують зі збереженням диференціюючих властивостей. Структурна схема спрощеного коригуючого зв'язку наведена на рис. 3.24.

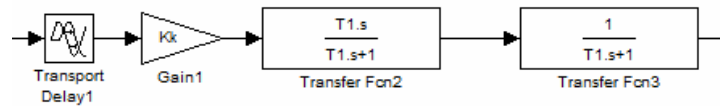


Рис. 3.24 – Структурна схема спрощеного коригуючого зв'язку

Початкові наближення параметрів коригуючого зв'язку: $K_K = -0,085$; $T_1 = 22,4$. Для уточнення використано схему моделювання (рис. 3.25). Результати уточнення — на рис. 3.26, порівняння розрахункового та спрощеного зв'язків — на рис. 3.27.

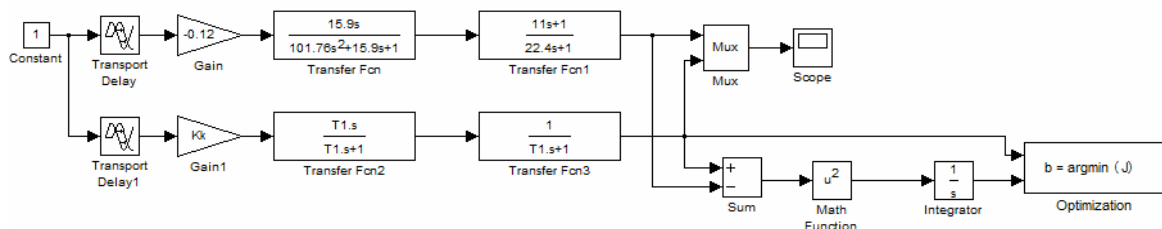
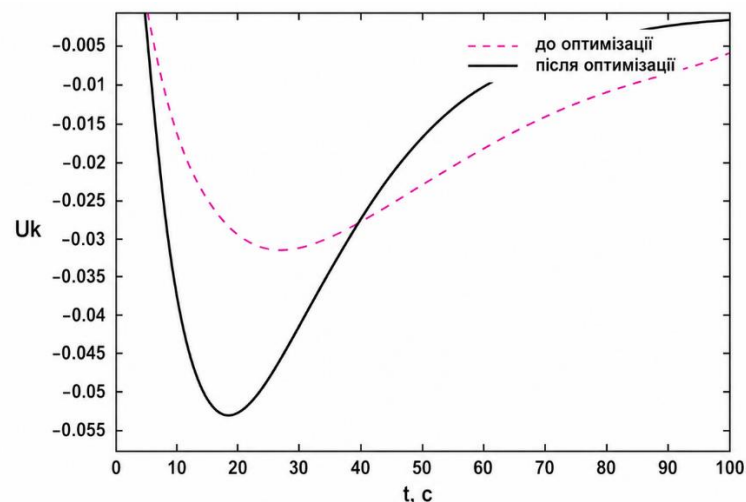


Рис. 3.25 – Схема моделювання для уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку



Назва змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kk	-0.14387	-1	-0.085	0	
T1	13.318	1	22.4	100	до 0.014104 після оптимізації. 0.00011297
					Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальне - 1000
					фактичне - 55

рис. 3.26 – Результати уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку

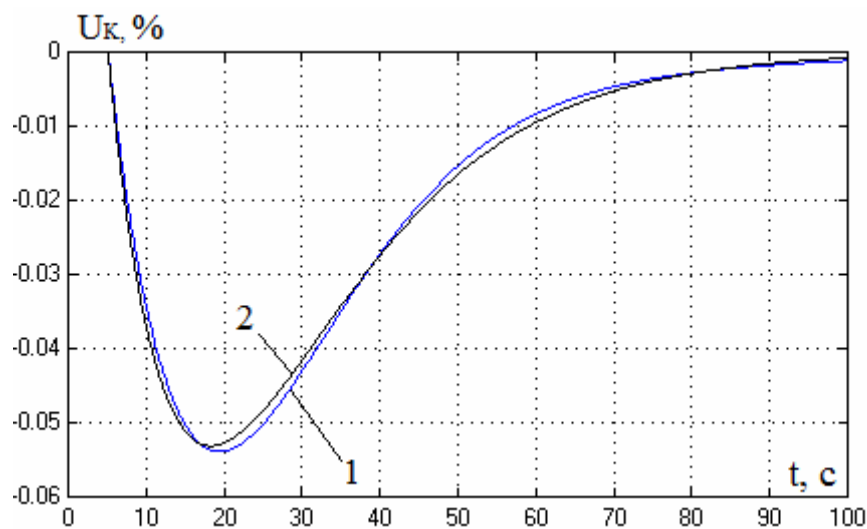


Рис. 3.27 – Перехідна характеристика коригуючого зв'язку: 1 – розрахункового; 2 – спрощеного

Оптимізація САР підвищеної динамічної точності

Схема моделювання для оптимального параметричного синтезу коригуючого зв'язку наведена на рис. 3.28, результати оптимізації — на рис. 3.29.

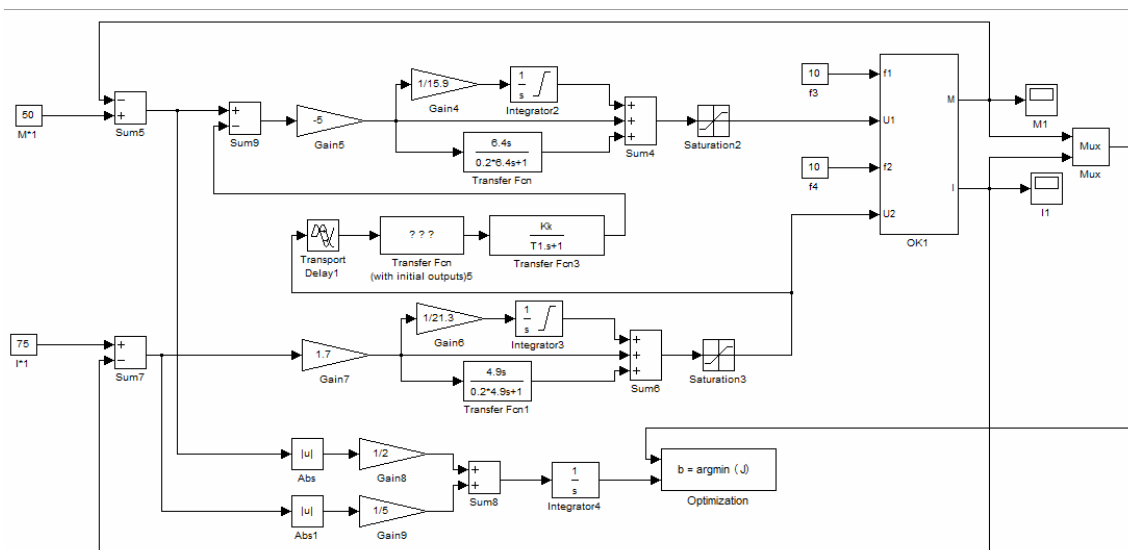
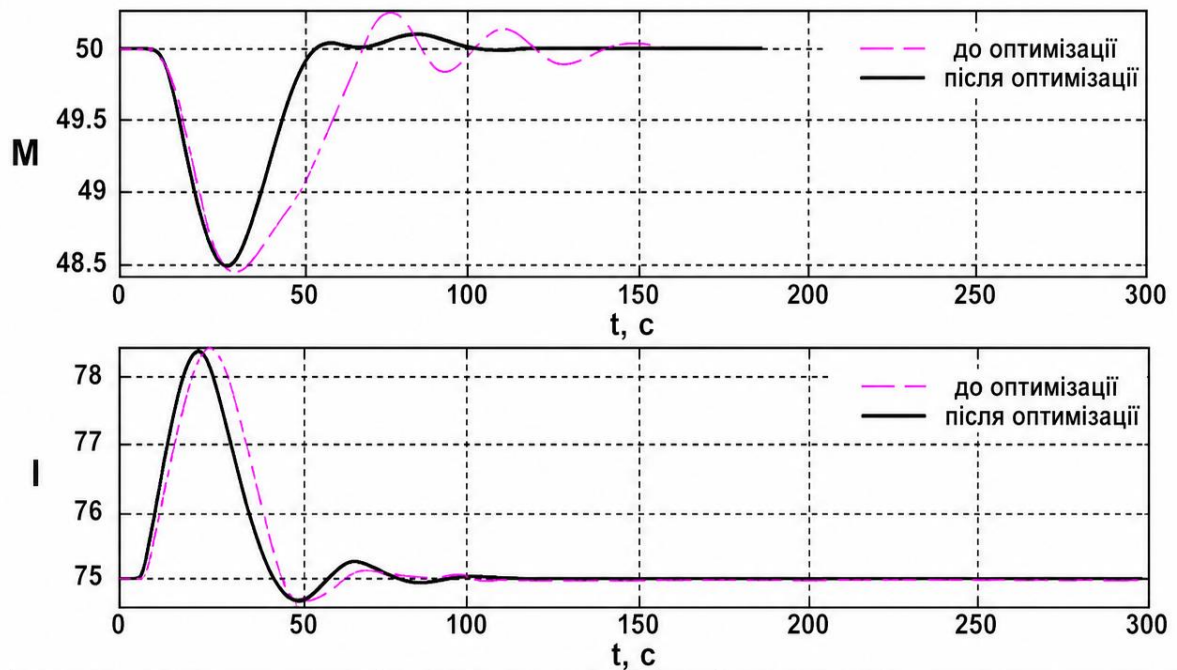


Рис. 3.28 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу коригуючого зв'язку



Назва параметра	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності
Kk	-0.14968	-10	-0.14	10	
T1	0.2	0.2	13.3	100	до оптимізації - 43.9348
T2	24.4469	0	5.1	50	після оптимізації - 31.2529
					Кількість кроків оптимізації:
					максимальна - 1000
					фактична - 535

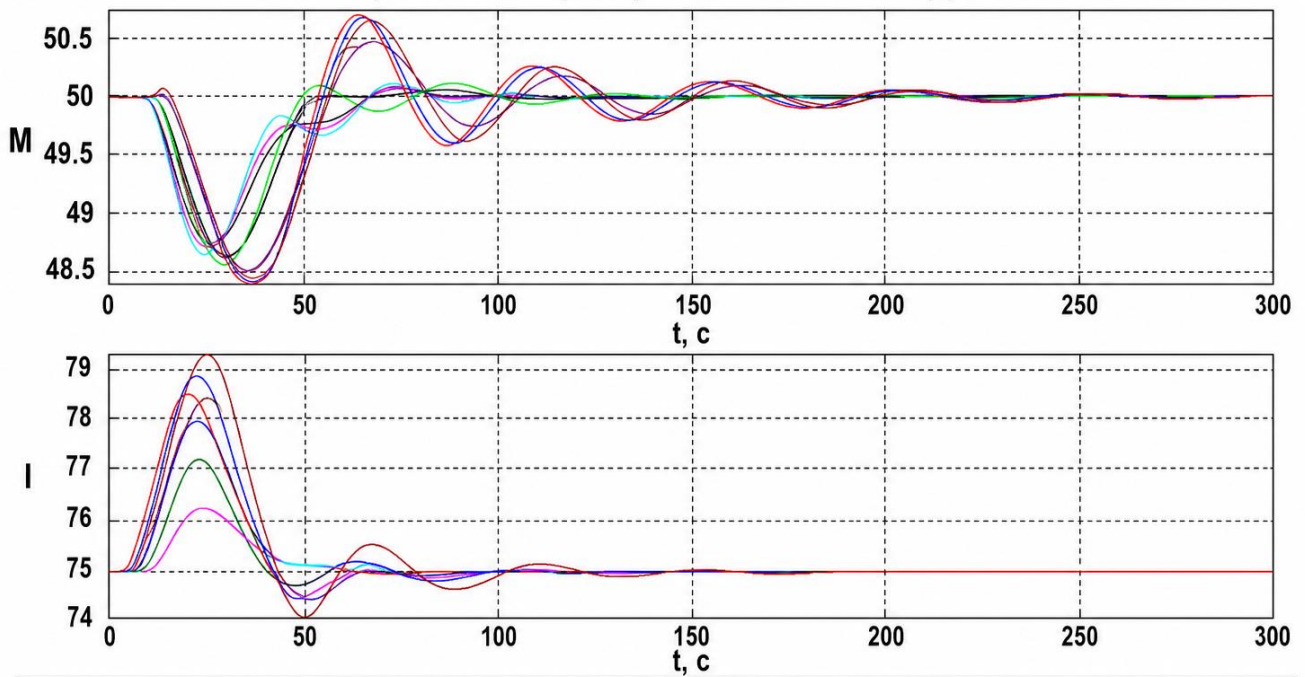
Рис. 3.29 – Результати оптимізації САР підвищеної динамічної точності

Аналіз грубості САР підвищеної точності

Оцінку грубості — здатності системи зберігати допустимі перехідні процеси при варіаціях параметрів об'єкта — виконано шляхом їх зміни на $\pm 20\%$.

Результати перевірки САР підвищеної динамічної точності на грубість наведені на рис. 3.30.

Результати перевірки системи на грубість.



Значення параметрів об'єкта керування та значення критерію оптимальності.		
1. $k_1=0.8$ $k_2=0.8$ $J=29.5923$ $k_3=0.8$	2. $k_1=0.8$ $k_2=1$ $J=29.7567$ $k_3=0.8$	3. $k_1=0.8$ $k_2=1.2$ $J=30.1194$ $k_3=0.8$
4. $k_1=1$ $k_2=1$ $J=31.2529$ $k_3=1$	5. $k_1=1$ $k_2=1.2$ $J=31.4411$ $k_3=0.8$	6. $k_1=1.2$ $k_2=0.8$ $J=50.2317$ $k_3=0.8$
7. $k_1=1.2$ $k_2=1$ $J=51.3647$ $k_3=1.2$	8. $k_1=1.2$ $k_2=0.8$ $J=51.6776$ $k_3=1$	9. $k_1=1.2$ $k_2=0.8$ $J=57.6801$ $k_3=1.2$

Рис. 3.30 – Аналіз САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК

В умовах варіації параметрів ОК система дає перехідні процеси, що сходяться, — отже, САР підвищеної динамічної точності є грубою.

Найбільш сприятливим для керування є зменшення часів запізнення за каналами управління на 20% відносно номіналу. Найбільш несприятливим — поєднання збільшених на 20% прямих запізнень з зменшеним на 20% перехресним.

Схема моделювання для оптимального параметричного синтезу коригуючого зв'язку наведена на рис. 3.28, результати оптимізації — на рис. 3.29.

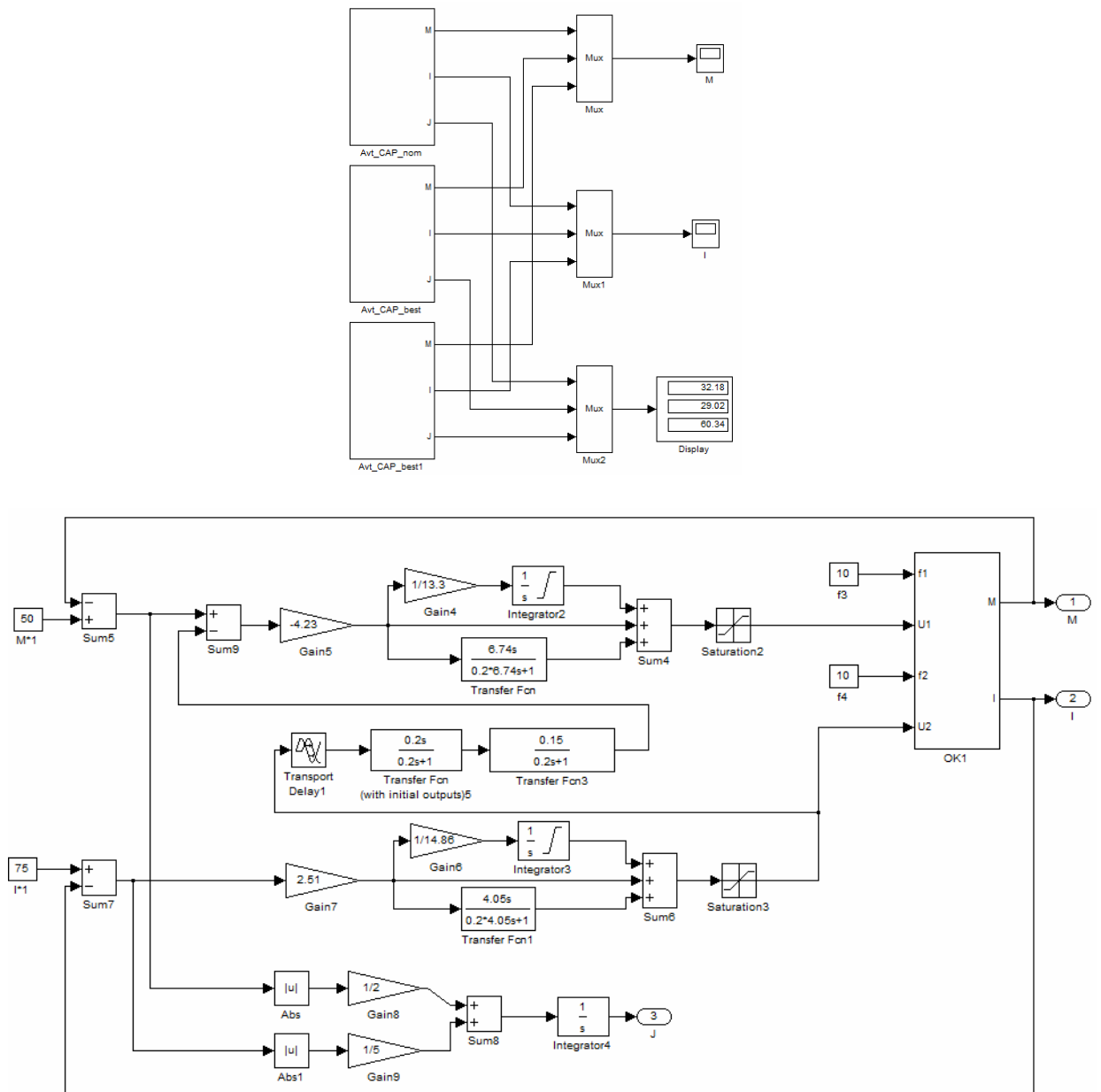


Рис. 3.31 – Схема моделювання CAP підвищеної динамічної точності для порівняння варіантів з номінальними, "сприятливими" та "несприятливими" для керування параметрами ОК

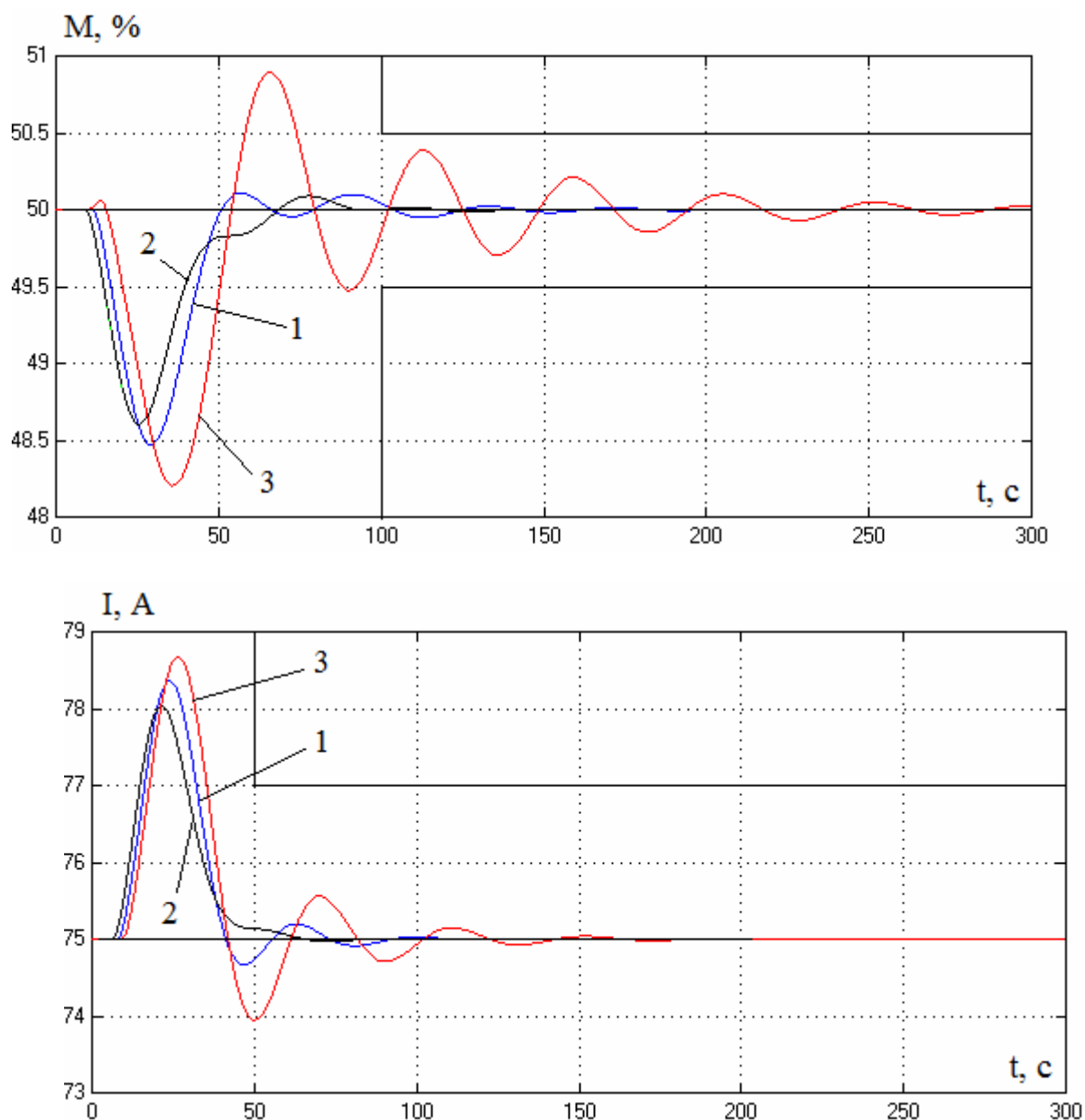


Рис. 3.32 – Результати порівняння САР підвищеної динамічної точності для порівняння варіантів з: 1 – номінальними, 2 – "сприятливими" та 3 – "несприятливими" для керування параметрами ОК

Таблиця 3.8 – Результати порівняння САР підвищеної динамічної точності при варіаціях параметрів ОК

Параметри ОК	$\Delta M^{\text{MAX}}, \%$	$T_{\text{пп1}}, \text{с}$	$\Delta I^{\text{MAX}}, \text{А}$	$T_{\text{пп2}}, \text{с}$	Критерій
номінальні	1,53	43,4	3,37	32,2	32,18
«сприятливі»	1,4	39,6	3,03	29,1	29,02
«несприятливі»	1,8	92,3	3,68	35,3	60,34

За результатами аналізу: САР підвищеної динамічної точності є грубою — при будь-яких сполученнях параметрів ОК перехідні процеси сходяться.

Порівняльний аналіз базової та автономної структур САР

Для порівняння якості базової та автономної структур розроблено схему моделювання (рис. 3.33). Результати наведені на рис. 3.33 і в таблиці 3.9.

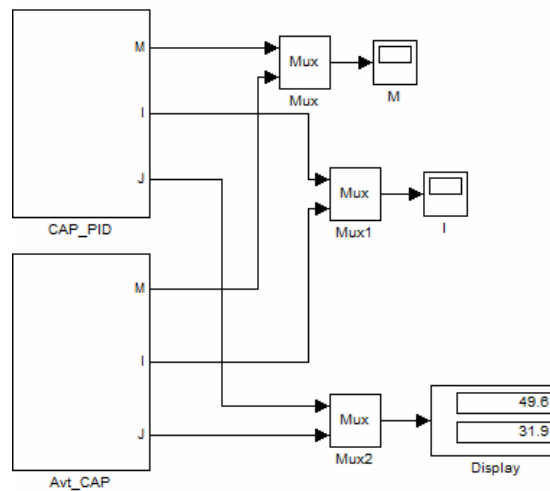


Рис. 3.33 – Структурна схема моделювання для порівняння САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності.

3.4 Висновки за розділом

У розділі синтезовано систему автоматичного керування процесом пресування винограду, що відповідає заданим гранично допустимим вимогам регламенту.

На першому етапі спроектовано двоканальну САР вологості вичавок та струму двигуна на основі ПІД-алгоритму регулювання. На другому — підвищено динамічну точність шляхом введення коригуючого зв'язку, що забезпечує автономність контуру регулювання вологості.

Порівняльний аналіз підтвердив перевагу автономної структури над базовою за всіма показниками якості.

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

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

Процеси пресування при виробництві фруктових та ягідних соків належать до найбільш енергоємних операцій переробної промисловості. Їхньою суттєвою особливістю, що ускладнює автоматизоване керування, є наявність перехресних зв'язків між контурами регулювання вологості вичавок і навантаження електродвигуна преса.

Технологічна сутність процесу полягає в механічному стисненні подрібнених ягід після стікача з метою вилучення «вторинного» соку. Подрібнена виноградна маса, попередньо звільнена від «первинного» соку, надходить до шнекового преса. Шнек зі змінним кроком транспортує продукт у напрямку вихідного конуса, де здійснюється стискання. Виділені фракції соку відводяться до збірників; вичавки видаляються через кільцевий зазор і відводяться транспортером.

До складу технологічної лінії входять: стікач, шнековий прес, збірники соку, транспортер вичавків, гідроциліндр і маслосбірник.

Після стікача подрібнена маса потрапляє до преса, де електрифікований шнек виконує віджимання. Сік відводиться через два патрубки: перший (початок преса) — до збірника первинного соку, другий (кінець преса) — до збірника вторинного соку.

Тиск усередині преса регулюється гідроциліндром, що переміщує конус назустріч продуктовому потоку. Максимально допустимий тиск у гідроциліндрі — 1,48 МПа. Номінальне значення струму статора двигуна — 70 А, яке залежить від інтенсивності подачі сировини.

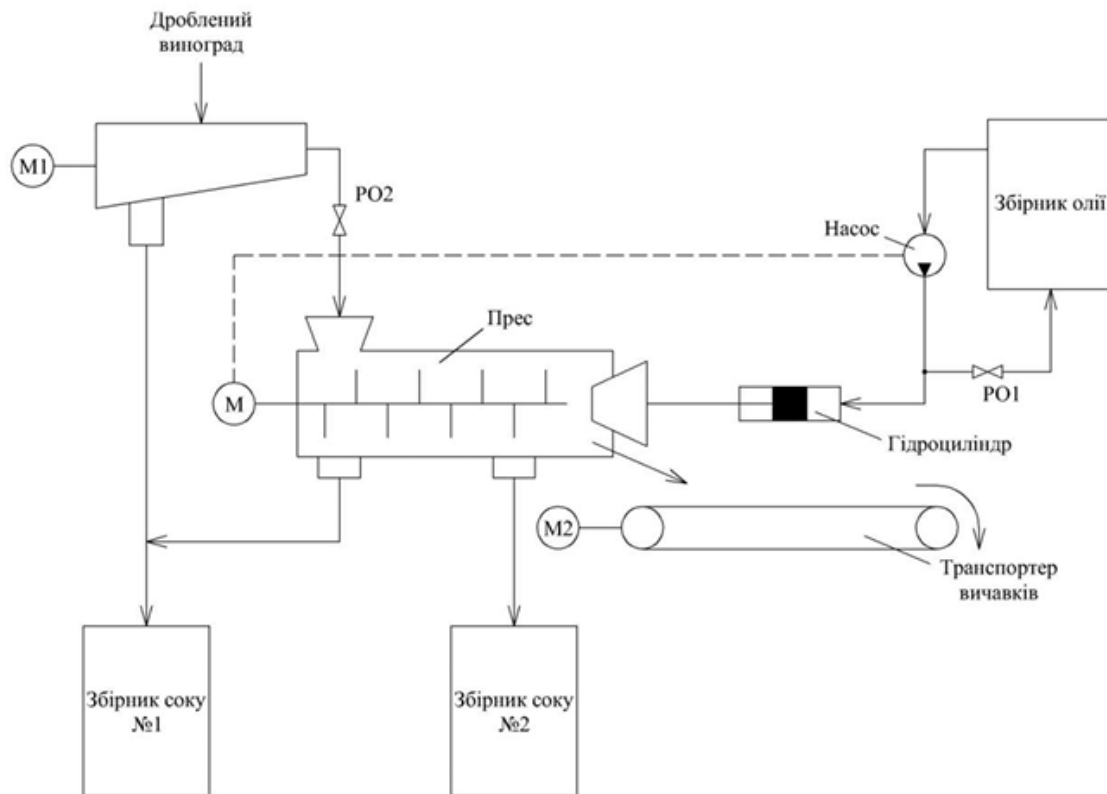


Рис. 4.1 – Технологічна схема процесу

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

Структура системи керування включає дві підсистеми: інформаційну — збір, зберігання та обробка технологічної інформації, що надходить у безперервному та дискретному режимах; керуючу — контури пуску та зупинки, автоматичне блокування, захист і регулювання. Послідовності вмикання та вимикання обладнання реалізовані в алгоритмічному забезпеченні системи автоматизації.



Рис. 4.2. Блок-схема пуску



Рис. 4.3. Блок-схема зупинки

Ведення технологічного процесу пресування виноградного соку є можливим та доцільним вести тільки за наступних умов:

- Продуктивність пресу більша або дорівнює встановленій номінальній;
- Забезпечується безперервна подача сировини зі стікача до пресу;
- Забезпечується безперервна подача мастила до гідроциліндру;
- Рівень соку у збірниках менший за максимально допустимий;
- Забезпечується безперервне відведення вичавків;
- Забезпечується безпечна робота оператора пресу;
- Відсутні порушення режимів ведення технологічного процесу, що можуть призвести до виникнення аварій та значних втрат.

Інформаційна підсистема являє собою систему отримання і збереження технологічної та техніко-економічної інформації, яка надходить в безперервному та дискретному вигляді і характеризує стан параметрів технологічного процесу.

Керуюча підсистема включає в себе контуру пуску і зупину, автоблокування, захисту і регулювання. Послідовність включення і виключення обладнання

реалізована у вигляді алгоритмічного забезпечення системи автоматизації. Алгоритми функціонування та управління наведені нижче

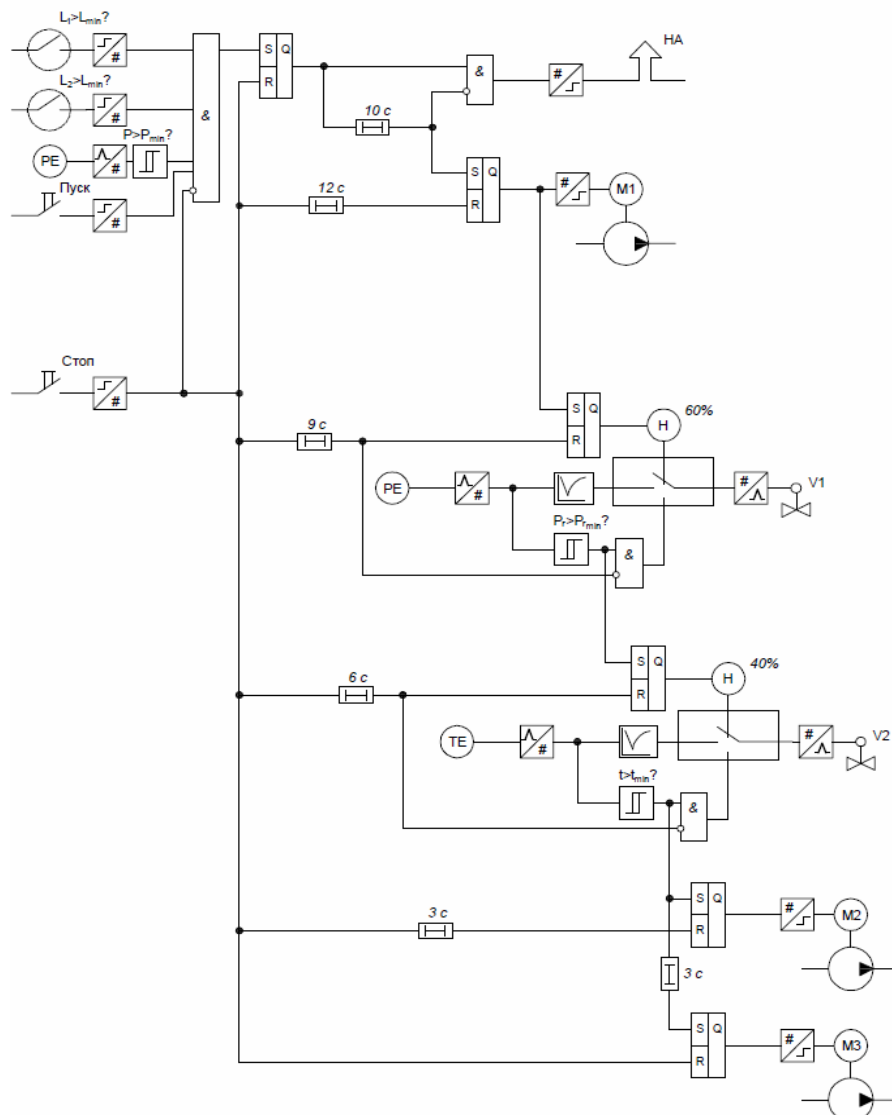


Рис. 4.4. ФЛС процесу отримання виноградного соку

4.3 Висновки за розділом

У розділі розроблено алгоритми автоматичного пуску та зупинки технологічного процесу отримання виноградного соку методом пресування в шнековому пресі. Алгоритми формалізують умови нормального ведення процесу та послідовність перемикавання обладнання. На основі розроблених алгоритмів побудовано функціонально-логічну схему (ФЛС) процесу.

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

Для того, щоб реалізувати алгоритми регулювання та логіко-програмного керування, необхідно обрати відповідні технічні засоби. При цьому слід враховувати багато вимог до них, зокрема: надійність, точність, безпека, ремонтпридатність, простота обслуговування, можливість тиражування і розвитку, екологічна безпека, вартість.

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

5.1.1 Технічні засоби знаходяться в виробничих приміщеннях, тому при їх виборі слід зважати на характеристики середовищ, з якими вони контактують. Технологічне обладнання та технічні засоби автоматизації ділянки пресування винограду знаходяться опалювальному приміщенні цеху. Оскільки відсутні чинники, які можуть викликати вибух або пожежу, то цю ділянку можна віднести до пожежо- та вибухобезпечної.

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

Визначимо класифікацію приміщення, де розміщується обладнання для пресування винограду. У відповідності з «Правилами улаштування електроустановок» це приміщення можна віднести до категорії «вологе приміщення, в якому відносна вологість повітря є більше ніж 60 %, але не перевищує 75 %».

Щодо небезпеки ураження людей електричним струмом розрізняють:

- а) приміщення без підвищеної небезпеки, в яких відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку;
- б) приміщення з підвищеною небезпекою, які характеризуються наявністю в

них однієї з умов, що створює підвищену небезпеку:

- 1) вологості або струмопровідного пилу;
- 2) струмопровідної підлоги (металева, земляна, залізобетонна, цегляна тощо);
- 3) високої температури;
- 4) можливості одночасного дотику людини до металоконструкцій будівель, технологічних апаратів, механізмів тощо, які мають з'єднання з землею, з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування – з іншого.

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

5.1.2 Датчики САР контактують з наступними речовинами:

- мезга і сік з температурою до 20-25 °С;
- вичавки з температурою до 50 °С;
- технічна олива під тиском до 12 бар.

Регулюючі клапани контактують з наступними речовинами:

- мезга з температурою до 20-25 °С;
- технічна олива під тиском до 12 бар.

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

- з матеріалами клапанів та навколишнім повітрям цеху з температурою 25...30 °С.

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

5.2.1 Для виміру активної потужності, яка споживається електроприводом шнекового пресу, застосований датчик АСРМ-50/100/150



Технічні характеристики:
Напруга живлення постійного струму:
11.5. 36В.
Потужність: 0.9Вт.
Вимірювана вхідна напруга: 0... 295В.
Вхідний струм, що вимірюється: 0...
50/100/150А.
Вихідний сигнал: 4... 20 мА;

а)

б)

Рис.- 5.1. Датчик активної потужності АСРМ-50/100/150:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.2.2 Для виміру вологості вичавок на виході шнекового преса застосований датчик вологості мікрохвильовий Hydro-Mix ХТ з аналоговим виходом 4-20 мА, пропорційним вологості 20...100 %. Живлення 24В DC, ступінь захисту IP 68, Ex version II 1/2 G Ex ia IIC T1...T6 Ga/Gb (див. рис. 5.1).



а)

б)

Рис.- 5.2. Датчик вологості мікрохвильовий Hydro-Mix ХТ:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.2.3 Для виміру тиску соку перед насосом застосований датчик-реле тиску Danfoss KP44. Його зовнішній вигляд і технічні характеристики наведені на рисунку 5.4.



а)

Технічні характеристики:

Температура середовища 100 °С;

Тиск захисту 0,2-6 бар;

Степінь захисту IP44;

Струм комутації AC1 – 16 А

б)

Рис. 5.3. – Датчик-реле тиску Danfoss KP44: а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.2.4 Для виміру рівня оливи в баку застосований ультразвуковий датчик рівня EASYTREK SP 500.



а)

Технічні характеристики:

Transducer / enclosure materials	PP, PVDF	
Process temperature	PP, PVDF transducers -30 °C ... +90 °C [-20 °F ... 190 °F]	
Ambient temperature	-30 °C ... +80 °C [-20 °F ... 175 °F]	
Pressure ⁽¹⁾ (Absolute)	0.05 – 0.3 MPa (0.5 – 3 bar) [7.25 psi – 43.5 psi]	
Seals	PP transducer: EPDM; All other transducer versions: FPM	
Ingress protection	IP68	
Power supply	10 ⁽²⁾ – 36 V DC with HART communication	40 mW – 720 mW, Galvanic isolation; protection against surge transients
Accuracy ⁽²⁾	± (0.1% measured + 0.025% max.) or ± (0.05% max.) whichever is greater	
Resolution	Depending on the measured distance: <2 m: 1 mm, 2 – 5 m: 2 mm, 5 – 10 m: 5 mm, >10 m: 10 mm [<6.5 ft: 40 mil, 6.5 ft – 16 ft: 78 mil, 16 ft – 32 ft: 200 mil, >32 ft: 400 mil]	
Outputs	Analogue: 4 – 20 mA, (3.9 – 20.5 mA), R _{max} = (U _L – 10 V) / 0.02 A, Galvanic isolation; protection against surge transients	
	SPDT relay, 30 V / 1 A DC; 48 V / 0.5 A AC	
	Serial communication: HART interface (terminal resistor ≥ 250 Ohm)	
Electrical connection	6 x 0.5 mm ² [20 AWG] shielded cable Ø6 mm x 5 m (available max. length 30 m)	
Electrical protection	Class III SELV	

б)

Рис.- 5.4. Датчик рівня EASYTREK SP 500:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

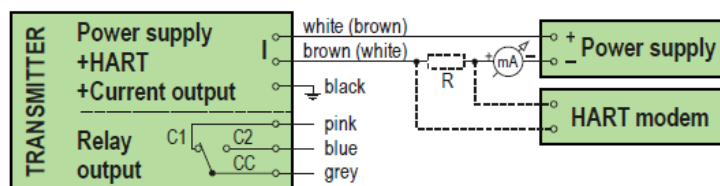


Рис.5.5.- Схема зовнішніх підключень датчика рівня EASYTREK SP 500

5.2.5 Для виміру тиску оливи застосоване реле тиску для гідросистем F4SP1/M3 1-12 БАР Fox



а)

Технічні характеристики:

- діапазон 1...12 бар
- степінь захисту IP 65;
- Діапазон температур :
-25 °C -+85 °C
- струм комутації 11 А

б)

Рис.- 5.6. Реле тиску F4SP1/M3 1-12 БАР Fox:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

5.2.6 Для виміру рівня соку в бункерах застосований ємкісний датчик рівня Denil CLM 36-10.



а)

Технічні характеристики:

напруга живлення 9 ... 36 В DC

двопровідне підключення (вар. - I) 4 ... 20 мА

з'єднання з дротом (вар. – U) 0 ... 10 В

точність (по всьому діапазону) 1%

діапазон робочих температур -40...+85°C

клас захисту IP68

б)

Рис.- 5.7. Датчик рівня Denil CLM 36-10:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

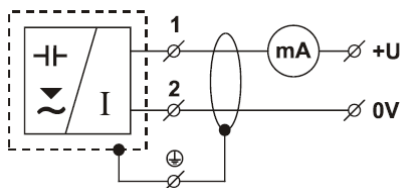


Рис.5.8.- Схема зовнішніх підключень датчика рівня Denil CLM 36-10

5.2.7 Для виміру кутової швидкості барабану транспортера застосований датчик-реле фірми IFM DIA2010-ZROA/50-3000 I/MIN.



а)

Технічні характеристики:
напруга живлення 9 ... 36 В DC
клас захисту IP68

б)

Рис.- 5.9. Датчик-реле швидкості DIA2010-ZROA/50-3000 I/MIN:

а) зовнішній вигляд; б) технічні характеристики

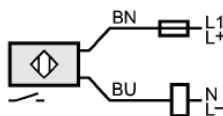


Рис.5.10.- Схема зовнішніх підключень

датчика-реле швидкості DIA2010-ZROA/50-3000 I/MIN

5.3. Вибір технічних засобів для реалізації керуючих впливів технологічного процесу

5.3.1. Для зміни витрат мезги використовується шлангова засувка серії V850 Ду20-400 з електричним приводом AUMA, сигнал керування 4...20 мА.



Технічні характеристики:
1 Корпус Алюміній/Ковкий чавун
2 Перетискний пристрій Алюміній/Ковкий чавун
3 Шланг Натуральний каучук*/EPDM
4 Затискний гвинт Вуглецева сталь;

Рис. 5.11 Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики
шлангової засувки серії V850 Ду20-400

5.3.2. Для регулювання тиску оливи застосований двоходовий регулюючий клапан ADCA EV16/2i з електричним приводом, сигнал керування 4...20 мА.



Технічні характеристики:
 Матеріал корпусу
 нержавіюча сталь
 Робоче середовище
 пара, рідини, повітря та газу
 Приєднання
 різьбове
 Макс. робочий тиск
 25 бар
 Макс. робоча температура
 до 400°C
 Номінальний тиск
 PN40;

Рис. 5.12 Зовнішній вигляд та основні технічні характеристики клапану ADCA EV16/2i

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

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

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

Табл. 5.1 – Список параметрів на входах або виходах контролера

№ пп	Найменування параметру	Вид A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході або виході контролера
1	Вологість вичавок	A	I	4...20 mA DC
2	Сила струму навантаження ЕД шнеку	A	I	4...20 mA DC
3	Керуюча дія - положення РО, що змінює витрати мастила	A	O	0...10 V DC
4	Керуюча дія - положення РО, що змінює витрати вичавок	A	O	0...10 V DC
5	Сигнал датчика верхнього рівня у збірнику сусла 1	D	I	24 V DC
6	Сигнал датчика верхнього рівня у	D	I	24 V DC

	збірнику суслу 2			
7	Сигнал датчика тиску перед насосом 1	D	I	24 V DC
8	Сигнал датчика тиску перед насосом 2	D	I	24 V DC
9	Сигнал датчика нижнього рівня у збірнику олії	D	I	24 V DC
10	Сигнал стану авт. вимикача M1	D	I	24 V DC
11	Сигнал стану контактора M1	D	I	24 V DC
12	Сигнал перемикача режиму (лок./дистанц.) M1	D	I	24 V DC
13	Сигнал стану авт. вимикача M2	D	I	24 V DC
14	Сигнал стану контактора M2	D	I	24 V DC
15	Сигнал перемикача режиму (лок./дистанц.) M2	D	I	24 V DC
16	Сигнал стану авт. вимикача M3	D	I	24 V DC
17	Сигнал стану контактора M3	D	I	24 V DC
18	Сигнал перемикача режиму (лок./дистанц.) M3	D	I	24 V DC
19	Сигнал датчику контролю швидкості транспортеру	D	I	24 V DC
20	Сигнал стану авт. вимикача M4	D	I	24 V DC
21	Сигнал стану контактора M4	D	I	24 V DC
22	Сигнал перемикача режиму (лок./дистанц.) M4	D	I	24 V DC
23	Сигнал стану авт. вимикача M5	D	I	24 V DC
24	Сигнал стану контактора M5	D	I	24 V DC
25	Сигнал перемикача режиму (лок./дистанц.) M5	D	I	24 V DC
26	Сигнал керування M1	D	O	24 V DC
27	Сигнал керування приводу M2	D	O	24 V DC
28	Сигнал керування двигуном M3	D	O	24 V DC
29	Сигнал керування двигуном M4	D	O	24 V DC
30	Сигнал керування двигуном M5	D	O	24 V DC
31	Сигнал керування звук.сигн.	D	O	24 V DC

Таким чином кількість каналів вводу\виводу наступна:
AI – 2, AO – 2, DI – 20, DO – 6

5.4.2. Розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування.

Оскільки технологічне обладнання та допоміжне устаткування розташовуються в одному приміщенні компактно, тому виберемо централізовану схему розміщення модулів системи керування.

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

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

Враховуючи список змінних, які необхідно вводити та виводити з контролера, схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування приймає наступний вигляд (рис. 5.13).

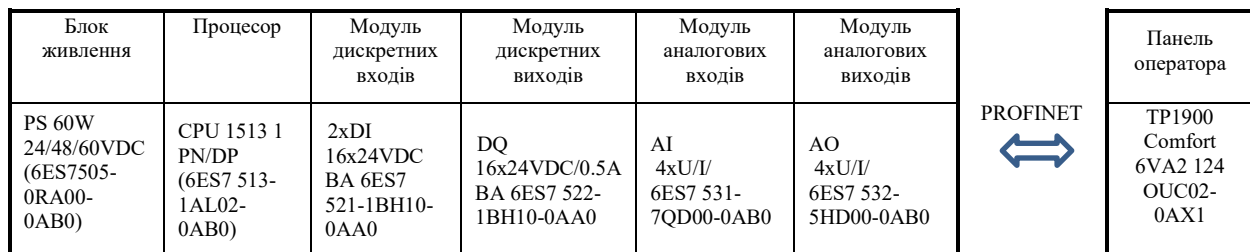


Рис. 5.13 Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування

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

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

Work memory	
• integrated (for program)	300 kbyte
• integrated (for data)	1.5 Mbyte
Load memory	
• Plug-in (SIMATIC Memory Card), max.	32 Gbyte
Backup	
• maintenance-free	Yes
CPU processing times	
for bit operations, typ.	40 ns
for word operations, typ.	48 ns
for fixed point arithmetic, typ.	64 ns
for floating point arithmetic, typ.	256 ns
CPU-blocks	
Number of elements (total)	2 000; Blocks (OB, FB, FC, DB) and UDTs
DB	
• Number range	1 ... 60 999; subdivided into: number range that can be used by the user: 1 ... 59 999, and number range of DBs created via SFC 86: 60 000 ... 60 999
• Size, max.	1.5 Mbyte; For non-optimized block accesses, the max. size of the DB is 64 KB
FB	
• Number range	0 ... 65 535
• Size, max.	300 kbyte
FC	
• Number range	0 ... 65 535
• Size, max.	300 kbyte
OB	
• Size, max.	300 kbyte
• Number of free cycle OBs	100
• Number of time alarm OBs	20
• Number of delay alarm OBs	20
• Number of cyclic interrupt OBs	20; With minimum OB 3x cycle of 500 µs
• Number of process alarm OBs	50
• Number of DPV1 alarm OBs	3
• Number of isochronous mode OBs	1
• Number of technology synchronous alarm OBs	2
• Number of startup OBs	100

Рис. 5.14 Технічні дані CPU 1513 1 PN

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

Digital inputs	
Number of inputs	16
Configurable digital inputs	No
Sinking/sourcing input	Sinking input
Input characteristic curve acc. to IEC 61131, type 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

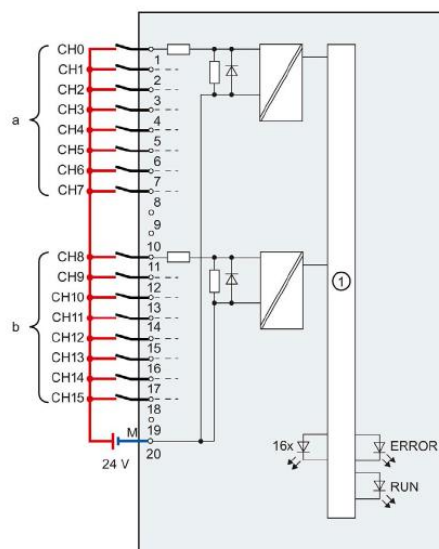


Рис. 5.15 Технічні характеристики та схема підключень DI 16x24VDC BA

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

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

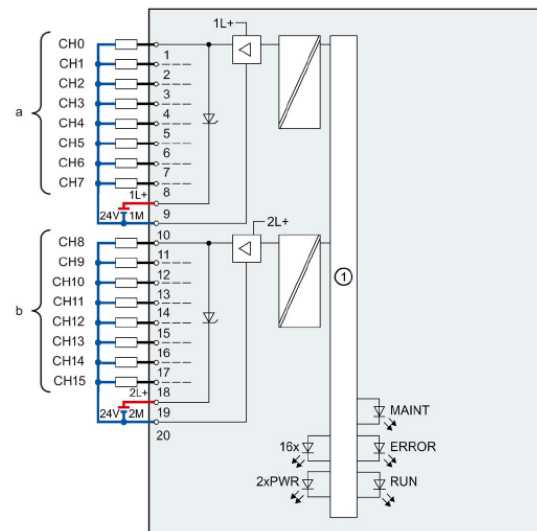


Рис. 5.16 Технічні характеристики та схема підключень

DQ 16x24VDC/0.5A BA

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

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

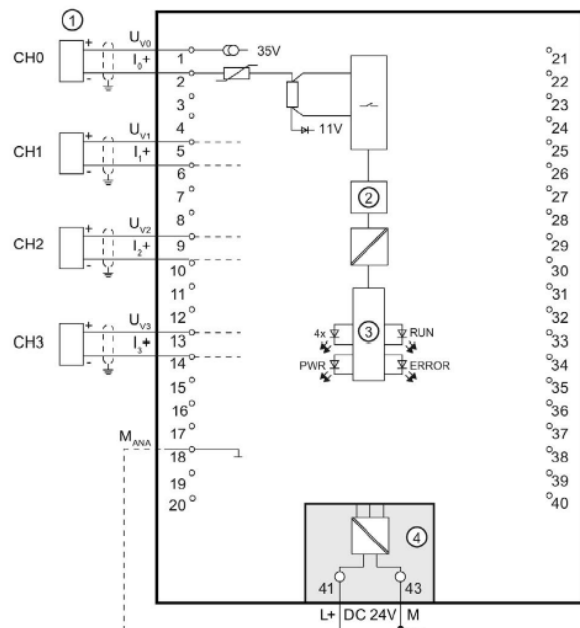


Рис. 5.17 Технічні характеристики та схема підключень

датчиків сили струму до входів 6ES7 531-7QD00-0AB0

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

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

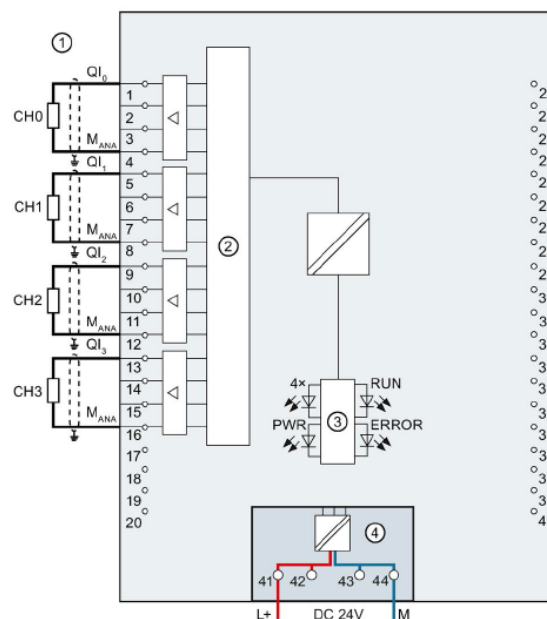


Рис. 5.18 Технічні характеристики та схема формування уніфікованого струму на виходах 6ES7 532-5HD00-0AB0

5.5 Висновки за розділом

В даному розділі був проведений вибір технічних засобів, які дозволяють забезпечити якісне керування процесом пресування винограду і отримання соку. Класи точності, ступінь захисту та ступінь вибухозахисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Виходи датчиків та входи виконавчих механізмів сумісні з входами/виходами ПЛК. Система керування побудована за централізованою схемою із використанням ПЛК SIMATIC S7-1500 та панелі оператора TP1900 Comfort, об'єднаних по мережі Profinet, що забезпечує можливість 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 лінії первинної переробки винограду 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 мережевих зв'язків між ними, для чого вказуємо IP адреси. В якості типу з'єднання обираємо HMI connection.

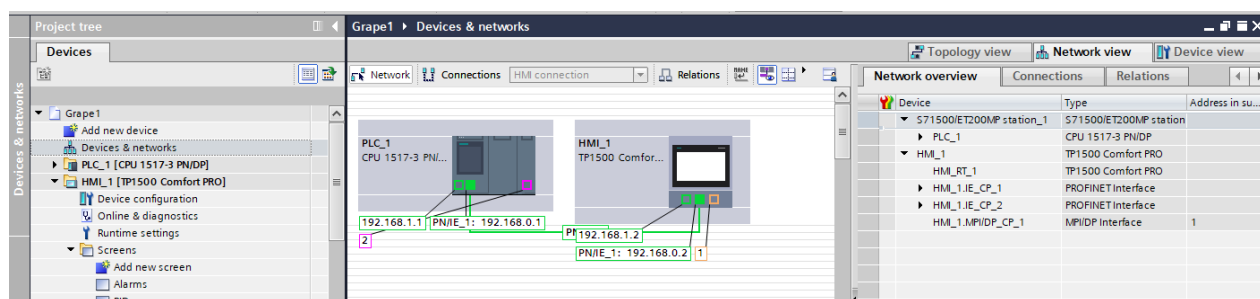


Рис. 6.1 Визначення складу технічних засобів проекту та налаштування мережевих зв'язків.

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

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

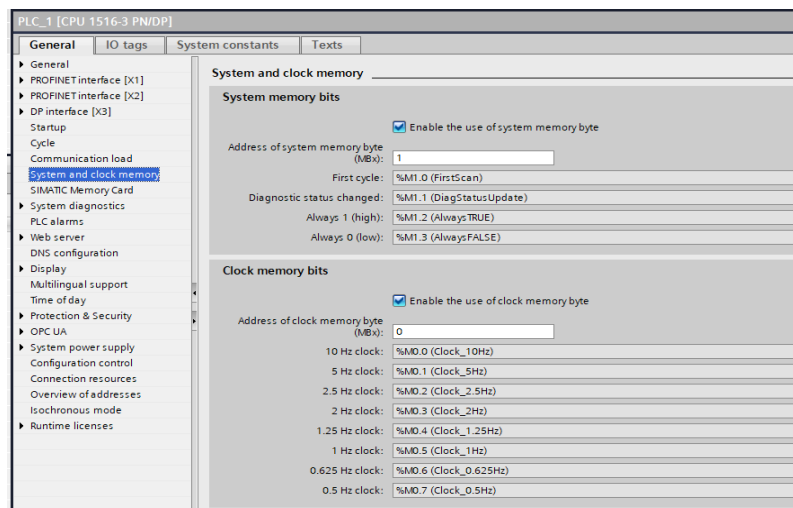


Рис. 6.2 Конфігурування системних областей пам'яті CPU.

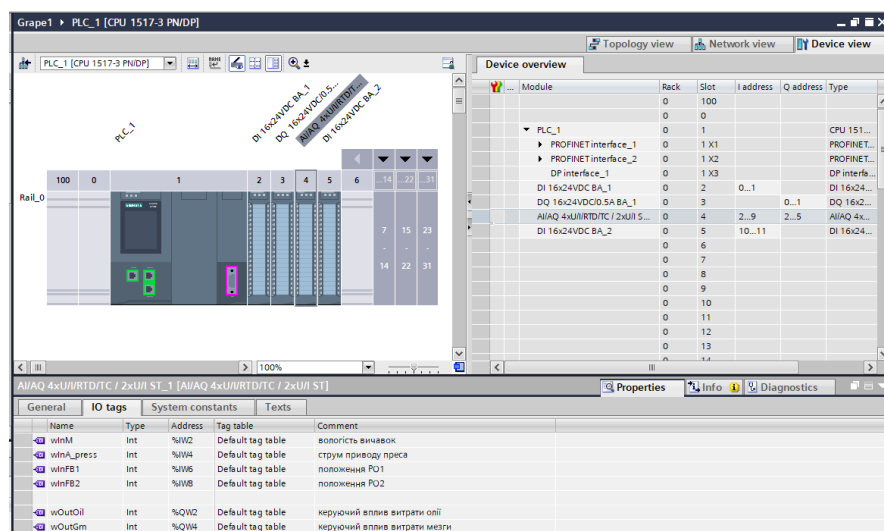


Рис. 6.3 Приклад визначення модулів ПЗО.

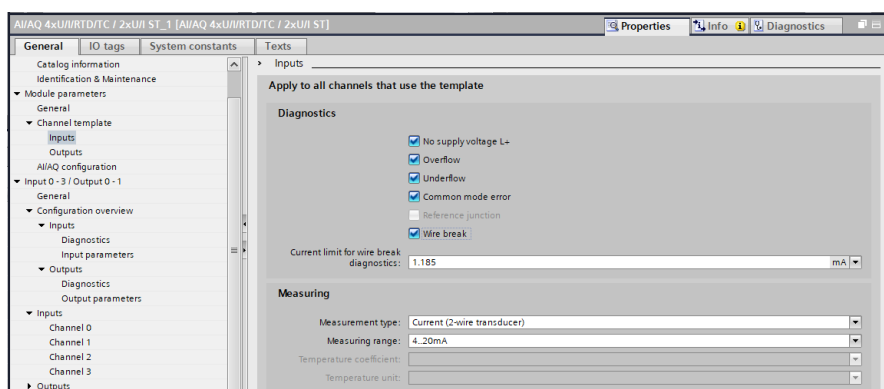


Рис. 6.4 Приклад визначення виду вхідного сигналу і діапазону його зміни для аналогового модуля.

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

Name	Data type	Address	Retain	Access	Write	Visible	Supervise	Comment
46	Output16	Bool	%Q1.7					
47	winM	Int	%W2					вологість вичавок
48	winA_press	Int	%W4					струм приводу преса
49	winFB1	Int	%W6					положення PU1
50	winFB2	Int	%W8					положення PU2
51	wOutOil	Int	%QW2					керуваний вплив витрати олії
52	wOutGm	Int	%QW4					керуваний вплив витрати мезги
53	bLL_Z51	Bool	%I0.0					верхній рівень у збірнику сусле 1
54	bLL_Z52	Bool	%I0.1					нижній рівень у збірнику сусле 1
55	bLL_Z52	Bool	%I0.2					верхній рівень у збірнику сусле 2
56	bLL_Tank1	Bool	%I0.3					нижній рівень у резервуарі 1
57	bLL_Tank1	Bool	%I0.4					верхній рівень у резервуарі 1
58	bLL_Tank2	Bool	%I0.5					нижній рівень у резервуарі 2
59	bLL_Tank2	Bool	%I0.6					верхній рівень у резервуарі 2
60	bLL_Tank_Oil	Bool	%I0.7					нижній рівень у резервуарі олії

Рис. 6.5 Приклад вікна таблиці тегів САК процесу первинної переробки винограду.

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 вологості вичавок та струму навантаження ПЕД пресу, та Logic, де будемо розміщувати функціональні блоки та блоки даних системи логічного керування.

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

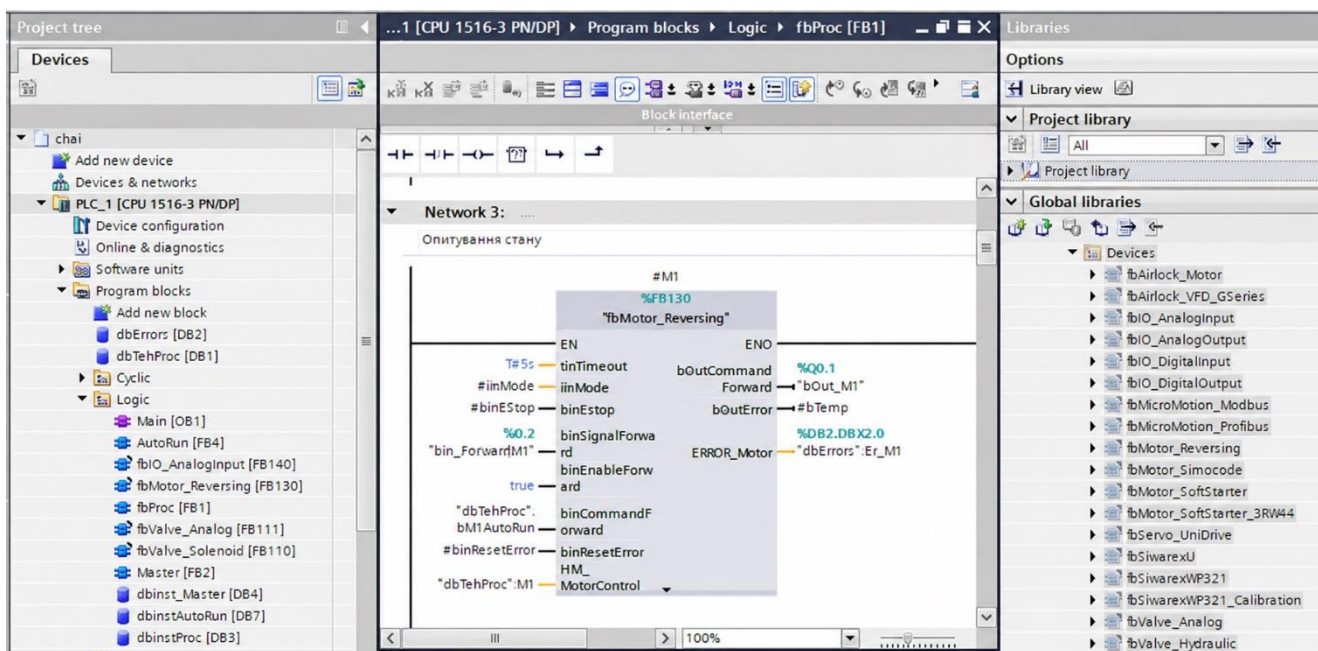


Рис. 6.6 Приклад додавання функціонального блоку FB Motor.

Основні функціональні можливості цих блоків:

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

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

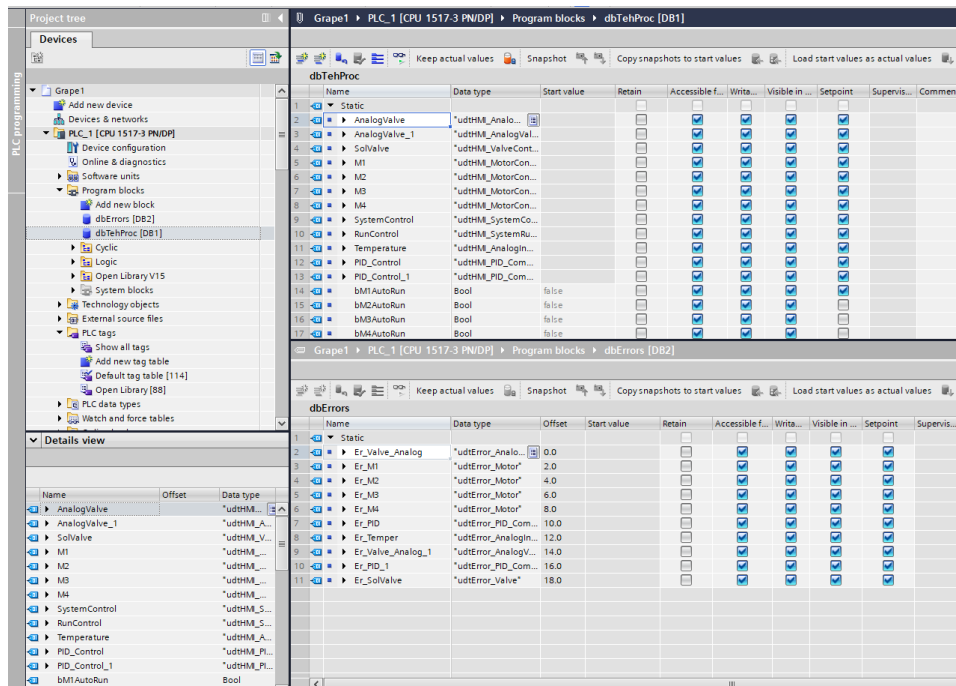


Рис. 6.7 Створення глобальних блоків даних dbTehProc, dbErrors при реалізації САК процесом первинної переробки винограду.

Створення підпрограм логічного керування.

Спочатку розробляємо підпрограму fbProc опитування стану обладнання, а саме електроприводів стікача M1, пресу M2 транспортеру M3 та насосів M4 і M5, аналогового, відсічного клапанів. Створюємо інтерфейс цього функціонального блоку, в якому в розділах Input, Output, Static, Temp вказуємо імена змінних та їх типи.

Grape1 ▸ PLC_1 [CPU 1517-3 PN/DP] ▸ Program blocks ▸ Logic ▸ fbProc [FB1]

fbProc

	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible i
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	M3	"fbMotor_Reversing"			☒	☒	☒
15	M4	"fbMotor_Reversing"			☒	☒	☒
16	AnalogValve	"fbValve_Analog"			☒	☒	☒
17	AnalogValve_1	"fbValve_Analog"			☒	☒	☒
18	Temperature	"fbIO_AnalogInput"			☒	☒	☒
19	SolValve	"fbValve_Solenoid"			☒	☒	☒
20	rOutAnalogValve	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒
21	rOutAnalogValve_1	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒
22	rInAnalogValve	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒
23	rInAnalogValve_1	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒
24	iTemper	Int	0	Non-retain	☒	☒	☒

Рис. 6.8 Інтерфейс функціонального блоку fbProc.

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

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

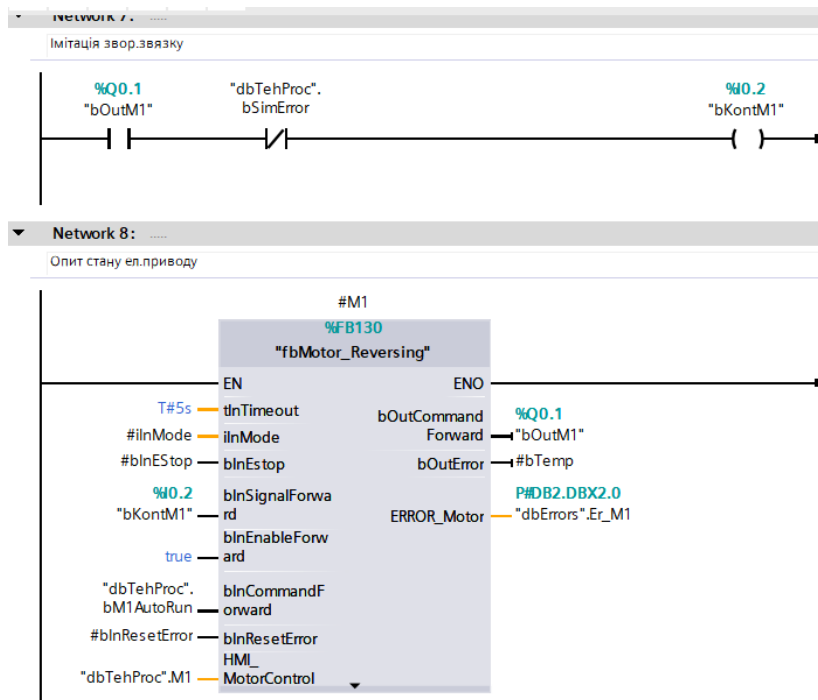


Рис. 6.9 Фрагмент підпрограми fbProc

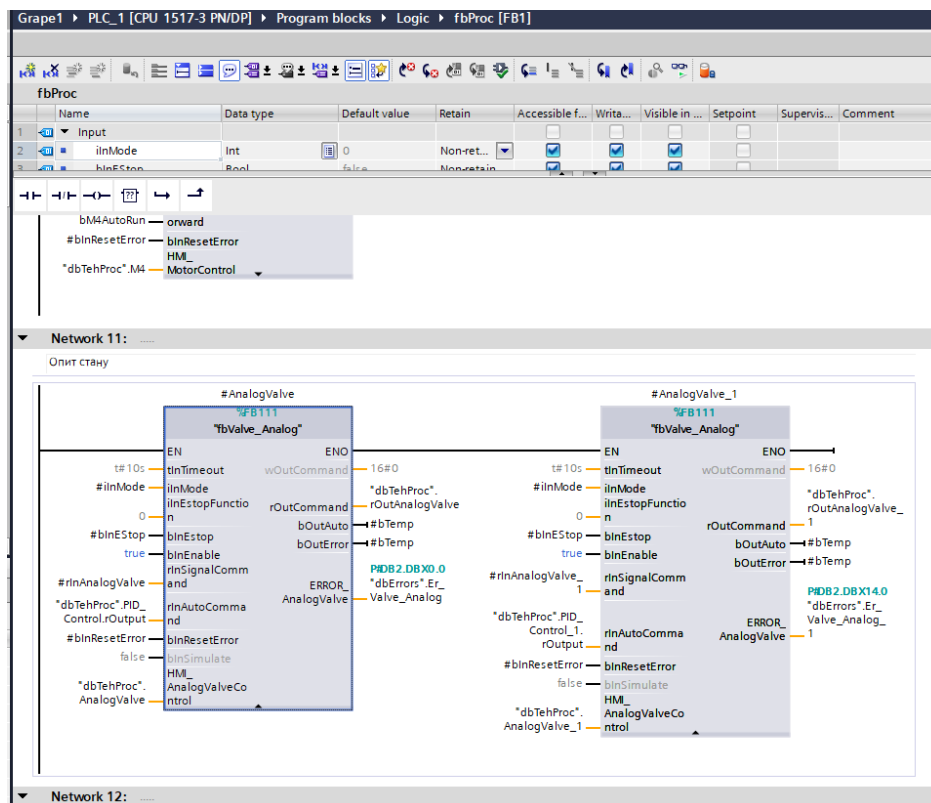


Рис. 6.10 Фрагмент підпрограми fbProc

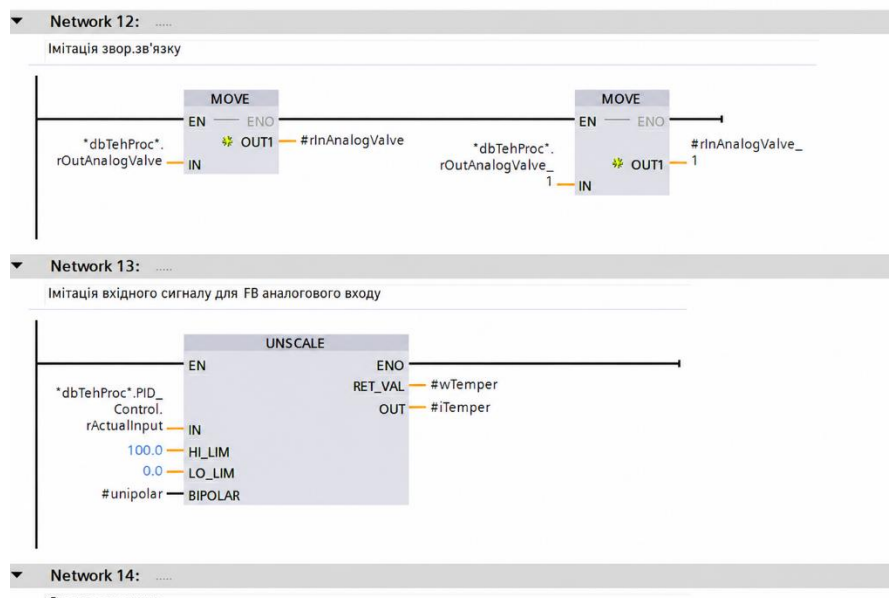


Рис. 6.11 Фрагмент підпрограми fbProc

В кінці програми проводяться перевірки режиму роботи та похибок обладнання.

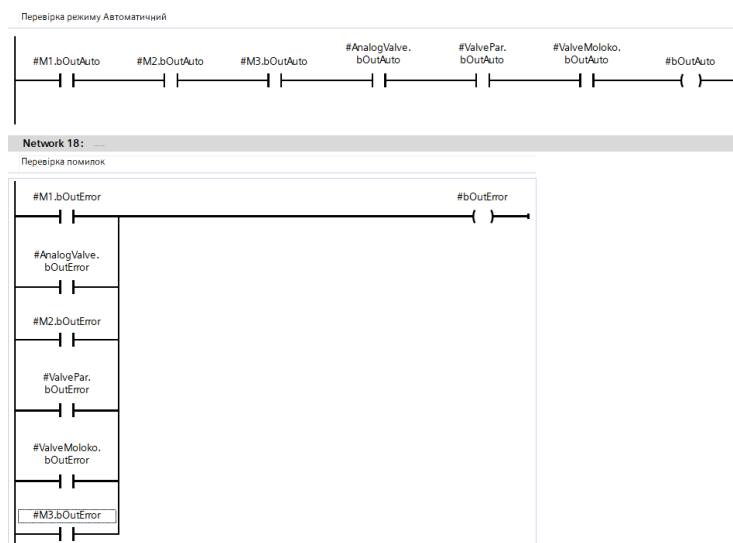


Рис. 6.12 Фрагмент підпрограми fbProc

Далі складаємо підпрограму пуску та зупинки обладнання лінії первинної переробки винограду **fbAutoRun**, яка базується на алгоритмах, розроблених у розділі 4.

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

Grape1 ▸ PLC_1 [CPU 1517-3 PN/DP] ▸ Program blocks ▸ Logic ▸ fbAutoRun [FB4]

	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...
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	bSV	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
14	bM4	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
15	bAV	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒
16	Timer1	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒
17	Timer2	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒
18	Timer3	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒
19	Timer4	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒
20	Timer5	IEC_TIMER		Non-retain	☒	☒	☒

Рис. 6.13 Інтерфейс функціонального блоку fbAutoRun.

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

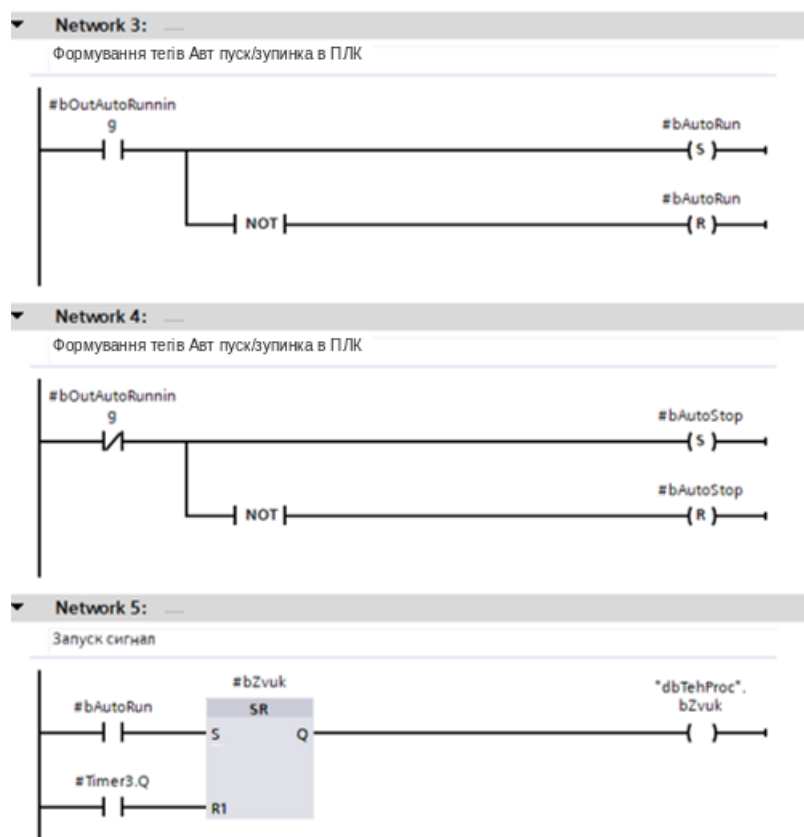


Рис. 6.14 Фрагмент підпрограми fbAutoRun.

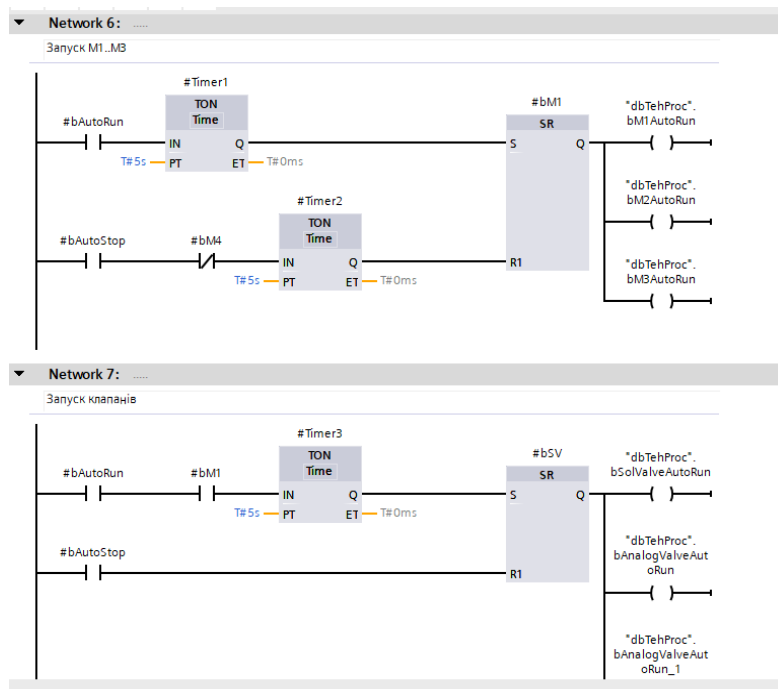


Рис. 6.15 Фрагмент підпрограми fbAutoRun.

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

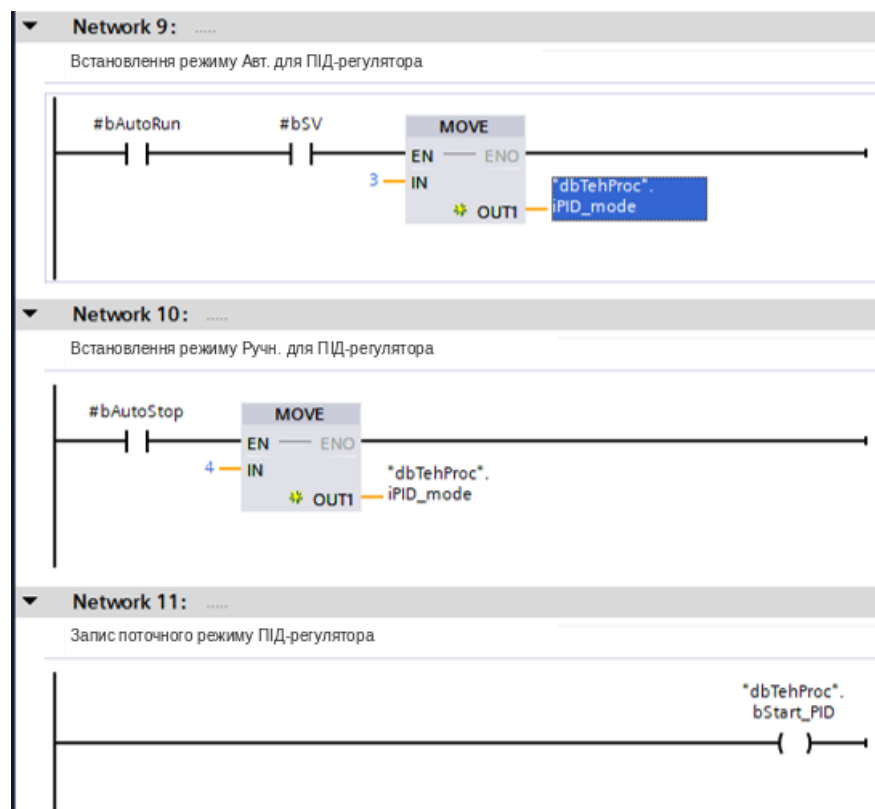


Рис. 6.16 Фрагмент підпрограми fbAutoRun.

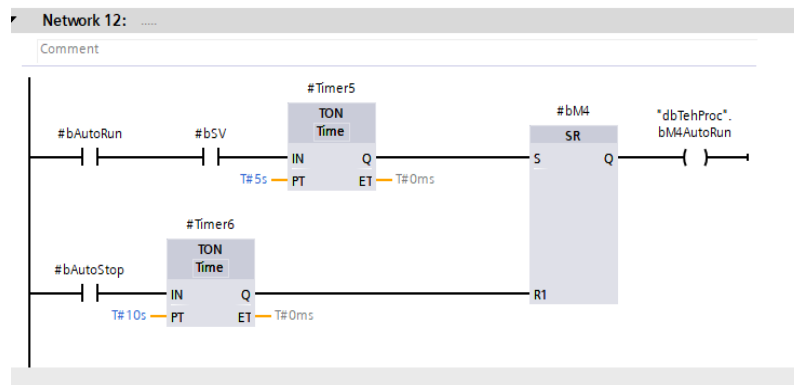


Рис. 6.17 Фрагмент підпрограми fbAutoRun.

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

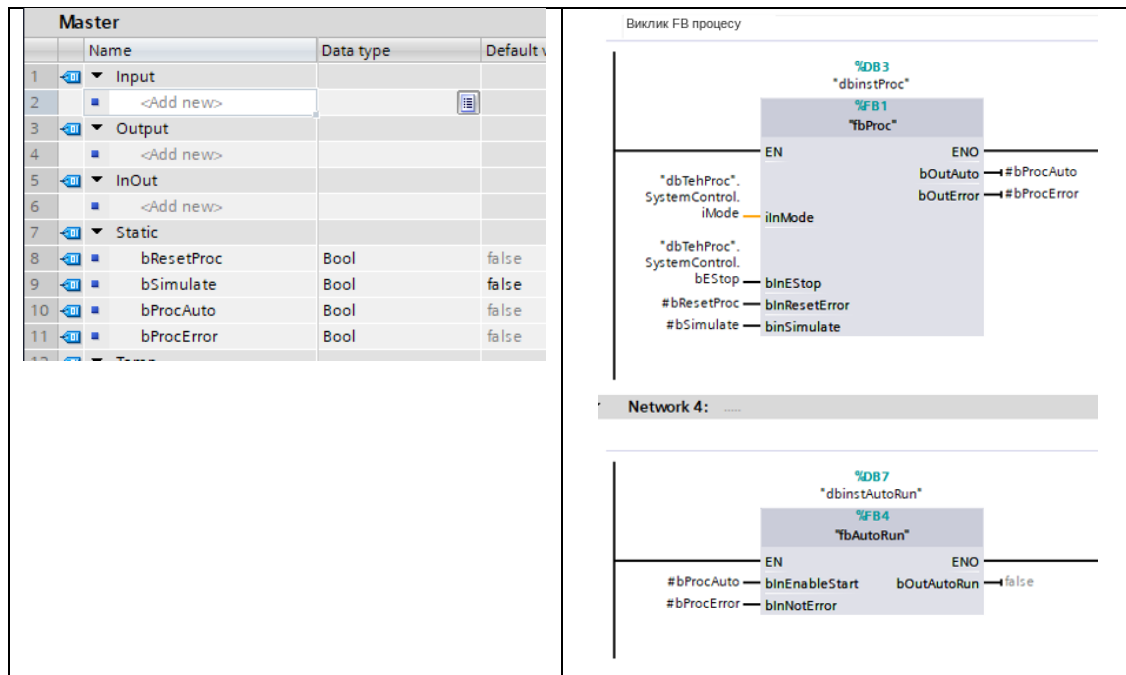


Рис. 6.18 Інтерфейс та текст підпрограми Master.

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

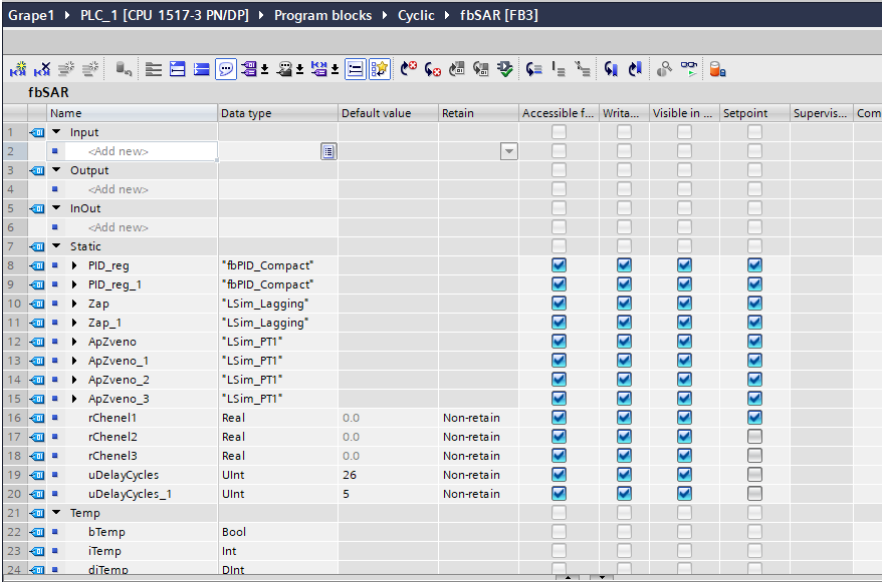
6.3 Розробка програм для реалізації алгоритмів регулювання

Алгоритми регулювання вологості вичавок та струму ПЕД пресу 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 вологості вичавок та струму ПЕД пресу реалізована у функціональному блоці FB SAR, розрахунок якого виконується кожну 0,1 сек в організаційному блоці Cyclic interrupt (OB30). Необхідність використання саме організаційного блока OB30 зумовлена вимогою до точного визначення кроку квантування при розрахунках керуючого впливу.

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



	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Supervis...	Com
1	Input									
2	<Add new>									
3	Output									
4	<Add new>									
5	InOut									
6	<Add new>									
7	Static									
8	PID_reg	"fbPID_Compact"			☒	☒	☒	☒		
9	PID_reg_1	"fbPID_Compact"			☒	☒	☒	☒		
10	Zap	"LSim_Lagging"			☒	☒	☒	☒		
11	Zap_1	"LSim_Lagging"			☒	☒	☒	☒		
12	ApZveno	"LSim_PT1"			☒	☒	☒	☒		
13	ApZveno_1	"LSim_PT1"			☒	☒	☒	☒		
14	ApZveno_2	"LSim_PT1"			☒	☒	☒	☒		
15	ApZveno_3	"LSim_PT1"			☒	☒	☒	☒		
16	rChenel1	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☒		
17	rChenel2	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☒		
18	rChenel3	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☒		
19	uDelayCycles	UInt	26	Non-retain	☒	☒	☒	☒		
20	uDelayCycles_1	UInt	5	Non-retain	☒	☒	☒	☒		
21	Temp									
22	bTemp	Bool								
23	iTemp	Int								
24	dTemp	DInt								

Рис. 6.19 Інтерфейс функціонального блоку fbSAR.

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

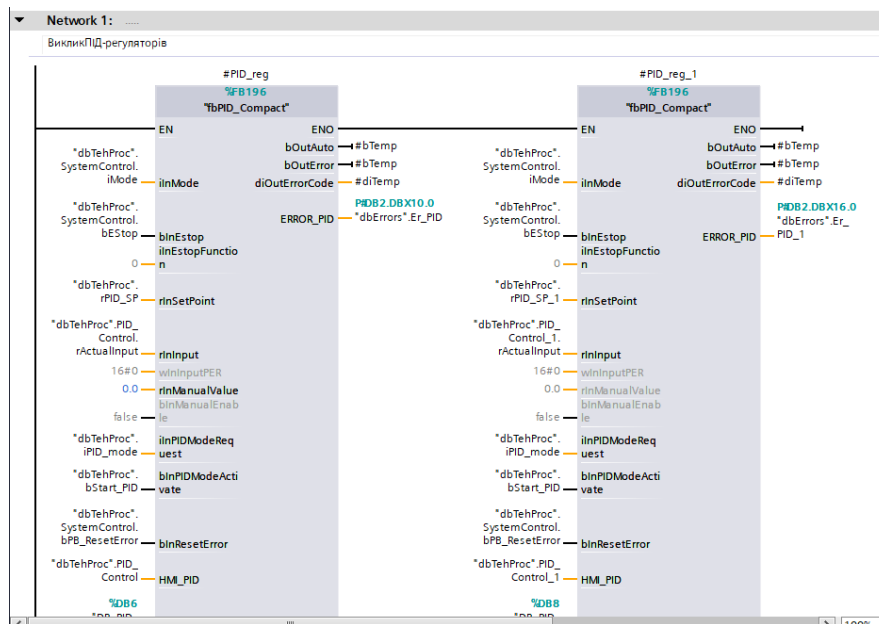


Рис. 6.20 – Фрагмент функціональних блоків fbSAR, що реалізує ПД-регулятори вологості вичавок та струму навантаження ПЕД пресу.

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

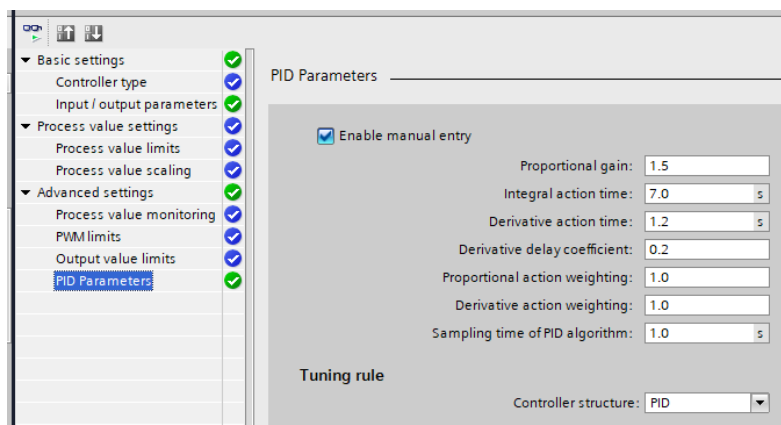


Рис. 6.21 Приклад налаштування параметрів ПД-регулятора вологості вичавок.

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

Далі за допомогою екземплярів типових ланок: запізнення LSim_Lagging та інерційної ланки першого порядку LSim_PT1, викликається на виконання модель ОК (рис. 6.23). Параметри моделі відповідають значенням, отриманим при ідентифікації моделі ОК.

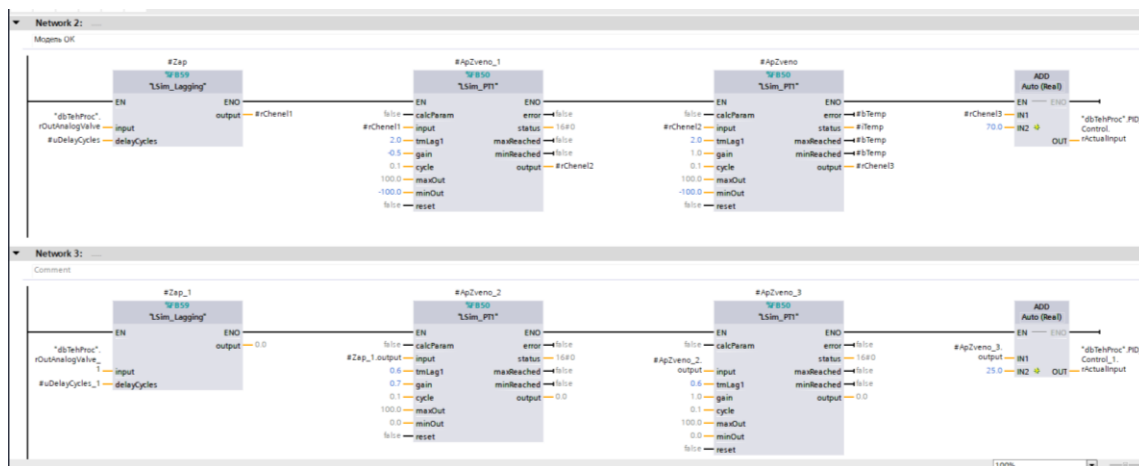


Рис. 6.22 Фрагмент функціонального блоку fbSAR,
що реалізує модель ОК

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

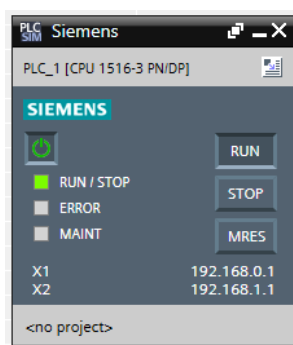


Рис. 6.23 Вигляд вікна програми PLCSIM

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

6.4 Висновки за розділом

В результаті виконання даного розділу були отримано навички використання документації виробника, 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 первинної переробки винограду.

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

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

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

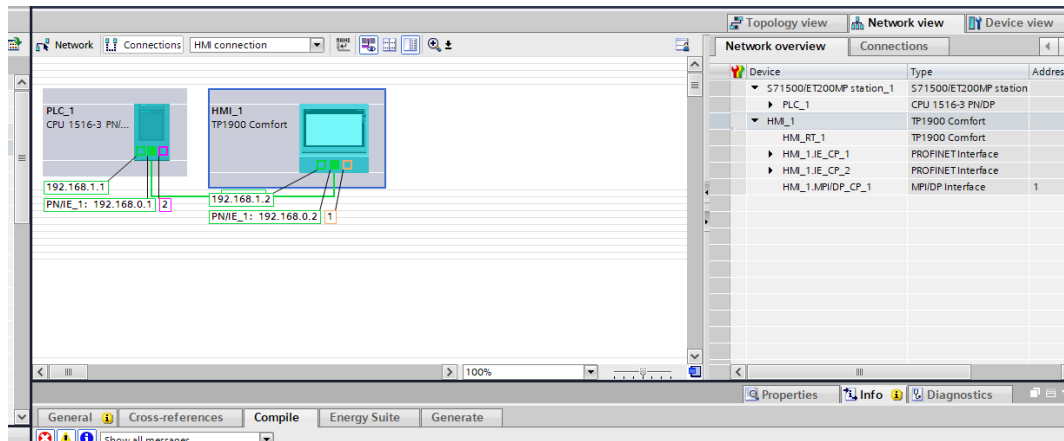


Рис. 7.1 Встановлення IP-адрес технічних засобів проекту та типу їх сполучення в мережі

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

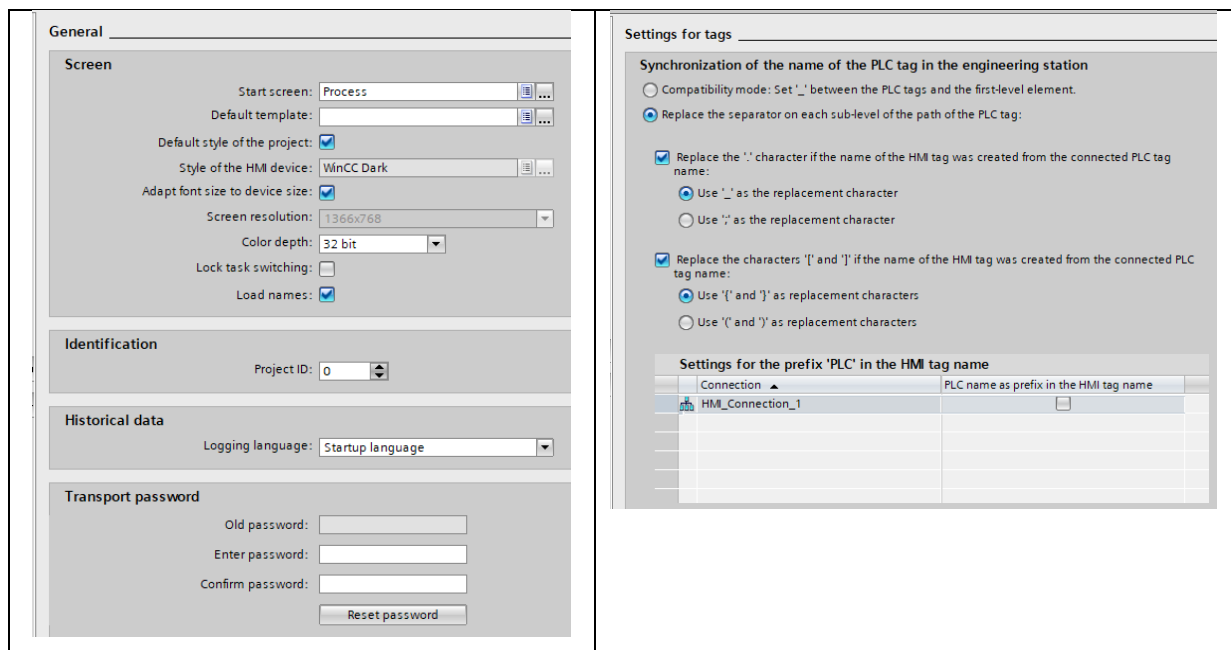


Рис. 7.2 Конфігурування TP 1900 Comfort

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

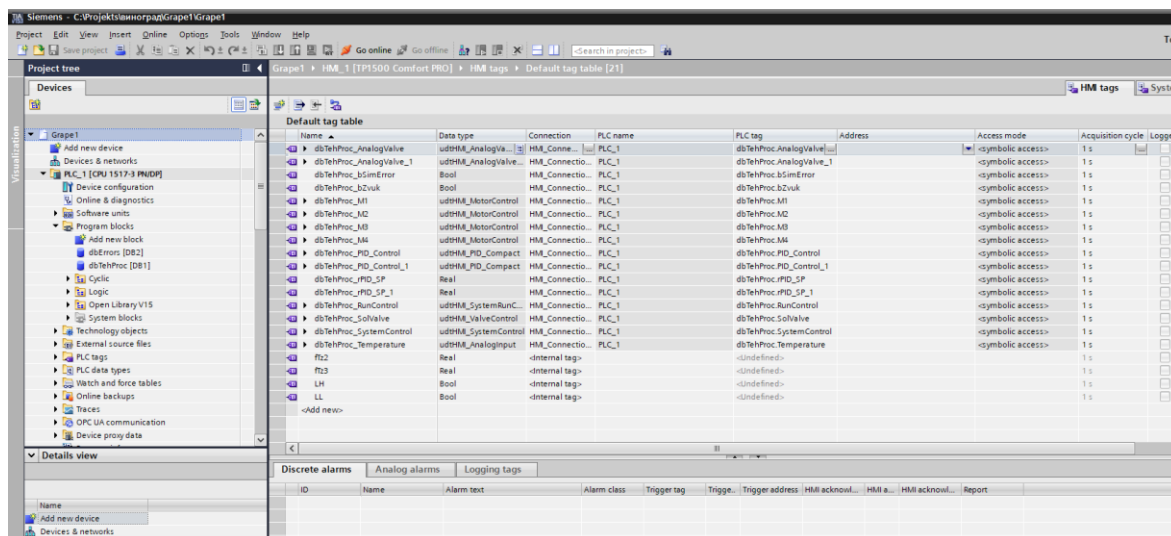


Рис. 7.3 Приклад створення таблиці НМІ-тегів

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

7.2 Конкретизація функцій та структури екранів АРМ оператора-технолога.

Структура екранів АРМ оператора-технолога повинна містити в собі екрани для керування лінією первинної переробки винограду:

екран схеми установки для управління технологічним процесом;

екран для спостереження за регульованими змінними (вологість вичавок та струм навантаження ЕД пресу);

екран для відтворення діагностичних повідомлень про роботу технологічних агрегатів.

Функції екранів АРМ оператора-технолога:

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

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

екран для відтворення діагностичних повідомлень надає можливість бачити

повідомлення про несправності , а також перегляду повідомлень, які зберігаються в архіві.

7.3 Розробка екранів АРМ оператора-технолога.

Шаблон екранів.

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

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

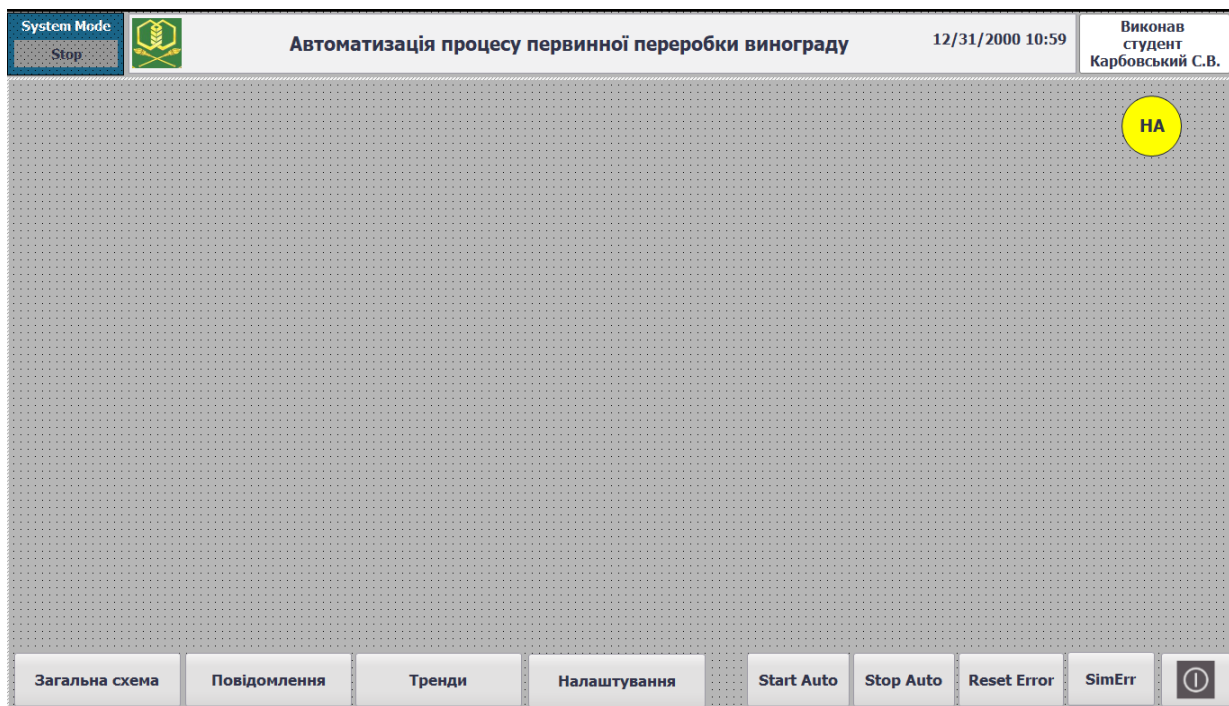


Рис. 7.4 – Загальний вигляд шаблону екранів

Меню переключення екранів складається з набору кнопок, що дозволяють виконувати перемикавання між різними графічними вікнами. Для перемикавання вікон використовуються спеціальні системні функції «ActivateScreen» (рис. 7.5).

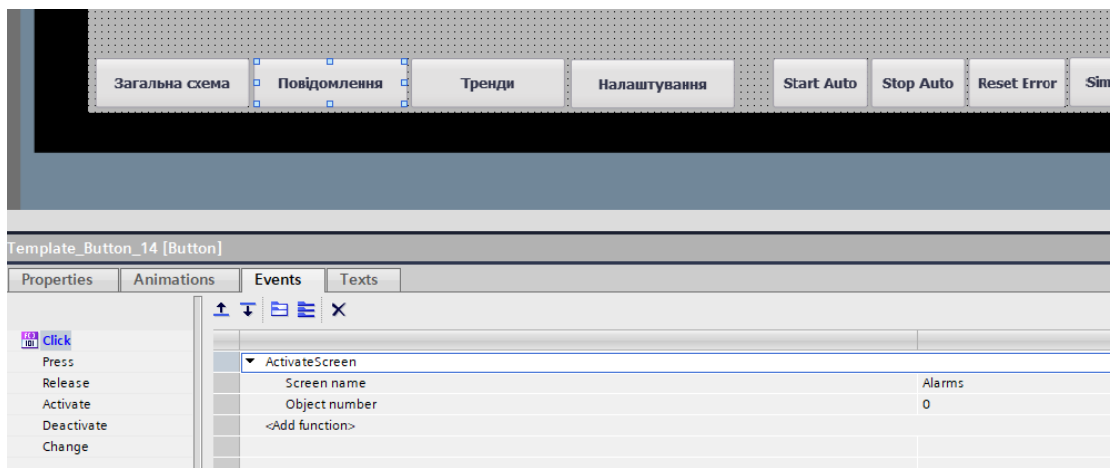


Рис. 7.5 – Приклад використання системної функції «Activate Screen» для перемикання екранів графічного інтерфейсу

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

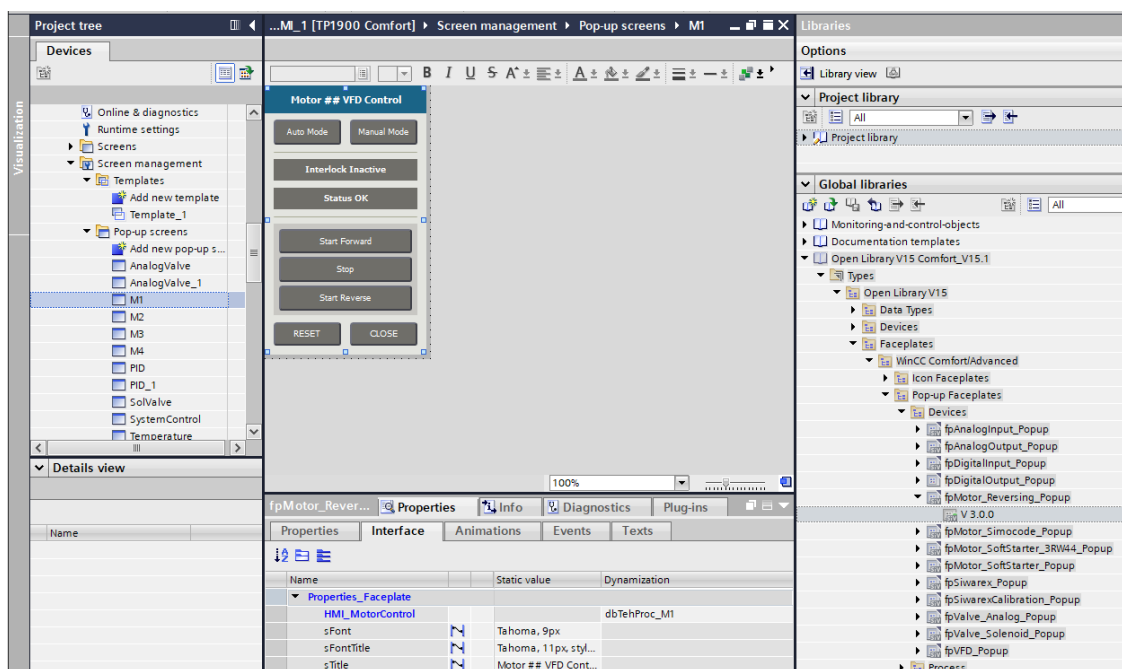


Рис. 7.6 Приклад створення спливаючих вікон для керування окремим обладнанням

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

Основний екран «Загальна схема» містить схематичне зображення лінії

первинної переробки винограду з нанесеними на нього елементами відображення і управління. 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 системи і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням системи.

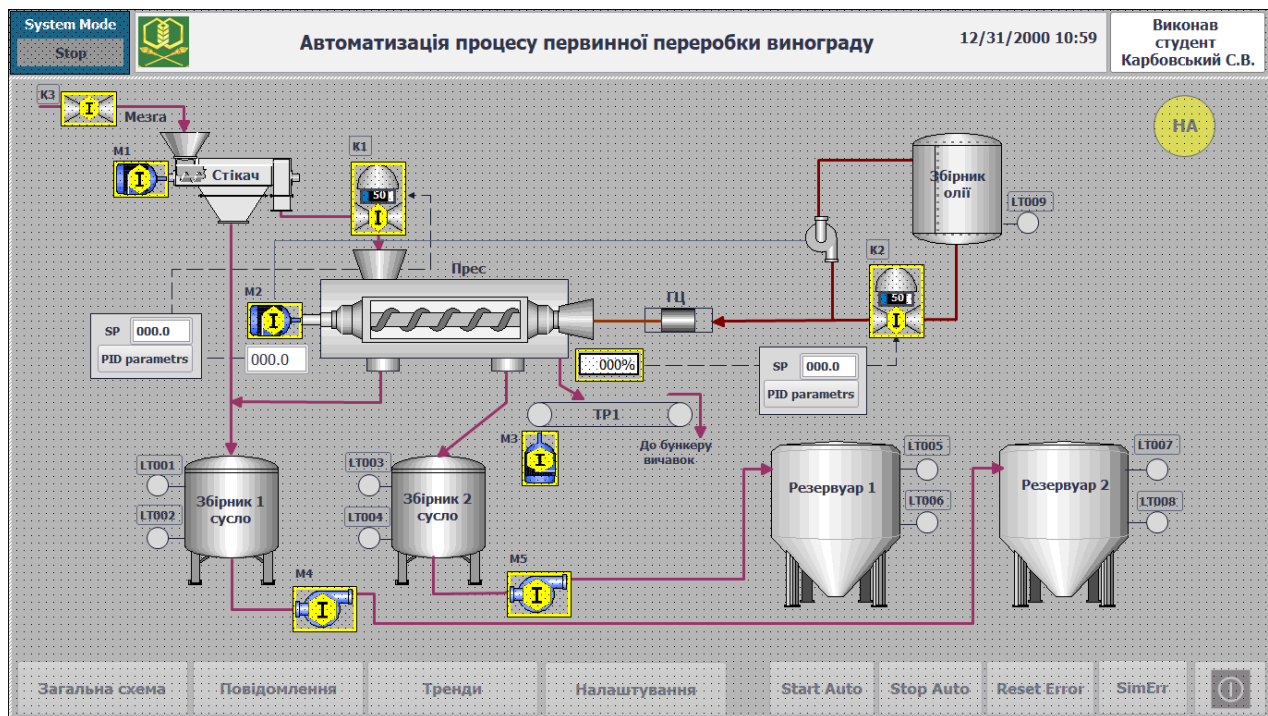


Рис. 7.7 Екран схеми установки

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

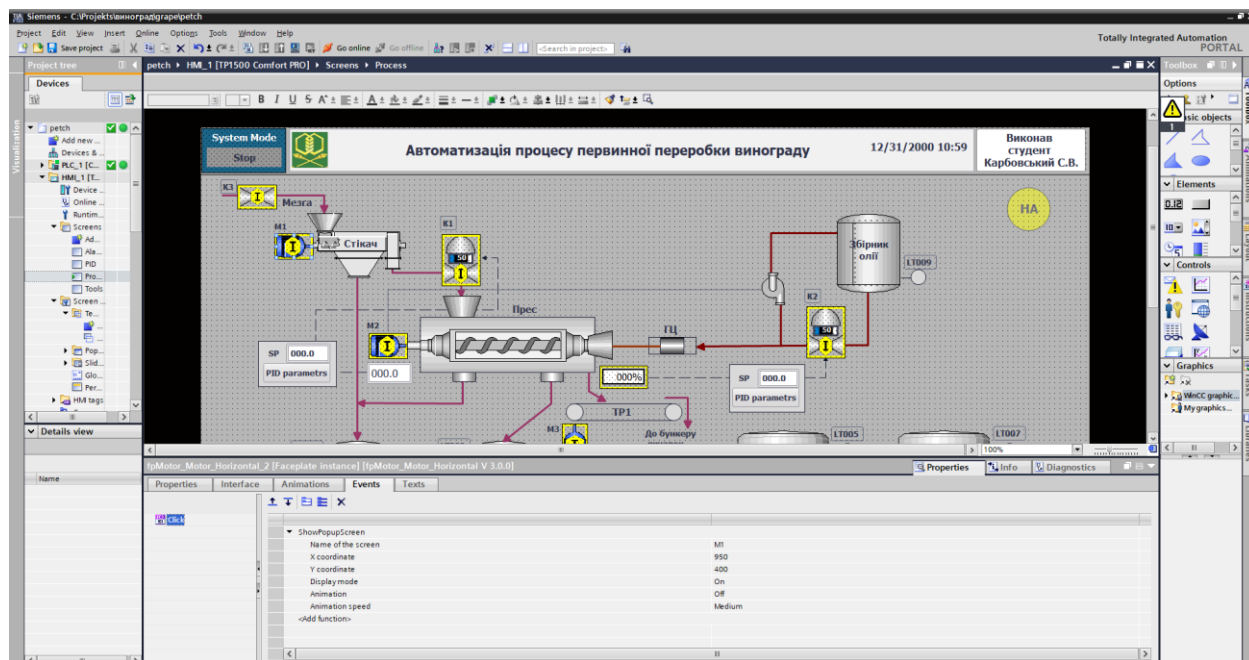


Рис. 7.8 Приклад налаштування піктограми електроприводу

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

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

Для побудови графіків зміни струму навантаження ПЕД пресу і вологості вичавок використовується елемент Trend View із стандартної бібліотеки. Приклад його налаштування наведений на рис. 7.10.

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

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

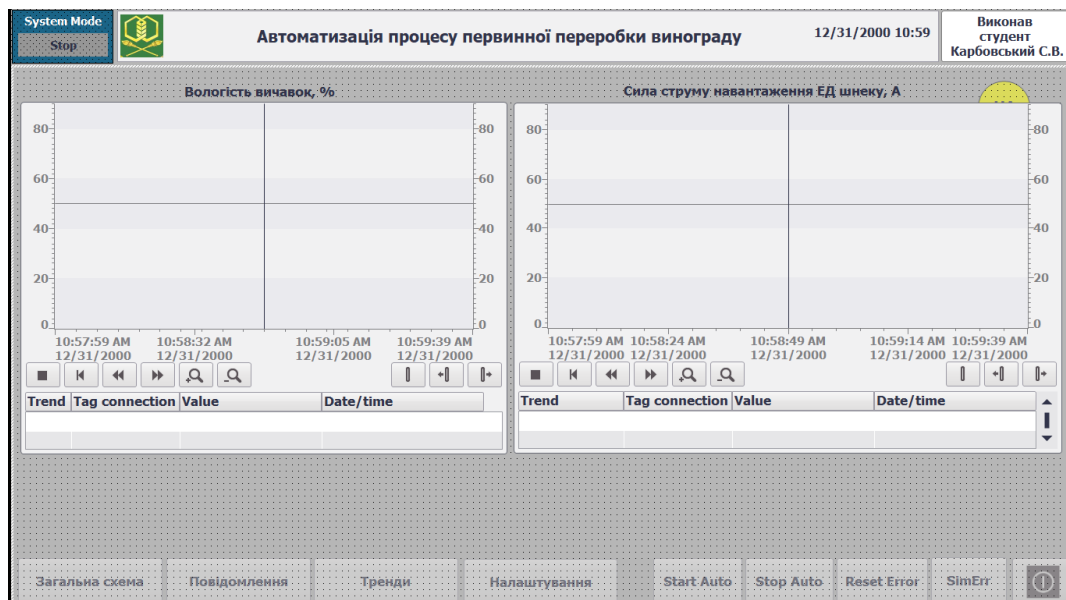


Рис. 7.9 Екран графіків

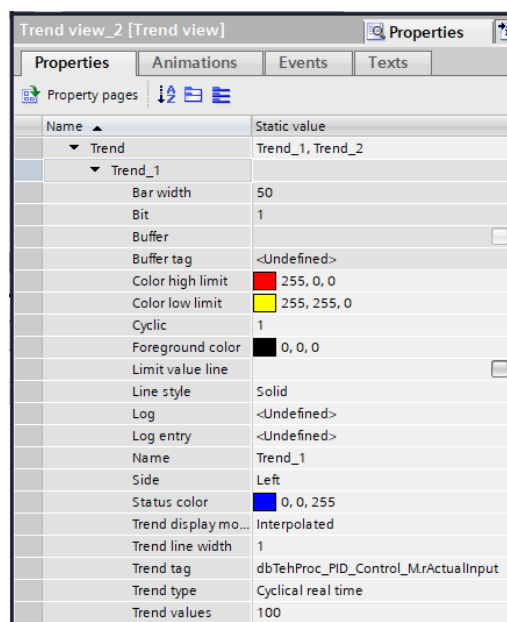


Рис. 7.10 Вікно налаштування елементу Trend

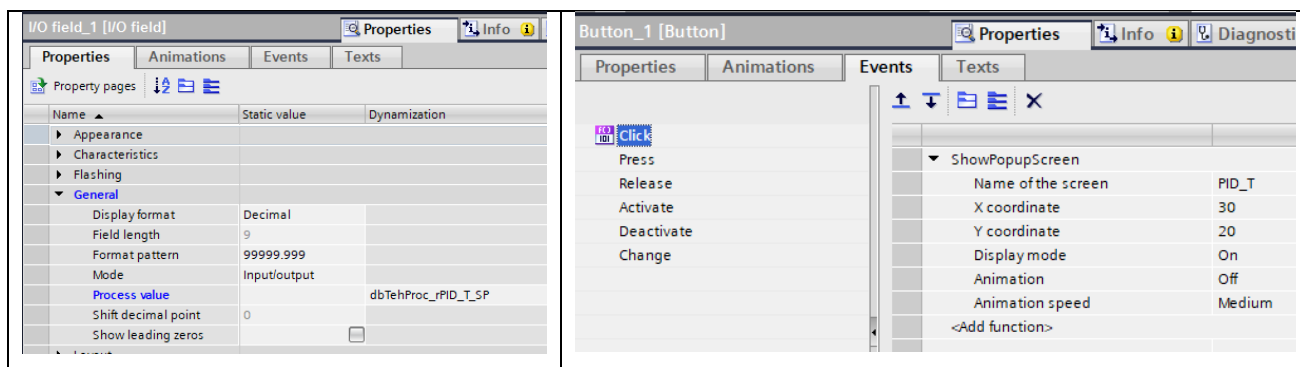


Рис. 7.11 Налаштування вікна вводу/виводу та кнопки

Для інформування оператора про стан технологічного процесу і виникнення подій (Alarm) з обладнанням лінії первинної переробки винограду в проекті

створена система повідомлень. Вона включає повідомлення від програми користувача і системні повідомлення ОС ПЛК. Повідомлення від програми, розділяються на дискретні і аналогові і належать класам «Warnings» (попередження) і «Errors» (помилки). Повідомлення класу «Errors» інформують про критичні або небезпечні робочі стани та заносяться в архів.

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

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

Name	Data type	Connection	PLC name	PLC tag	Address
Er_Valve	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	<Undefined>	%DB2.DBW18
Er_M1	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	<Undefined>	%DB2.DBW2
Er_M2	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	<Undefined>	%DB2.DBW4
Er_M3	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	<Undefined>	%DB2.DBW6
Er_M4	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	<Undefined>	%DB2.DBW8
Er_PID	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	<Undefined>	%DB2.DBW10
Er_Temper	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	<Undefined>	%DB2.DBW12
Er_ValveAnalog	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	<Undefined>	%DB2.DBW0
ErValveAnalog_1	Word	HMI_Connection_1	PLC_1	<Undefined>	%DB2.DBW14
<Add new>					

ID	Name	Alarm text	Alarm class	Trigger tag	Trigge...	Trigger address	HMI acknowl...	HMI a...	HMI acknowl...	Report
4	Discrete_alarm_4	NoSignalForward	Errors	ErM1	11	%DB2.DBX2.3	<No tag>	0		☐
5	Discrete_alarm_5	NoSignalReverse	Errors	ErM1	12	%DB2.DBX2.4	<No tag>	0		☐
<Add new>										

Рис. 7.13 Приклад привязки тегів dbErrors з HMI-тегами

Кожний біт HMI-тега з Alarm tag table сортуємо по типам та по класам Errors або Warnings (див. рис. 7.13). Кожному з цих бітів відповідає своє повідомлення (Alarm text).

Для відображення цих повідомлень для оператора створюємо екран Alarms.

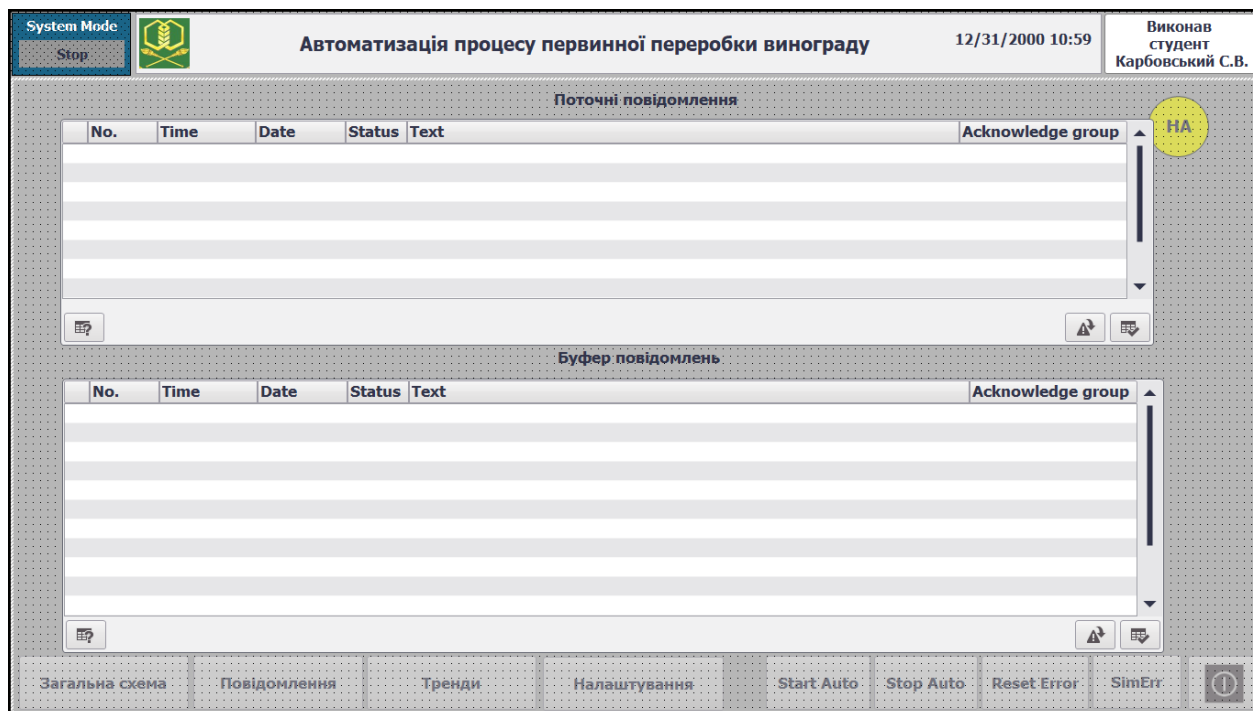


Рис. 7.14 Екран Alarms повідомлень про несправності

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

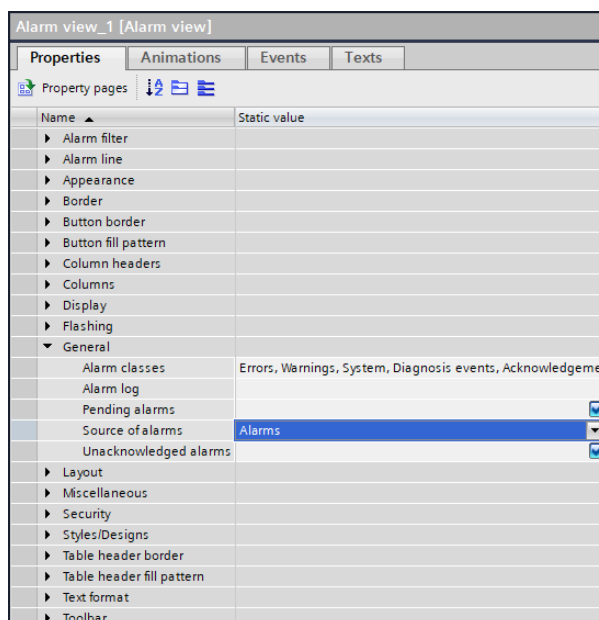


Рис. 7.15 Налаштування властивостей елемента Alarm View

При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів.

7.4 Тестування системи керування.

Тестування системи керування лінією первинної переробки винограду

проведемо в режимі емуляції контролера з використанням програми S7-PLCSIM, в середовищі якої завантажуюмо проект ПЛК після його компіляції.

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

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

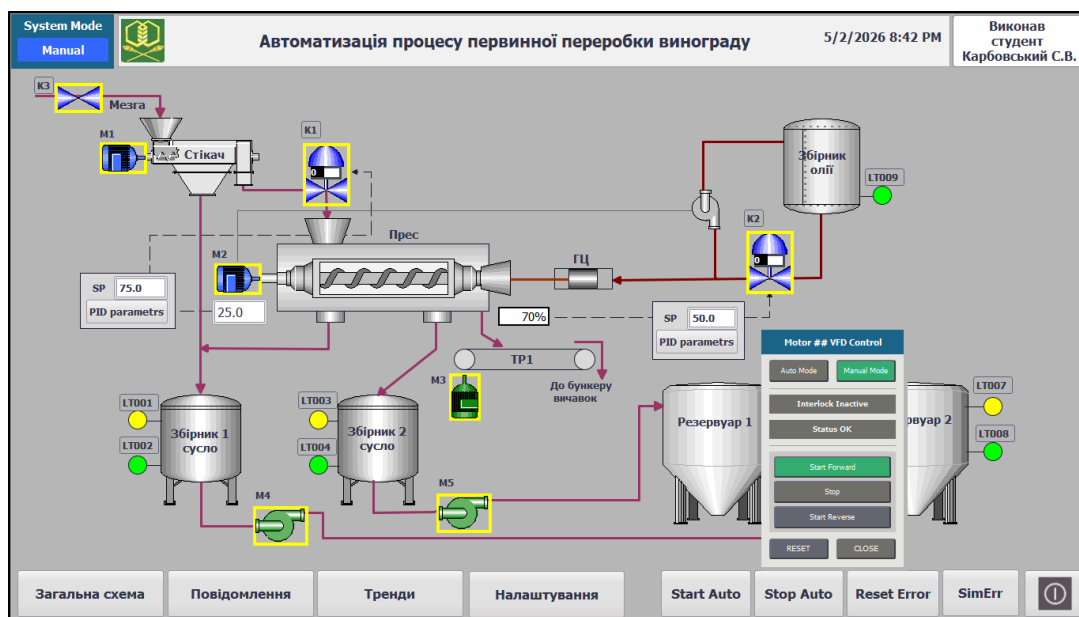


Рис. 7.16 Схема установки в ручному режимі.

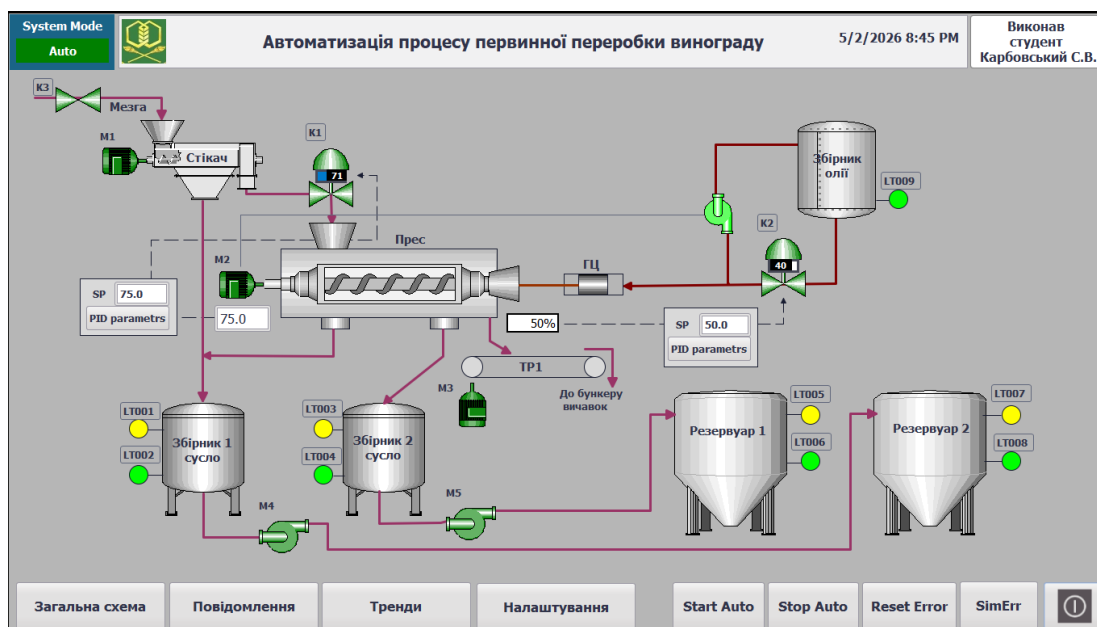


Рис. 7.17 Схема установки в автоматичному режимі.

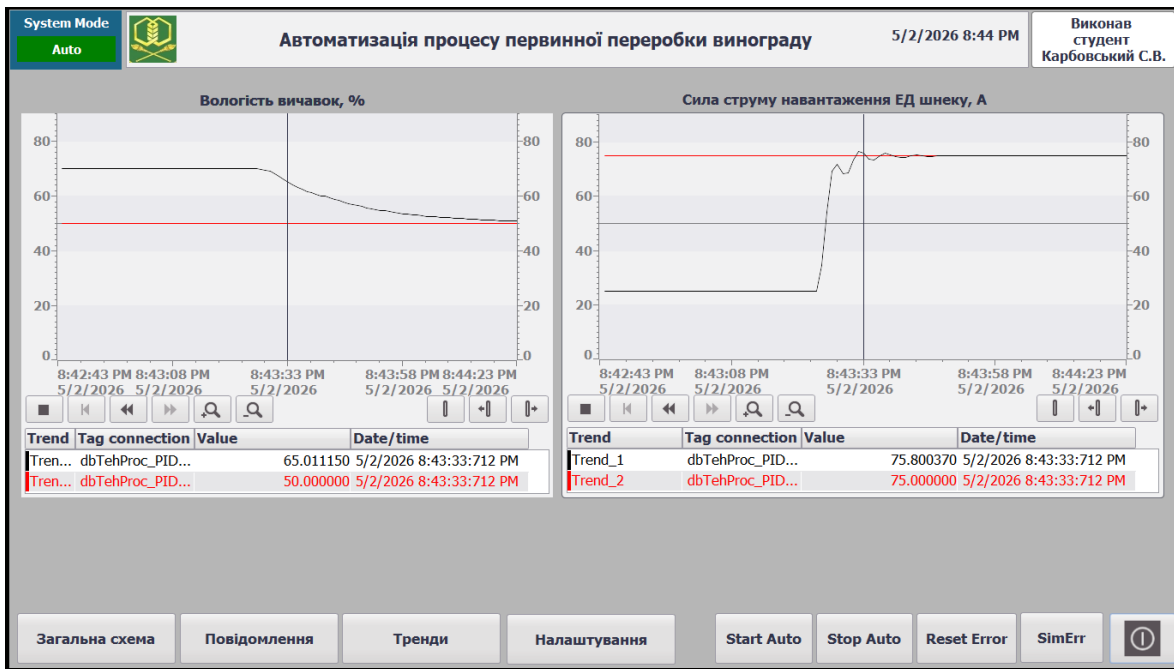


Рис. 7.18 – Екран PID в тестовому режимі

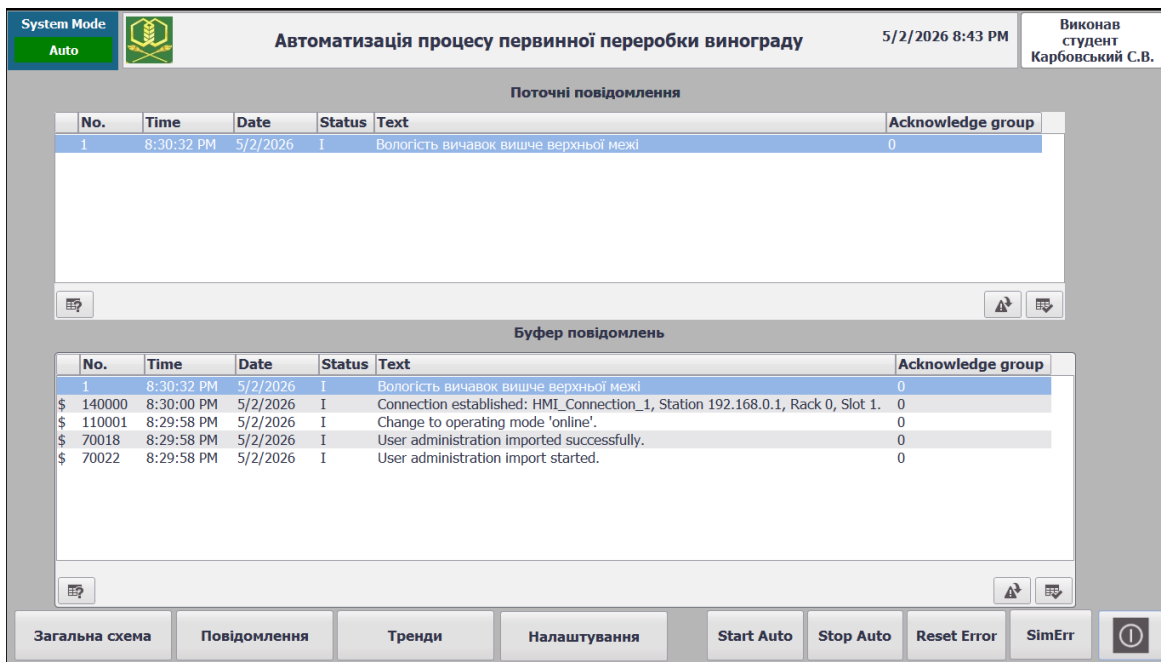


Рис. 7.19 – ЕкранAlarms в тестовому режимі
при імітації несправності.

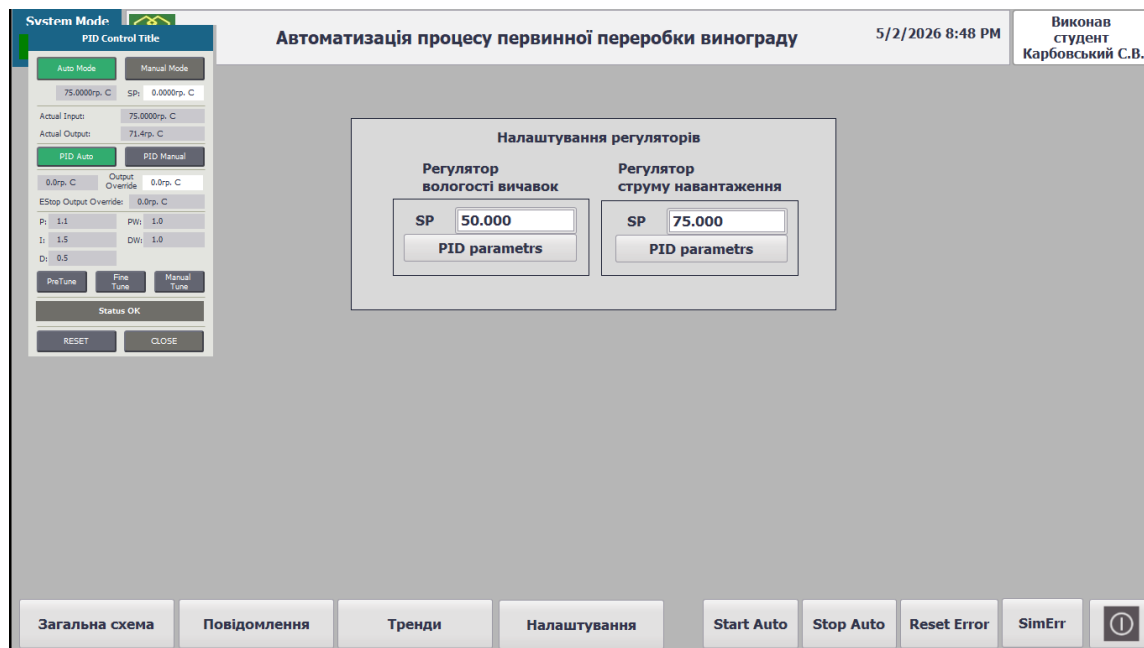


Рис. 7.20 – ЕкранAlarms в тестовому режимі при імітації несправності.

7.5 Висновки за розділом

У цій частині роботи розроблений інтерфейс для SCADA системи управління технологічним процесом первинної переробки винограду. Створені екран для відображення схеми лінії первинної переробки винограду для роботи оператора-технолога, екран для відображення графіків зміни регульованих параметрів технологічного процесу 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 ЗАБЕСПЕЧЕННЯ САК, ВКЛЮЧАЮЧИ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ

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

В наш час Україна переходить на європейські стандарти, в тому числі в сфері автоматизації, тому зараз впроваджуються нові і змінюються існуючі державні стандарти. Так при проектуванні для створення схем автоматизації (P&ID) замість застарілих ГОСТів використовуються стандарти ДСТУ ISO 14617 (зокрема ISO 14617-1:2018), ДСТУ EN 62424.

Для харчової та зернопереробної промисловості, де виробництво часто йде партіями, важливим є стандарт ISA-88 (міжнародний аналог — IEC 61512)

Для вертикальної інтеграції систем керування впроваджується стандарт ISA-95 (IEC 62264). Цей стандарт визначає інтерфейс між виробничими операціями (MES-системи) та бізнес-плануванням.

Для забезпечення безпеки харчової продукції та простежуваність використовується стандарт ISO 22000.

Основне технічне рішення, прийняте при проектуванні системи автоматизації процесу пресування винограду, пов'язане з покращенням завадостійкості - була запропонована наступна технічна структура, в якій розділена силова і інтелектуальна частини (рис. 8.1).

В силовій шафі розміщені технічні засоби для керування електроприводами та блоки живлення. В шафі автоматики розміщені технічні засоби інтелектуальної частини САК. Таке технічне рішення дозволяє зменшити вплив струмів, які протікають по силовим кабелям, на роботу ПЛК і панелі оператора.

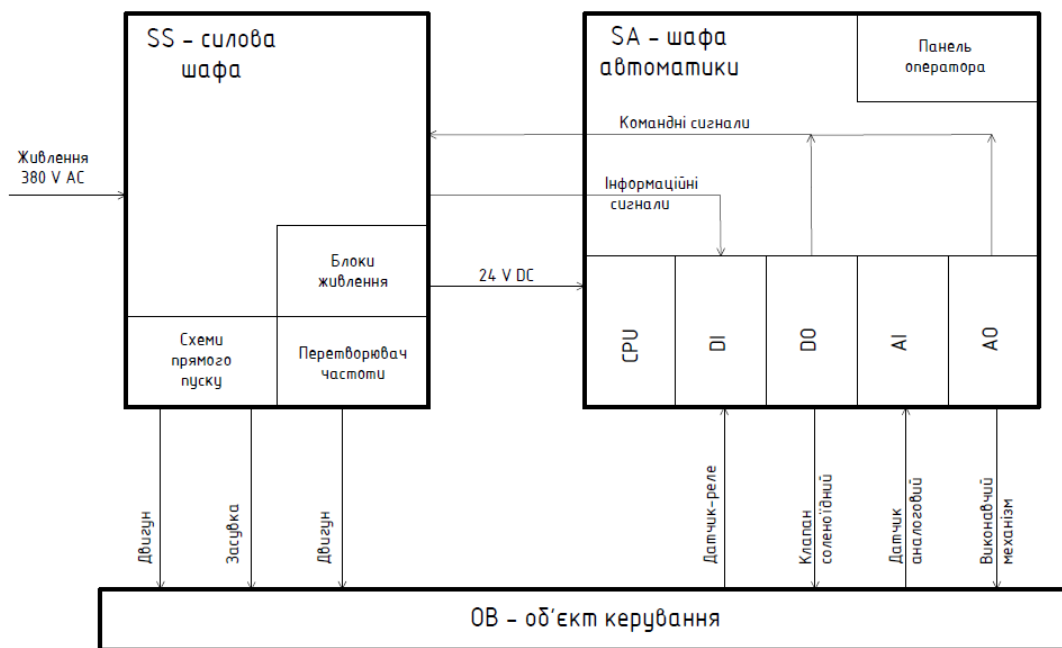


Рис. 8.1 Структура САК

Відповідно до складеної технічної структури системи керування, враховуючи результати вибору комплексу технічних засобів, розроблено комплект її проектної документації. Комплект включає наступні документи:

Графічні:

- 1 – схему автоматизації;
- 2 – принципову електричну схему (ПЕС) керуванням електроприводу;
- 3 – ПЕС живлення;
- 4 – схему мережевих зв'язків;
- 2 – ПЕС підключення до блоку дискретних входів ПЛК;
- 3 – ПЕС підключення до блоку дискретних виходів ПЛК;
- 4 – ПЕС підключення до блоку аналогових входів ПЛК;
- 5 – ПЕС підключення до блоку аналогових виходів ПЛК.

В силовій шафі елементи керування та живлення електроприводів встановлюються на DIN-рейку 35 мм.

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

Центральний процесор CPU 1513, що реалізує основні функції контролю та

регулювання, оснащений інтерфейсом PROFINET.

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

- прийом і дешифрацію команд по мережам PROFINET;
- введення, фільтрацію й нормалізацію аналогових сигналів входу – модуль AI 4xU/I (6A7 1531-7KF00-7AB0) та формування керуючих впливів на виході - та модуль AO 4xU/I/6ES7 (6AG 1532-5HD00-7AB0);
- опитування стану дискретних входів - модуль DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) та вивід із дискретних виходів сигналів керування - модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0).

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

8.2 Розробка схеми автоматизації

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

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

1 – 5 - керування та контроль стану електроприводів M1 – M4;

6, 7 – контроль і регулювання струму навантаження електроприводу пресу і вологості вичавок;

8-10 – контроль рівня соку і оливи в баках;

11-13 – контроль тиску соку перед насосами і тиску оливи в гідромережі;

14 – контроль швидкості обертання барабану транспортера вичавок.

У контурах 1 – 5 керування приводами передбачені функції місцевого керування, які реалізуються за рахунок технічних засобів, що розміщені у силовій шафі, функції дистанційного керування з панелі оператора та функції автоматичного керування у часі по програмі в ПЛК.

У контурі 6 реалізована система контролю та регулювання струму навантаження приводу преса. Розглянемо дію цього контуру. Від датчика сили струму з уніфікованим перетворювачем EY/ пропорційний струму сигнал 4...20 mA DC подається на регулятор EC/6, який формує керуючий вплив у вигляді струму 4...20 mA DC, що подається виконавчий механізм клапану ECV6. Регулятор програмно реалізований в ПЛК. В контурі передбачена функції ручного задатчика і індикації регульованої змінної HIC/6, які реалізовані в панелі оператора. Контур 7 працює аналогічно.

В контурах 8 -10 сигнали від датчиків-реле рівня LS/8,9,10 з уніфікованим виходом у вигляді напруги 0-24 V DC, подаються на ПЛК, що дозволяє сформувати функції індикації та сигналізації LIS/8,9,10 на панелі оператора.

В контурах 11-13 сигнал від датчиків-реле тиску PS/11,12,13 з уніфікованим виходом у вигляді напруги 0-24 V DC, подається на ПЛК і дозволяє сформувати функції індикації та сигналізації PIS/11,12,13 на панелі оператора.

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

8.3. Розробка принципової електричної схеми керуванням електроприводом

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

кабель W2 та вимикач OB-Q1.

Місцеве керування електроживленням котушки контактора здійснюється від фази L1 завдяки використанню автоматичного вимикача Q2, кнопки Стоп S2 та кнопки Пуск S4. Перемикання в дистанційний режим здійснює перемикач S3. Керуючий сигнал від модуля DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) контролера формує проміжне реле K2, яке своїм контактом здійснює електроживлення котушки KM1.

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

8.4. Розробка принципової електричної схеми живлення

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

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

8.5. Розробка принципової схеми мережевих підключень

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

8.6. Розробка принципових електричних схем підключення до модулів ПЛК

До дискретних входів модуля DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0) по кабелях W 4, 5, що підключаються до клем SA-X1, подаються сигнали 0 або 24 V DC, які характеризують поточний стан апаратури керування електроприводами

M1, M2, що встановлена у силовій шафі і забезпечує локальне (місцеве) керування. Оскільки підключення електроприводів M3 – M5 аналогічне, то воно на схемі не показано.

По кабелям W12, W16, W17, що підключається до клем SA-X1, передаються сигнали від датчиків-реле тиску PS/11 - PS/13.

По кабелям W1, W3, W6, 8, що підключається до клем SA-X1, передаються сигнали від датчиків-реле рівня LS/8 - LS/10 та від датчика реле швидкості SS/15.

На дискретних виходах модуля DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0) формуються сигнали 0 або 24 V DC, які по кабелям W4, 5, 15, 18, що підключаються до клем SA-X1, передаються у силову шафу в схему керування електроприводами M1 – M5.

Модуль аналогових входів AI 4xU/I (6A7 1531-7KF00-7AB0) розміщується на на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора. До його аналогових входів за допомогою екранованих кабелів W10, 11, що під'єднуються до клем SA-X1, підключаються датчики сили струму і вологості з уніфікованим виходом 4...20 mA DC EY5, MY6.

Модуль аналогових виходів AO 4xU/I/6ES7 (6AG 1532-5HD00-7AB0) розміщується на на DIN-рейці 35 мм в шафі оператора. Аналогові виходи цього модуля формують сигнали 4...20 mA DC, які за допомогою кабелів W13, 14, що підключаються до клем SA-X1, передають сигнали керування на виконавчі механізми ECV5, MCV6.

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

8.7 Охорона праці при монтажі, налагодженні та експлуатації АСКТП

8.7.1 Загальні положення

Безпека праці при створенні та експлуатації систем автоматизації технологічних процесів повинна відповідати вимогам:

- Закону України «Про охорону праці»; НПАОП 0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»; НПАОП 0.00-1.32-01 «Правила техніки безпеки під час експлуатації електроустановок»; ДБН В.2.5-23:2010 «Електрообладнання будівель і споруд»; ДСТУ EN 60204-1:2018

«Безпечність машин. Електрообладнання машин»; ПУЕ (Правила улаштування електроустановок).

На кожному технологічному об'єкті для забезпечення нормальної експлуатації засобів автоматизації повинні бути затверджені робочі експлуатаційні інструкції та виконавчі схеми електричних і трубних з'єднань апаратури. Перелік інструкцій і схем затверджується головним інженером підприємства.

Пуск і експлуатація технологічного та енергетичного обладнання з несправними та відключеними КВПіА, системою технологічної захистів і пристроями необхідними для експлуатації обладнання в режимі ручного керування, забороняються. У процесі пуску і зупинки устаткування в режимі ручного керування необхідно стежити за проходженням відповідних операцій за показаннями контрольно-вимірювальних приладів. При порушенні встановленої послідовності, тривалості операцій і відхиленні параметрів від заданих слід негайно зупинити обладнання і повернути його в початковий стан.

Реле й засоби захисту, пристрої технологічної автоматики, а також прилади, за якими ведеться контроль за роботою обладнання повинні бути опломбовані. При необхідності проведення будь-яких робіт на панелях, в щитах і ланцюгах захисту і електроавтоматики умови ввімкненого основного обладнання слід вжити заходів обережності проти помилкових дій в результаті помилок персоналу. Виконання цих робіт без виконавчих схем (по пам'яті), а також без заданих обсягів і послідовностей операцій забороняється. Після проведення робіт у вторинних ланцюгах слід перевірити справність цих ланцюгів і правильність їх приєднання шляхом випробування пристрою (схеми) в дії безпосередньо або побічно.

Безпека обслуговуючого персоналу і сторонніх осіб повинна забезпечуватися шляхом застосування належної ізоляції, дотримання відповідних відстаней до струмоведучих частин або шляхом їх закриття, огороження застосування блокування апаратів, заземлення або занулення корпусів електроустаткування і елементів електроустановок, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції.

Монтажні ремонтні роботи в електричних мережах і пристроях або поблизу

них, також роботи по приєднанню і від'єднанню проводів повинні проводитися тільки при знятій напрузі.

Засоби автоматизації з джерелами електроенергії, які знаходяться під напругою або на які в будь-який момент може бути подана напруга, вважаються чинними електроустановками і на них поширюються правила по техніки безпеки. Слюсарно-монтажний інструмент з ізолюючими рукоятками, викрутки, кліщі, плоскогубці та ін. Широко застосовуються при роботах без зняття напруги в електроустановках напругою $\sim 220\text{В}$ / $\sim 380\text{В}$. В якості додаткових засобів захисту застосовуються діелектричні рукавички, діелектричні калоші і діелектричні килими.

Забороняється проводити на ходу, без зупинки машин і механізмів, чищення і змащення рухомих частин, ремонт і заміну окремих деталей.

Всі датчики повинні бути справними, мати чітке клеймо із зазначенням дати перевірки та опломбованими. Забороняється проведення ремонтних робіт на апаратах і комунікаціях, які знаходяться під тиском, на робочому і холостому ходу, наповнених робочими газами, парою, рідинами і т.д.

Перед ремонтом обладнання, механізмів, зчеплених з електродвигунами, обов'язково повинна бути розроблена електрична схема і вивішений попереджувальний плакат «Не включати, працюють люди!».

Перед ремонтом необхідно переконатися в наявності заглушок на вході і виході газу або рідини з обладнання і комунікацій. Заглушки встановлюють з хвостиками, щоб їх можна було бачити. Запобіжники в пристроях автоматики необхідно знімати тільки при відключеному напрузі. Кожен робітник повинен пам'ятати, що електричний струм небезпечний для життя: сила струму $0,1\text{А}$ - смертельна для людини.

Захисного заземлення підлягають металеві неструмоведучих частини електрообладнання, які внаслідок несправності можуть виявитися під напругою і до яких можливий дотик людей. При цьому в приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних, а також в зовнішніх пристроях заземлення обов'язково при номінальній напрузі вище 36 В змінного струму і 110 В постійного

струму. При напрузі 500 В і вище змінного і постійного струму заземлення обов'язково в усіх випадках, а у вибухонебезпечних приміщеннях захисне заземлення здійснюється при будь-яких напругах змінного і постійного струму.

Відповідно до типових правил пожежної безпеки організація пожежної безпеки покладається на керівників об'єктів, які зобов'язані:

- організувати на підвідомчих об'єктах вивчення і виконання типових правил усіма працівниками підприємства;
- організувати проведення протипожежного інструктажу і заняття з пожежно-технічного мінімуму;
- встановити у всіх приміщеннях підприємства строгий протипожежний режим і контролювати його дотримання;
- періодично перевіряти стан пожежної безпеки об'єкта, наявність і справність технічних засобів боротьби з пожежею.

Пожежну безпеку окремих підрозділів підприємства (цехів, лабораторій, майстерень, складів і т.п.) забезпечують їх безпосередні керівники, які зобов'язані:

- забезпечити дотримання на підпорядкованих їм ділянках встановленого протипожежного режиму;
- стежити за справністю виробничого обладнання та негайно вживати заходів до усунення несправностей, що призводять до пожежі;
- стежити за тим, щоб після закінчення роботи прибиралися спаленні відходи, відключалися електроприймачі;
- забезпечити постійну готовність до дії засобів пожежогасіння, зв'язку та сигналізації.

Усі робітники і службовці промислових підприємств проходять спеціальну протипожежну підготовку, яка складається з протипожежного інструктажу (первинного і повторного) і занять з пожежно-технічного мінімуму, що проводяться за спеціальною програмою.

Для кожного цеху, майстерні та інших об'єктів повинні бути розроблені протипожежні інструкції, погоджені з пожежною охороною підприємства або з місцевими органами державної пожежної охорони. У цих інструкціях

визначаються місця і порядок утримання засобів пожежогасіння, пожежної сигналізації і зв'язку; обов'язки працівників при виникненні пожежі, правила виклику пожежної команди, зупинки і відключення устаткування.

У приміщеннях і на території підприємства, як правило, куріння дозволяється тільки в спеціально відведених для цього місцях. Забороняється застосування відкритого вогню (паяльні лампи, факели та ін.) для обігрівання трубопроводів із замерзлими або застиглими рідинами. Забороняється захащувати підходи до технологічного устаткування, засобів зв'язку і пожежогасіння, а також проходи і виходи з приміщення.

На кожному об'єкті повинні бути схеми пожежного водопроводу із зазначенням місць встановлення пожежних кранів і гідрантів, місця їх установки повинні бути позначені спеціальними значками і написами «ПК» і «ПГ».

На підприємствах встановлюється електрична пожежна сигналізація, яка служить для швидкого сповіщення служби пожежної охорони про яка виникла пожежі в будь-якому приміщенні або спорудженні підприємства. Особливо небезпечні виробництва мають бути оснащені засобами автоматичного пожежогасіння: пінного, водяного, порошкового.

8.8 Висновки за розділом

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

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

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

РОЗДІЛ 9. ПОПЕРЕДНЄ ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТУ

9.1. Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації

В даному розділі дипломного проекту буде обґрунтована економічна доцільність впровадження варіантів розробленої системи автоматизації.

Вибір технічних засобів автоматизації та порівняння технічних характеристик різноманітних варіантів МП ядра САУ (Siemens) був виконаний у розділі №5 даного дипломного проекту. Для розрахунку економічних показників впровадження варіантів модернізованої АСУ будуть враховані ціни на придбання комплексу технічних засобів, датчиків температури, тиску, виконавчих механізмів та кабельної продукції.

Таблиця 9.1. – Витрати на придбання засобів автоматизації

№ п/п	Назва	К-ть	Ціна за одну одиницю з ПДВ,грн.	Загальна вартість з ПДВ,грн.
1	Simatic S7-300,CPU 313c-2DP в комплекті	1	20115	20115
2	Simatic S7-300,SM 334	1	5008	5008
3	Siemens Simatic S7 PC Adapter USB	1	312	312
4	Датчик температури ТСП/1-0879- 01	5	180	900
5	Манометр електроконтактний ЕКМ-1У	2	200	400
6	Виконавчий механізм Belimo NV24B	2	1500	3000
7	Фланцевий клапан H632R	2	1000	2000
8	Блок ручного управління,БРУ-7	2	450	900
Разом			29,765	33,635

Таблиця 9.2. – Рахунок на придбання засобів автоматизації

Найменування	Тип, марка	Кількість	Оптова ціна з ПДВ, грн.	
Комплекс техн. засобів	Siemens	1	-	33635
Комп'ютер	Базова комплектація	1	9700	9700
Всього:				43335

Стартові інвестиції в нову техніку розраховуються за формулою :

$IC_{\text{перв.}} = [(C_{\text{пр.}} + C_{\text{пр.}} * K_{\text{м}} + C_{\text{пр.}} * N_{\text{т.}} / 100 + C_{\text{пр.}} * N_{\text{тр.}} / 100) + (C_{\text{пр.}} + C_{\text{пр.}} * N_{\text{т.}} / 100 + C_{\text{пр.}} * N_{\text{тр.}} / 100) * N_{\text{зс}} / 100] = C_{\text{пр.}} / 1.165$, де $K_{\text{м}}$ – коефіцієнт на монтаж обладнання, $K_{\text{м}} = 0.1$; $N_{\text{т}}$ – норматив на тару та упаковку, $N_{\text{т}} = 0,25\%$;

$N_{\text{тр}}$ – норматив на транспортування обладнання, $N_{\text{тр}} = 5\%$, $N_{\text{зс}}$ – норматив заготувально-складські роботи, $C_{\text{зс}} = 1,2\%$

$$IC_{\text{перв}} = (C_{\text{пр.}} * (1 + 0,1 + 0,0025 + 0,05) + C_{\text{пр.}} * (1 + 0,0025 + 0,05) * 0,012) = 1,165 * C_{\text{пр.}} \quad (9.2)$$

Сумарні капітальні інвестиції, які підприємство повинне буде вкласти для впровадження засобів автоматизації, дорівнює сумі витрат на інтелектуальне ядро САР і витрат на придбання, монтаж і налагодження засобів автоматизації. Знайдемо суму первинних інвестицій для альтернативних варіантів реалізації системи регулювання:

$$IC_{\text{первSIEMENS}} = 1,165 * 43335,00 = 50485,3 \text{ (грн.)};$$

Модернізація системи автоматичного регулювання здійснюється за рахунок власних коштів підприємства.

Розрахунок витрат на виробництво продукції до і після модернізації системи управління.

Таблиця 9.3 – Вхідні дані для розрахунку ефективності впровадження системи автоматизації.

№	Параметри	Од. вим.	Значення
1	Об'єм соку, що віджимається за 1 рік	Л	1000670
2	Ціна за 1 л. соку	Грн.	20
3	Кількість браку до модернізації	%	6,0
4	Кількість браку після модернізації	%	4,0

Визначимо розмір браку до і після впровадження САР

$$Br_1 = OB_{\Gamma} * K_{br1} = 1000670 * 0,06 = 60040,2 \text{ л.} \quad (9.3)$$

$$Br_2 = OB_{\Gamma} * K_{br2} = 1000670 * 0,04 = 40026,8 \text{ л.} \quad (9.4)$$

Визначимо об'єм реалізованої продукції до і після впровадження САР.

$$OP_1 = (OB_{\Gamma} - Br_1) * \text{Цед.прд.} = (1000670 - 60040,2) * 20 = 18812596,00 \text{ грн.} \quad (9.3)$$

$$OP_2 = (OB_{\Gamma} - Br_2) * \text{Цед.прд.} = (1000670 - 40026,8) * 20 = 19212864,00 \text{ грн.} \quad (9.4)$$

Собівартість продукції до впровадження САР ПДТ, за даними підприємства, складає: $C_{п1} = 17500400,00$ грн. Після впровадження САР собівартість продукції збільшиться та розраховується за формулою:

$$C_{п2} = C_{п1} + \Delta Z_a \quad (9.4)$$

Засоби автоматизації відносяться до 4 групи основних фондів підприємства, для яких норматив амортизаційних обчислень дорівнює 15%

($H_a = 15\%$) в квартал, а річний норматив дорівнює 50%.

$$\Delta Z_a \text{SIEMENS} = IC_{\text{перв}} WAGO * H_a = 50485,3 * 0,5 = 25242,6 \text{ грн.} \quad (9.6)$$

$$C_{п2}(\text{SIEMENS}) = 17500400,00 + 25242,6 = 17525642,64 \text{ грн}$$

Визначимо прибуток до і після впровадження САР

$$П_1 = OP_1 - C_{п1} = 18812596,00 - 17500400,00 = 1312196,00 \text{ грн.} \quad (9.7)$$

$$П_2 = OP_2 - C_{п2} \quad (9.8)$$

$$П_2(\text{SIEMENS}) = 19212864,00 - 17525642,64 = 1687221,36 \text{ грн.}$$

Визначимо приріст прибутку, отриманий після впровадження САР ПДТ

$$\Delta П = П_2 - П_1 \quad (9.9)$$

$$\Delta П(\text{SIEMENS}) = 1687221,36 - 1312196 = 375025,36 \text{ грн.}$$

Розрахунок зміни основних показників діяльності підприємства, джерел

інвестування і інвестиційної привабливості

$$\text{Рентабельність} = \text{Прибуток} / \text{Собівартість} * 100\% ; \quad (9.10)$$

Таблиця 9.4 – Економічні показники.

Показники	До авт.	Після авт.	Відхилення
1.Обсяг реалізованої продукції,грн.	18812596,00	19212864,00	400268
2.Повна собівартість,грн.	17500400,00	17525642,64	25242,64
3.Прибуток від реалізації,грн.	1312196	1687221,36	375025,36
4.Рентабельність,%	7,5	9,6	2,1

Приріст чистого прибутку розраховується за формулою :

$$\Delta \text{ЧП} = (\Delta \text{П} - \Delta \text{З}_a) * (1 - \text{Н}_\text{п}) \quad (9.11)$$

$$\Delta \text{ЧП}(\text{SIEMENS}) = (375025,36 - 25242,6375) * 0,81 = 349782,72 \text{ грн.}$$

$\text{Н}_\text{п}$ – податок на прибуток (19%)

Чистий грошовий потік розраховується за формулою: $\text{ЧГП} = \Delta \text{ЧП} + \Delta \text{З}_a$ (9.12)

$$\text{ЧГП}(\text{SIEMENS}) = 349782,7225 + 25242,6375 = 375025,35 \text{ грн.}$$

9.2 Висновки за розділом

На підставі виконаних розрахунків встановлено, що запропонований проєкт є інвестиційно привабливим: чистий прибуток за період реалізації становить 349 782,72 грн., а чистий грошовий потік є додатнім і дорівнює 375 025,35 грн., що підтверджує економічну доцільність модернізації системи автоматизації.

ВИСНОВКИ

У межах дипломної роботи виконано дослідження та проєктування системи автоматизованого керування лінією первинної переробки винограду. За результатами аналізу технологічної ділянки встановлено поточний рівень автоматизації, виявлено характерні недоліки та обґрунтовано необхідність модернізації САК для підвищення ефективності й надійності керування.

Побудовано концептуальну модель об'єкта керування, виконано структурну та параметричну ідентифікацію математичних моделей, а також реалізовано їх у середовищі імітаційного моделювання для перевірки адекватності отриманих результатів.

Проведено параметричний і структурний синтез системи автоматичного регулювання, виконано порівняльний аналіз альтернативних варіантів САР та визначено оптимальне рішення з урахуванням динамічних і якісних показників.

Розроблено алгоритми логічного керування технологічними режимами: пуском, зупинкою та аварійним відключенням. Обґрунтовано вибір засобів збору даних і реалізації керуючих впливів, сформовано структуру контролерно-комп'ютерної мережі, виконано параметризацію обладнання та розроблено програмне забезпечення для логічного керування і регулювання.

Окрему увагу приділено розробці SCADA-системи для автоматизованого робочого місця технолога: створено екрани візуалізації, налагоджено обмін даними між контролером і панеллю оператора, а також проведено тестування функціонування системи.

На завершальному етапі підготовлено фрагменти ескізної проєктної документації, зокрема схему автоматизації, електричні принципові схеми, документацію щита керування та інтерфейсів оператора.

За підсумками роботи сформовано комплексне рішення з модернізації системи автоматизації процесу пресування виноградної сировини. Економічний аналіз підтвердив доцільність модернізації САК шнекового преса ВПНД-10: термін окупності не перевищує одного року, а чистий дохід є позитивним.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 3008:2015 Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. Київ, ДП УкрНДНЦ, 2016. 31 с.
2. Хобін В. А. Конспект лекцій з курсу "Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів" [Електронний ресурс] : для студентів, які навчаються за спец. 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навчання / В. А. Хобін ; відп. за вип. В. А. Хобін ; Каф. автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем. — Одеса : ОНАХТ, 2016. — Електрон. текст. дан.: 96 с.
3. Хобін В.А., Світий І.М. Теорія автоматичного керування: Посібник до виконання комплексної курсової роботи. Одеська національна академія харчових технологій, 2020. – 277 с.
4. Муратов В. Г. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади[Текст] : навч. посіб./ В. Г. Муратов. — Вид. 2-ге, допов. — Київ : Освіта України, 2016. — 364 с.
5. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студ. напряму 6050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та за-очної форм навчання. – К.: НУХТ, 2011. – 68 с.
6. Автоматизація виробничих процесів [Текст] : підручник / І. В. Ельперін, О. М. Пупена, В. М. Сідлецький, С. М. Швед ; Нац. ун-т харч. технологій. — Вид. 2-ге, випр. — Київ : Ліра-К, 2017. — 378 с. — Бібліогр.:с. 376-377.
7. Трегуб Віктор Григорович Проектування систем автоматизації[Текст] : навч. посіб. / В. Г. Трегуб ; Нац. ун-т харч. технологій. — Київ :Ліра-К, 2017. — 344 с. : табл., рис. — Бібліогр.: с. 341.
8. Муратов В.Г. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади. Навчальний посібник. Видання 2-е, доповнене. Київ. Освіта України. 2016. 362с.
9. Муратов В.Г. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з курсу «Метрологія, технологічні вимірювання та прилади» для студентів проф. напрямку підготовки 6.050202 усіх форм навчання. Укладач В.Г. Муратов - Одеса. ОНТУ. 2022 - 22с.

ДОДАТОК А Документація до схеми автоматизації
Таблиця А – Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації

Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>Прилади за місцем</u>		
EY/6	Датчик сили струму ACPM-50/100/150	1	
MY/7	Датчик вологості Hydro-Mix XT	1	
LS/8-9	Реле рівня соку Denil CLM 36-10	2	
LS/10	Реле рівня оливи EASYTREK SP 500	1	
PS/11, 12	Реле тиску соку перед насосом Danfoss KP44	2	
PS/13	Реле тиску оливи F4SP1/M3 1-12 БАР Fox	1	
SS/15	Реле швидкості обертання DIA2010-ZROA/50-3000 I/MIN	1	
ECV/6	Шлангова засувка серії V850 Ду20-400 з електричним приводом AUMA	1	
MCV/7	Регулюючий клапан ADCA EV16/2i з електричним приводом	1	
	<u>Прилади у шафі оператора</u>		
EC/ 6 MC/7 KS/1... KS/5	Центральний процесор CPU 1513 1 PN	1	
HIS/1... HIS/7	Панель оператора TP1900 Comfort 6VA2 124 OUC02-0AX1	1	
HS/1... HS/5	Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем 1NO Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	5	
	Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією, 1NO+1NC Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	5	

ДОДАТОК Б Документація до принципів електричних схем
Таблиця Б1 – Попередній перелік обладнання до принципової електричної
схеми

Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
	Електропривід		
Q1	Автомат захисту двигуна Schneider Electric GV3P65	1	
KM1	Контактор Schneider Electric LC1E65M5	1	
K2	Проміжне реле Schneider Electric Zelio Relay 4CO, 24В DC, 6А, LED (RXM4AB2BDPVS)	1	
S4	Кнопка, 22мм, зелена, з тримачем 1NO Siemens: 3SU1100-0AB40-1BA0	1	
S3	Поворотний перемикач, О-І, з фіксацією, 1NO+1NC Siemens: 3SU1100-2BF60-1MA0	1	
S2	Кнопка 22 мм, кругла, пластикова, 1 червона, без фіксації, 1H3 Siemens: 3SU1100-0AB20-1CA0	1	
H1	Індикатор світловий, метал, 24V AC / DC, Білий Siemens: 3SU1132-0AD60-3AA0	1	
	Схема живлення		
Q4	Автоматичний вимикач Siemens: 5SL6210-6	1	
USB	Smart-UPS LogicPower-1000 PRO	1	
G1, G2	PS 60W 24/48/60VDC (6ES7505-0RA00-0AB0)	2	
Q5	MITSUBISHI CP-S-2P-0.05A	1	
F2, F3	TELEMECANIQUE ABE7FU630	2	
	<u>DI</u>		
PLC1	DI 16x24VDC BA (6ES7521-1BH10-0AA0)	1	
F1	Запобіжник 50F, 1А, 5x20мм K206: 10921	1	
LS/8-9	Реле рівня соку Denil CLM 36-10	2	
LS/10	Реле рівня оливи EASYTREK SP 500	1	
PS/11, 12	Реле тиску соку перед насосом Danfoss KP44	2	

PS/13	Реле тиску оливи F4SP1/M3 1-12 БАР Fox	1	
SS/15	Реле швидкості обертання DIA2010- ZROA/50-3000 I/MIN	1	
	<u>DO</u>		
PLC2	модуль DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7522-1BH10-0AA0)	1	
F2	Запобіжник 50F, 1A, 5x20мм K206: 10921	1	
	<u>AI</u>		
PLC3	Модуль AI 4xU/I (6ES7 531-7QD00- 0AB0)	1	
EY/6	Датчик сили струму АСРМ- 50/100/150	1	
MY/7	Датчик вологості Hydro-Mix ХТ	1	
	<u>АО</u>		
PLC4	Модуль АО 4xU/I/6ES7 (532-5HD00- 0AB0)	1	
ECV/6	Шлангова засувка серії V850 Ду20- 400 з електричним приводом AUMA	1	
MCV/7	Регулюючий клапан ADCA EV16/2i з електричним приводом		



