

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	<u>Автоматизації та робототехніки</u>
Кафедра	<u>Автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем</u>
Ступінь вищої освіти	<u>Бакалавр</u>
Спеціальність	<u>151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології</u>
Освітньо-професійна програма	<u>Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. зав. кафедри АТПіРС
В.М. Левінський

«23» листопада 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувач Арістов Максим Анатолійович

1. Тема роботи «Автоматизація процесу керування випіканням хлібобулочних виробів у тунельній печі»
2. Керівник кваліфікаційної роботи Мазур Олександр Васильович, к.т.н. доцент
Пункти 1 і 2 затверджені наказом ОНТУ № 603-03 від 19.10.23 р.
3. Строк подання здобувачем випускної кваліфікаційної роботи «11» червня 2024 р.
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали індивідуальних завдань виробничої і переддипломної практик, курсових і самостійних робіт.
5. Зміст кваліфікаційної роботи (розділи, які потрібно розробити):
Розділ 1. Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів та існуючого рівня автоматизації керування ними. Виявлення потенційних джерел економічної ефективності і конкретизація задачі модернізації САК
Розділ 2. Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання.
Розділ 3. Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САК.
Розділ 4. Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом.
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	Мазур О.В., доц. каф. АТПіРС		
Розділи 2, 3	Жигайло О.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 4	Світий І.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 5	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 6	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 7	Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 8	Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС		
Розділ 9	Савенко І.І., проф. кафедри МіЛ		

7. Дата видачі завдання 04 грудня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер розділу	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Розділ 1	«04» березня 2024 р.	
Розділ 2	«18» березня 2024 р.	
Розділ 3	«01» квітня 2024 р.	
Розділ 4	«15» квітня 2024 р.	
Розділ 5	«29» квітня 2024 р.	
Розділ 6	«13» травня 2024 р.	
Розділ 7	«27» травня 2024 р.	
Розділ 8	«03» червня 2024 р.	
Розділ 9	«10» червня 2024 р.	

Здобувач Арістов М.А.

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 Арістов М.А.

Прізвище, ініціали

Підпис

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра Арістова Максима Анатолійовича «Автоматизація процесу керування випіканням хлібобулочних виробів у тунельній печі» викладена на 200 сторінках, кількість таблиць 24, рисунків – 168, додатків - 3, джерел з переліку посилань - 37.

Ключові слова: автоматизація, випічка хлібу, тунельна піч, математична модель, об'єкт керування, система автоматичного керування, імітаційне моделювання, програмований логічний контролер, АРМ оператора, принципова електрична схема.

Об'єкт розробки – система автоматичного керування процесом випіканням хлібобулочних виробів у тунельній печі.

Мета роботи – підвищення техніко-економічних та екологічних показників функціонування назва технологічного процесу, які досягаються за рахунок підвищення динамічної точності контурів САК, зниження числа аварійних ситуацій та браку, покращення взаємодії з оператором-технологом.

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

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

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць	9
Вступ.....	10
1 Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів 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 Аналіз існуючого рівня автоматизації ділянки ТП.....	23
Оцінка існуючого рівня реалізації функції регулювання	23
1.3 Аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко-економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК	27
2 Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання	30
2.1 Розробка структурної (координатної) схеми об'єкта керування	30
2.2 Ідентифікація (розробка моделей) каналів перетворення об'єкта регулювання... ..	31
2.3 Ідентифікація моделей збурень об'єкту керування.....	36
2.4 Реалізації моделей у середовищі імітаційного моделювання і підтвердження їх відповідності експериментальним даним.....	40
3 Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САК	54
3.1 Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом	54
3.2 Параметричний синтез і аналіз САК базової структури.....	58
3.3 Синтез і аналіз САК підвищеної динамічної точності.....	74

4 Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом	83
4.1 Аналіз існуючого рівня реалізації функцій логічного (логіко-програмного) керування технологічним агрегатом та модернізація комплексу технічних засобів для автоматизації цих функцій	83
4.2 Формалізація регламентів функціонування технологічного агрегату при технологічному пуску, технологічній зупинці, блокуванню передаварійних ситуацій та при аварійній зупинці технологічного процесу у вигляді блок-схем та їх опис	85
4.3 Розробка алгоритмів автоматичного керування: технологічним пуском та зупинкою, блокуванню передаварійних ситуацій та аварійної зупинки технологічного агрегату у вигляді блок-схем та їх опис	89
4.4 Розробка функціональної логічної схеми процесу керування технологічним агрегатом, з використанням типових символічних позначень логічних елементів, та її детальний опис	93
4.5 Імітаційне моделювання системи логічного керування.....	95
4.6 Висновки за розділом.....	101
5 Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі..	102
5.1 Характеристики середовища для вибору технічних засобів автоматизації та місць їх розміщення	102
5.2 Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання.....	107
5.3 Вибір технічних засобів реалізації керуючих дій на технологічний процес і керування обладнанням	114
5.4 Вибір альтернативних варіантів технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі.....	120

6	Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК.....	130
6.1	Програмне конфігурування контролера та параметризація технічних засобів.....	130
6.2	Програмна реалізація алгоритмів регулювання та їх тестування на моделі ОК.....	133
6.3	Програмна реалізація алгоритмів логічного керування.....	135
6.4	Розробка підсистеми взаємодії автоматизованого робочого місця та мережі контролерів за допомогою OPC-сервера	140
7	Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК.....	143
7.1	Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога	143
7.2	Розробка екранів АРМ оператора-технолога	144
7.3	Конкретизація функцій і структури екранів АРМ наладчика САК.....	156
7.4	Розробка екранів АРМ наладчика САК.....	157
8	Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони праці.....	159
8.1	Опис основних технічних рішень із побудови САК та склад документації її технічного забезпечення.....	159
8.2	Розробка схеми автоматизації та специфікацій на технічні засоби системи..	160
8.3	Розробка принципових схем	161
8.4	Розробка схем живлення.....	163
8.6	Розробка монтажних схем або таблиць з'єднань у щиті оператора	167
8.7	Розробка схем або таблиць з'єднань зовнішніх електричних і трубних проводок та компонування робочого місця оператора-технолога.....	167
8.8	Охорона праці.....	168
9	Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК.....	172

9.1 Розрахунок капітальних вкладень (інвестицій) на модернізацію системи автоматизації тунельної печі на базі ППЦ 1.....	172
9.2 Розрахунок поточних витрат при роботі базового та нової системи автоматизації.....	173
9.3. Розрахунок показників виробничої діяльності підприємства	178
9.4 Розрахунок економічної ефективності запровадження результатів дослідження.	179
Висновки	181
Список літератури	183
Додатки.....	187
Додаток А Документація до схеми автоматизації	187
Додаток Б Документація до принципової електричної схеми контролю та керування.....	188
Додаток Д Таблиці з'єднань та принципові схеми	189

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ

ОР – об'єкт регулювання

ОК – об'єкт керування

ТП – технологічний процес

ВП – випадковий процес

САК – система автоматичного керування

ПЗО – програмно-задаткове обладнання

КЗ – коригуючий зв'язок

АРМ – автоматизоване робоче місце

ЗА – засоби автоматизації

ПЕС – принципова електрична схема

ВСТУП

Задача автоматизації керування технологічним процесом випікання хлібобулочних виробів у тунельній печі є актуальною, оскільки дозволяє підвищити його ефективність за рахунок удосконалення та розвитку алгоритмів та застосування сучасних технічних засобів в системі автоматичного керування (САК).

Одним із стратегічних напрямів розвитку сфери виробництва економік усіх країн є підвищення її ефективності. Це завдання стає особливо актуальним в умовах сучасного етапу світового науково-технічного прогресу, коли розвиток мікроелектроніки, мікропроцесорної техніки та інформаційних технологій створили цифрову основу для розробки та реалізації автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП). Ця цифрова основа надає АСУТП необмежені обчислювальні ресурси для розвитку алгоритмів всіх рівнів ієрархії управління, що дозволяє значно розширити та поглибити розв'язувані завдання. В результаті, автоматизація стала найдешевшим і швидкоокупним засобом підвищення ефективності існуючих технологічних процесів, причому без змін їхньої техніки та технологій.

Актуальність задачі підвищення ефективності функціонування обраної ділянки загального технологічного процесу (ТП), що реалізується технологічним агрегатом (ТА), зумовлена необхідністю удосконалення системи автоматичного керування (САК). Ефективність функціонування обраної ділянки ТП включає такі складові, як зменшення витрат енергії, підвищення якості продукції, зниження простою та збільшення продуктивності. Принципова можливість кількісної оцінки цих складових на етапі розробки САК є важливою для визначення подальших напрямів удосконалення.

Потенційні джерела економічної ефективності включають зниження браку та витрат на обслуговування та ремонт обладнання, оптимізацію використання ресурсів та підвищення точності управління технологічними процесами. Для даного ТП доцільними напрямами розвитку САК є покращення алгоритмів та підвищення динамічної точності.

Принципи вибору технічних та програмних засобів автоматизації для реалізації САК базуються на аналізі характеристик середовища, де будуть розміщатися засоби автоматизації, а також на вимогах з електробезпеки для роботи з ними обслуговуючого персоналу. Необхідно враховувати ергономічні вимоги щодо роботи з приладами, зручність та безпеку обслуговування електроустановок.

Розвиток технічних засобів, насамперед використання промислових контролерів, дозволяє реалізувати додаткові алгоритми регулювання, а також алгоритми пуску та зупинки технологічного обладнання, алгоритми блокування виникнення можливих аварійних ситуацій. Використання панельних комп'ютерів дозволяє створити робочі місця оператора-технолога та наладчика САК. Це дає можливість швидшого адаптування до зміни умов проведення ТП та покращення якості управління процесом випікання.

Застосування сучасних промислових контролерів і програмних рішень, таких як SCADA-системи, забезпечує можливість моніторингу та управління процесом випікання в режимі реального часу. Це дозволяє не тільки своєчасно реагувати на зміни умов, але й запобігати виникненню аварійних ситуацій, що покращує загальну безпеку виробництва та знижує втрати продукції.

В цілому, удосконалення та розвиток САК потребують значно менших затрат у порівнянні із заміною або модернізацією технологічного обладнання. Крім того, впровадження автоматизованої системи управління дозволяє підвищити продуктивність праці, знизити витрати на енергоресурси та забезпечити стабільну якість продукції. Таким чином, автоматизація процесу керування випіканням хлібобулочних виробів у тунельній печі є важливим кроком до підвищення ефективності та конкурентоспроможності підприємства.

1 Опис ділянки технологічного процесу, його агрегатів 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

Історія промислового хлібопечення в Одесі є однією з найдавніших на території України. Одеська випічка завжди славилася своєю індивідуальністю, особливим неповторним смаком, незвичайністю форм. Лідером у всіх технологічних розробках, хлібних новинках та законодавцем смакових уподобань в Одесі завжди була ТМ «Одеський коровай» на базі хлібозаводу № 4. На ньому було придумано та запущено у виробництво хліб Обідній, хліб Переяславський та бублик Український, який не має прямого аналога досі, а ТМ «Одеський коровай» знали по всій Україні та за її межами [1].

ТОВ «Одеський коровай» - один з найбільших промислових виробників хлібобулочної продукції в Україні, виробнича потужність якого дозволяє випускати до 200-220 т продукції на добу. До складу підприємства входять 2 виробничі майданчики розташовані в м. Одеса (№ 2 і № 4), а також виробничі майданчики в м Білгород-Дністровський (№ 3) та Котовськ (№1) [2].

У 2004-2007 роках на хлібозаводах «Одеського короваю» була проведена масштабна реконструкція та модернізація, встановлено нове сучасне автоматизоване обладнання таких світових виробників, як: GOSTOL-goran (Словенія), FRITSCHE і WERNER PFLEIDERER (Німеччина), UNIKON і NOBA (Голландія), DIOSNA (Німеччина), GLIMEK (Швеція), GEORG HARTMANN (Німеччина), KONIG (Австрія), ULMA (Іспанія). Це дозволило підприємству не тільки підвищити якість, а й розширити асортимент принципово новими для українського ринку виробами.

Наприклад, «Одеський коровай» одним з перших на українському ринку почав виробляти житній хліб за голландською технологією, круасани за французькою

технологією, недопечені хлібобулочні напівфабрикати з подальшим допіканням в місцях торгівлі.

ТОВ «Одеський коровай» - це одне з перших підприємств в хлібопекарській галузі, яке отримало сертифікат на відповідність міжнародним стандартам управління якістю ISO-9001, версія 2000 року.

У 2008 році з нагоди річниці з дня заснування «Одеського короваю» компанія відкрила перший в Україні музей хліба. Музей відкритий для всіх бажаючих ознайомитися з історією хліба.

Важливо відзначити, що на підприємстві діє окрема служба, яка відстежує тенденції на ринку і розробляє нові вироби, власна сертифікована і обладнана лабораторія, висококваліфіковані та досвідчені фахівці.

Різноманітність асортименту, висока якість дозволило підприємству значно розширити географію реалізації продукції. Сьогодні «Одеський коровай» реалізує свої вироби не тільки в Одесі, Одеській області, а й в Миколаївській, Херсонській областях.

«Одеський коровай» піклується не тільки про те, щоб провести якісну і смачну продукцію, а й своєчасно доставити її в торгівлю. Підприємство має власний спеціалізований автопарк, який щорічно поповнюється новими автомобілями для доставки хліба та здоби.

Крім того, «Одеський коровай» має власну фірмову торговельну мережу, представлену сучасними магазинами і торговими павільйонами. У фірмовій торговельній мережі, розташованій в Одесі і Одеській області, завжди представлений широкий асортимент хлібобулочної продукції підприємства, а досвідчені і підготовлені продавці допоможуть підібрати вироби на будь-який смак та уподобання.

Продукція «Одеського короваю» неодноразово була визнана кращою, як покупцями, так і професіоналами і удостоєна багатьох нагород на міжнародних конкурсах.

Хлібозавод розташований на одному майданчику площею 2,86 га в південно-західній частині міста. Територія заводу обмежена: з півночі і заходу - житлової зони

будинків і ринком «Черьомушки», зі сходу - вул. Космонавтів та парком ім. Горького, з півдня - вул. Генерала Петрова.

Метою діяльності підприємства є насичення внутрішнього українського ринку високоякісною продукцією, товарами та послугами, а також отримання прибутку від здійснення фінансово-господарської діяльності в інтересах учасників і забезпечення високого рівня життя і роботи акціонерних товариств.

Суть технологічного процесу випічки - це цілеспрямоване перетворення матеріальних (сформованого тіста) і енергетичних (підведення тепла) потоків у спеціальному технологічному обладнанні (хлібопекарській печі) з метою отримання готової продукції (хлібобулочних виробів) із заданими властивостями, тобто показниками якості [3]. У процесі випічки хліба еластичність, міцність структури і сухість його м'якушки підвищується спочатку в шарах, що прилягають до кірки, а потім поступово і у центрі буханки. Технологічна схема процесу приведена на рис.1.1.

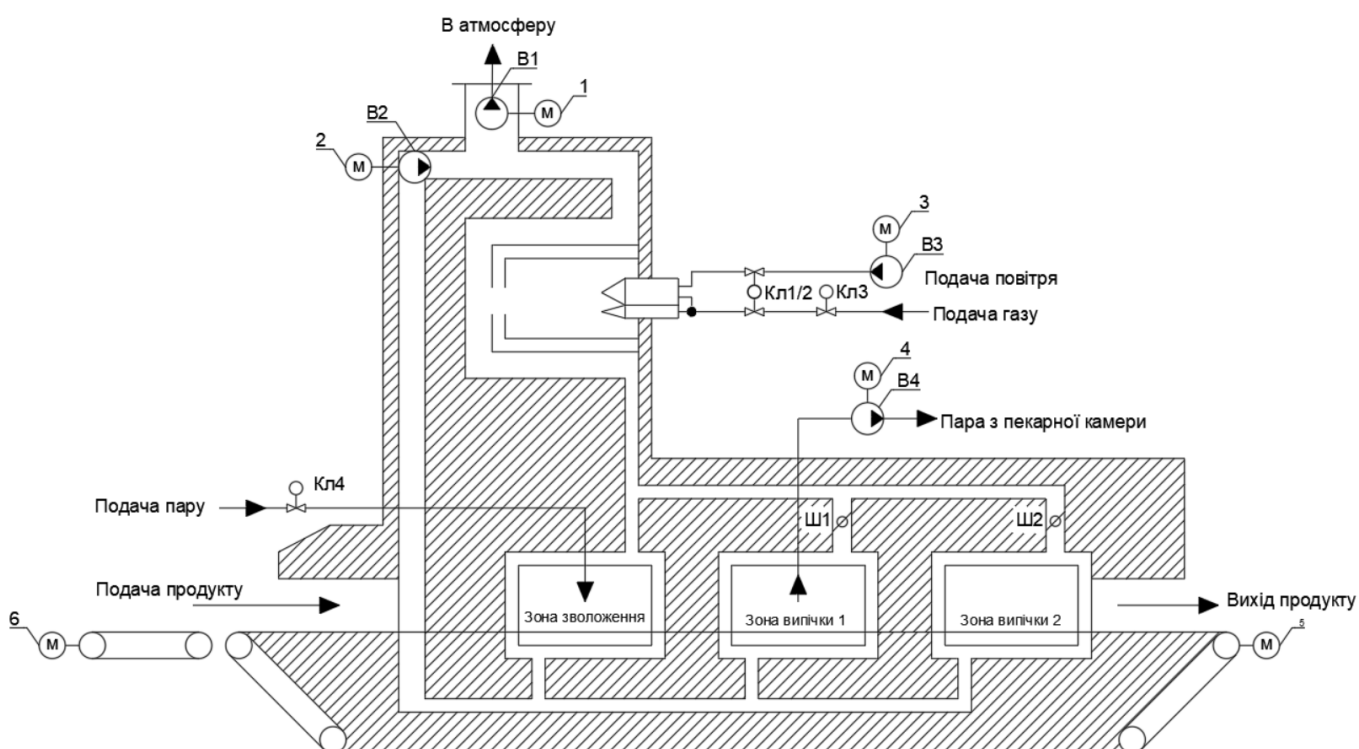


Рисунок 1.1 – Технологічна схема процесу випічки в тунельній печі

Робочий об'єм пекарної камери прийнято розділяти на основні зони, що мають характерні температурні режими й тривалість перебування в них: зона парозволоження, зона інтенсивного обігріву, зона допікання. В якості об'єкту

дослідження було розглянуто теплові процеси в зонах інтенсивного обігріву та допікання. В якості апаратної реалізації процесу розглядалося хлібопекарська піч тунельного типу ППЦ1 [4].

Предметом дослідження була побудова системи автоматичного регулювання, що забезпечувала задані теплові режими процесу випічки хліба в означених зонах печі.

Методи дослідження. Для побудови системи автоматичного регулювання (САК) було проведено ідентифікацію математичної моделі печі, як об'єкту керування (ОК) методами активного та пасивного експерименту, метод типової статистичної ідентифікації, методики двох загальних точок для ідентифікації моделей каналів ОК 1-го та 2-го порядку [5, 6]. Синтез САК проводився за інженерними методиками та методом оптимального параметричного синтезу. Аналіз САК проводився на відповідність гранично припустимих вимогам, за прямими та інтегральним показниками якості, на грубість (робастність) САК в умовах дії детермінованих та стохастичних збурень.

Зони пекарської камери, що розглядалися в роботі мають свої характеристики температури і часу перебування в ній:

1. Зона інтенсивного обігріву. Цей етап випічки (приблизно 10 хвилин) відрізняється зміною об'єму виробів та збільшенням швидкості випаровування вологи. Температура в середовищі пекарської камери тут зазвичай становить 200–300°C. Цей етап завершується, коли форма виробу зафіксована, а температури середини м'якушки, верхньої та нижньої кори стають відповідно 50–65°C, 115–135°C та 135–155°C.

2. Зона допікання. Випічка в цій зоні триває близько 24 хвилин, а температура в середовищі пекарської камери зазвичай коливається від 130 до 200°C. У цей період досягаються такі температури: в середині м'якушки 98°C, у верхній корі 115°C, у нижній корі 120°C.

Тунельна піч, яка широко використовується в пекарнях для приготування хліба і булочних виробів, має певну конструкцію, що включає наступні складові: головний затвор теплоносія, фланець для підключення центральної витяжки, головний затвор

пари, затвор для відведення конденсату і клемник для пульта управління, який забезпечує живлення електричною енергією.

Сама камера печі має форму тунелю, по якому рухається сіткова стрічка з виробами, призначеними для випічки. Верхня і нижня частина тунелю обладнані радіаторами для нагрівання. Опалювальний простір пропускає продукти згоряння і складається з опалювальних радіаторів, змішувальної камери, розподільних каналів і колекторів. Опалювальні радіатори передають тепло виробам у пекарній камері. Зовнішній вигляд тунельної печі приведено на рис 1.2.

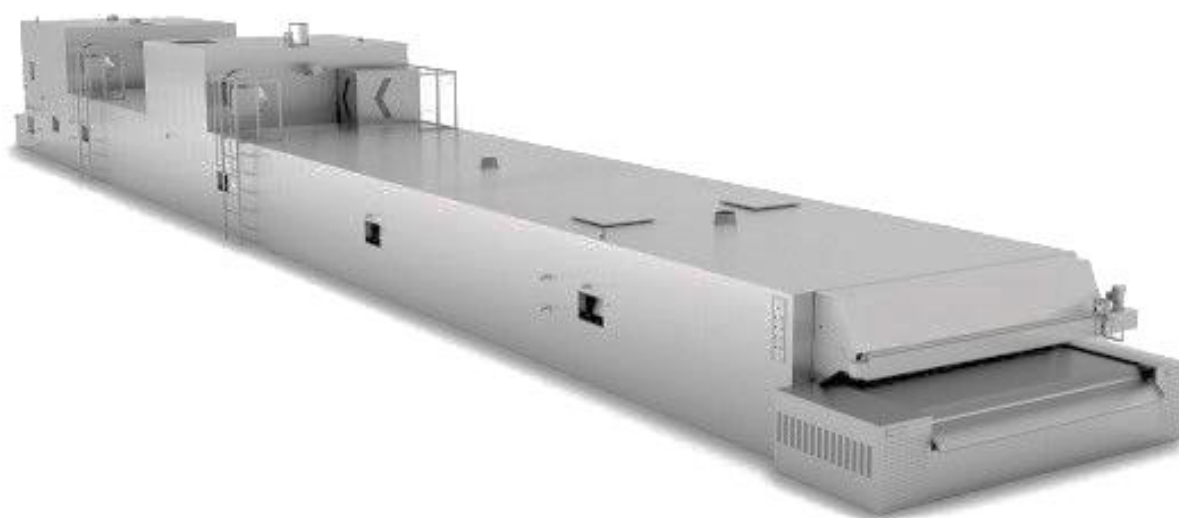


Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд тунельної печі для випічки хліба

Камера змішувача виконує функцію акумулятора гарячих продуктів згоряння і одночасно забезпечує повне змішування свіжих продуктів згоряння з охолодженими рециркуляційними газами. Колектор відіграє роль збірника охолоджених продуктів згоряння. Розподільні канали направляють гарячі продукти згоряння до опалювальних радіаторів, тоді як зграєві (поворотні) канали відводять охолоджені продукти згоряння від нагрівальних радіаторів.

Камера пальників - це простір, що складається з камери згоряння і зовнішнього кожуха. Між зовнішнім кожухом камери пальників та кожухом камери згоряння протікають зворотні продукти згоряння, які одночасно охолоджують обшивку камери згоряння. Камера згоряння - це простір, де відбувається спалювання палива в

присутності повітря. Гореломний камінь - це вогнетривкий вкладиш, поверхня якого розпечена для покращення згорання суміші газу або розпорошеного масла з повітрям.

Несуча рама - це сталева конструкція, в якій розміщені опалювальні радіатори та інші складові печі. Вона також служить для підвішування зовнішнього кожуха печі. Подовження печі - це спеціальна рама, розташована між входом в піч і несучою рамою печі, яка дозволяє автоматично розміщувати вироби на стрічці. Зовнішній кожух печі - це обшивка з листової сталі. Загальний конденсаційний горщик - це пристрій для відведення конденсованих парів з суміші газоподібних продуктів згорання і продуктів випічки, які конденсуються на внутрішній поверхні.

Ізоляція - це захід для зниження теплових втрат від випромінювання, який здійснюється за допомогою відповідного теплоізоляційного матеріалу, наприклад, мінеральної вати. Цей матеріал не горить, витримує високі температури до 700 °C і зберігає свої теплоізоляційні властивості протягом тривалого часу. Максимальна температура поверхні кожуха печі не повинна перевищувати 40 °C, а верхні частини пальників 60 °C. Максимальна температура кожуха печі порівнюється з температурою навколишнього середовища печі (на відстані 1 м від печі приймається 25 °C).

Циркуляційний вентилятор - це пристрій, що забезпечує примусову циркуляцію продуктів згорання в системі опалення і одночасно підтримує розрідження у всій системі опалення. Робоча характеристика цього вентилятора знаходиться в області розрідження, а його функцію забезпечує вакуумний вимикач. У випадку зменшення розрідження у всмоктуючому патрубку циркуляційного вентилятора нижче встановленої величини, подача тепла автоматично припиняється за допомогою автоматичного блокування пальника, що запобігає пуску пальника.

Вентилятор вимушеної відстрочки продуктів згорання забезпечує стабільні тягові відношення відтягнення продуктів згорання. Його робочі параметри можна регулювати за допомогою дросельної заслінки у впускному трубопроводі, а функція захищена датчиком контролю числа обертів валу вентилятора. У випадку зупинки обертання валу автоматично припиняється подача тепла завдяки автоматичному блокуванню пальника.

Вентилятор вимушеної відстрочки вторинних парів призначений для оптимального розподілу кількості парів, які відсмоктуються з різних термічних зон пекарської камери. Він також відводить вторинні пари через один головний відведення, що є спільним з відведенням продуктів згоряння. Робоча характеристика цього вентилятора також знаходиться в області розрідження.

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

Таких як:

- Забезпечення наявності достатнього запасу тістових заготовок на 1 годину роботи, щоб забезпечити неперервність виробництва.

- Забезпечення тиску пари в паропроводі на рівні не менше 0,2 МПа для ефективного функціонування обладнання та забезпечення необхідних температурних режимів.

- Обмеження питомих витрат енергії на одиницю продукції до нормативних значень для забезпечення економічності виробництва.

- Дотримання гранично-припустимих режимів роботи технологічного обладнання для запобігання його перевантаження та забезпечення тривалого й безперебійного функціонування.

- Мінімізація шкідливого впливу технологічного процесу на здоров'я людини та довкілля, не допускаючи перевищення нормативних значень викидів та інших негативних наслідків.

Технологічний процес випічки хлібом є тепловим процесом, пов'язаним з подачею тепла до зони випічки. Важливою умовою нормального функціонування технологічного процесу є постійна підтримка заданої температури. Проведемо параметризацію технологічної схеми. Результати параметризації наведені на рис. 1.3 [7].

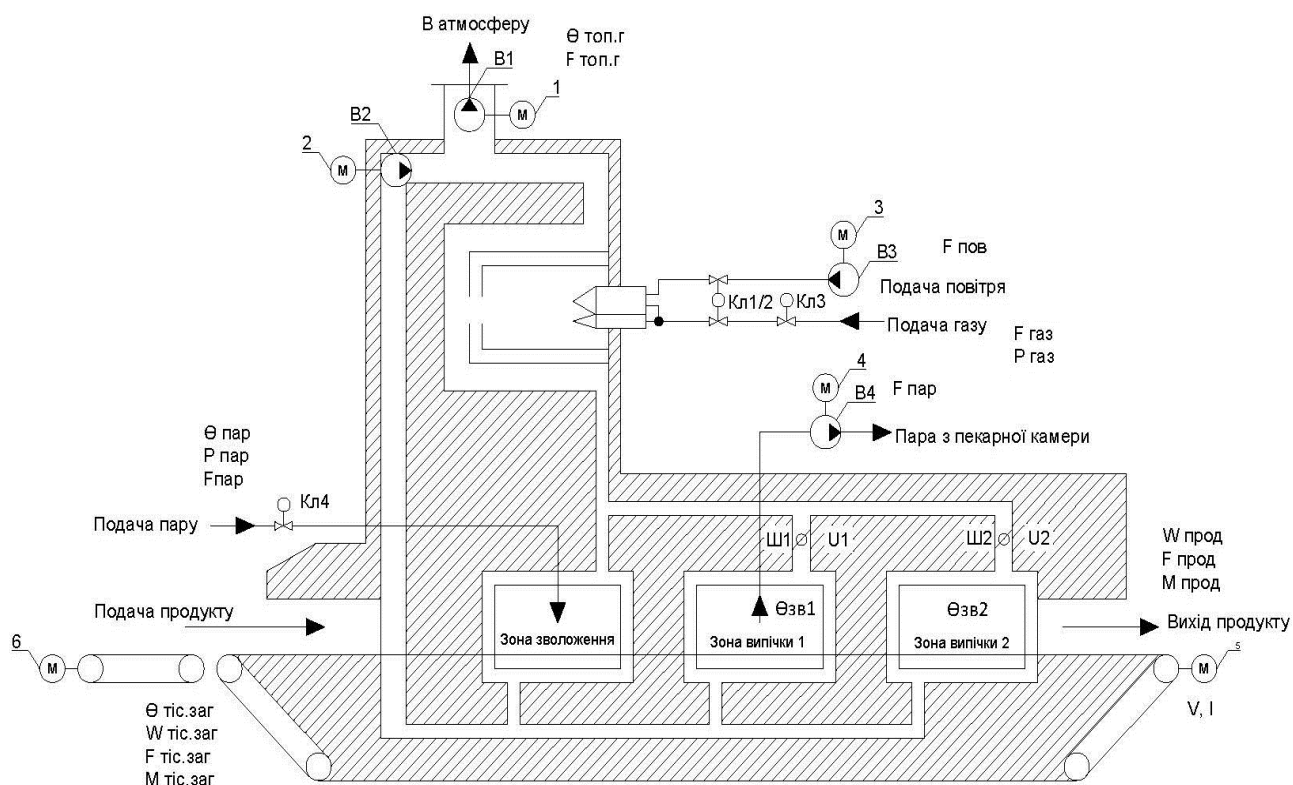


Рисунок 1.3 - Параметризована технологічна схема об'єкту

Найменування параметрів.

Вхідні параметри:

1. Θ тіс.заг - температура заготовки при вході в піч, °C;
2. M тіс.заг - маса заготовки при вході в піч, кг;
3. F тіс.заг - витрата заготовок, т/год;
4. W тіс.заг - вологість тістових заготовок, %;
5. Θ пар - температура пари, °C;
6. P пар - тиск пари, Па;
7. F пар - витрати пари, м³/ год;
8. F пов - витрати повітря, м³/ год;
9. P газ - тиск газу, Па;
10. F газ - витрати газу, м³/год;

Вихідні параметри:

11. Θ топ.г - температура відпрацьованих топкових газів, °C;
12. F топ.г - витрата відпрацьованих топкових газів, м³/ год;

13. $\Theta_{зв1}$ - температура в зоні випічки 1, °С;
14. $\Theta_{зв2}$ - температура в зоні випічки 2, °С;
15. М прод - маса продукту на виході із пічки, кг;
16. F прод - витрати продукту на виході із пічки, т/год;
17. W прод - вологість продукту на виході із пічки, %;
18. F вих. пар – витрата вихідної пари, м³/ год;
19. V, I - витрата по струму, А;

Керуючий вплив:

20. U1 - керуючий вплив регулюючого органу подачі тепла в зону випічки 1, %;
21. U2 - керуючий вплив регулюючого органу подачі тепла в зону випічки 2, %;

Основу нормативів складають три основних регламенти.

Технологічний регламент – визначає умови, при яких у результаті технологічного процесу буде отримано продукт із заданими властивостями. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від номіналу технологічних параметрів. Для технологічного процесу випічки хліба такі параметри: $\Theta_{зв1}$, $\Theta_{зв2}$, $\Theta_{топ.г}$, W прод, М прод.

Експлуатаційний регламент – визначає умови нормальної безаварійної роботи технологічного обладнання. Він являє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення експлуатаційних параметрів технологічного обладнання. Для технологічного процесу випічки хліба: V, I.

Техніко-економічний і екологічний регламент визначає умови ефективності ведення процесу і його екологічності. Він являє собою набір номінальних та гранично-припустимих значень техніко-економічних і екологічних параметрів. Для технологічного процесу випічки хліба такими параметрами є Fпрод, Fтоп.г. та Fвих.пар.

При відхиленні параметрів процесу випічки хліба від регламентованих значень, обумовлених зміною параметрів, що характеризують умови ведення процесу, навіть при досить ефективному керуванні ним, можуть перевищувати припустимі значення. Однак при виході за допуски технологічних регламентів технологічний процес не

зупиняється, а вихід за допуски ліквідується із часом. Наслідком виходу технологічних параметрів за допуски є зниження якості готових хлібних виробів.

Допуски на відхилення поточних значень регламентованих параметрів діляться на тривалі та короткочасні. Припустимі відхилення визначають зону незначних відхилень, середнє значення параметру якої можна вважати близьким до нормативного, тому ці відхилення не ліквідують. Короткочасні припустимі відхилення параметрів перевищують зону незначних відхилень і призводять до зниження ефективності процесу, тому вони припустимі тільки протягом обмеженого часу, що задається й входить у регламент. Вихід параметрів за зону короткочасно припустимих відхилень свідчить про відхилення технологічного процесу або експлуатації обладнання, що можуть призвести до аварії. Для аналізу нормативів ведення процесу випічки хліба складемо таблицю регламентів (таблиця 1.1) [3].

Таблиця 1.1 – Таблиця регламентів

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниця виміру	Номінальні значення	Допустимі відхилення від номіналу		
					Довготривалі	Короткочасні	
					Величина	Величина	Час
1	Температура в зоні випічки 1	Θ _{зв1}	°С	280	±5	±10	100 с
2	Температура в зоні випічки 2	Θ _{зв2}	°С	180	±3	±10	120 с

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

Сировинні параметри характеризують властивості продукту, що йде на переробку. До цієї групи параметрів віднесемо параметри сировини: Θ тіс.заг, W тіс.заг, M тіс.заг, F тіс.заг.

Енергетичні параметри характеризують енергію, що підводить до технологічного встаткування ззовні й витрачається на зміну властивостей продуктів. До цієї групи параметрів віднесемо: $P_{\text{пар}}$, $P_{\text{газ}}$, $F_{\text{пар}}$, $F_{\text{газ}}$, $F_{\text{пов}}$, $\Theta_{\text{пар}}$.

Механічні (або інші специфічні) параметри технологічного обладнання характеризують стан їх робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо: U_1 , U_2 .

Параметризована схема ТП має змістовний характер. Формалізація опису взаємозв'язків між параметрами ТП досягається за рахунок переходу до формалізованої параметричної схеми ТП. При цьому ті параметри, які відображають цілі функціонування об'єкта моделювання та додаткових вимог до нього, тобто регламентовані параметри будуть вихідними, а параметри, що відображають умови функціонування об'єкта - вхідними.

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

Параметрична схема процесу випікання хлібу наведена на рис. 1.4 [6].

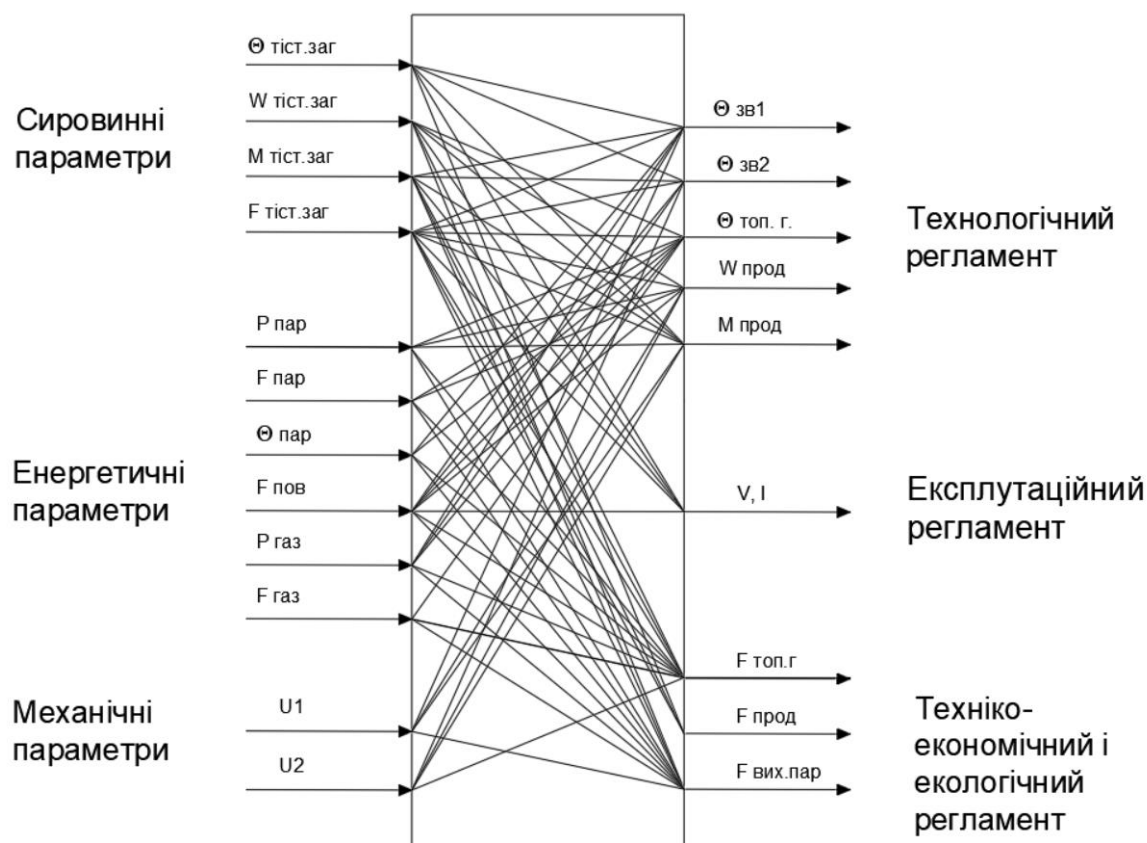


Рисунок 1.4 – Параметрична схема технологічного процесу випікання хлібу

1.2 Аналіз існуючого рівня автоматизації ділянки ТП

Оцінка існуючого рівня реалізації функції регулювання

Збір інформації про хід технологічного процесу та стан технологічного обладнання здійснюється за допомогою різноманітних датчиків параметрів. Ці датчики розташовані на різних вузлах тунельної печі та забезпечують постійне зчитування різних характеристик процесу випікання. Приклад температурного датчику для вимірювання температури в зоні випічки наведено на рисунку 1.5.

Температурні датчики: Розміщені в різних зонах печі для моніторингу температурного режиму внутрішнього простору, а також на випічкової стрічці для контролю температури випічки.

Датчики вологості: Використовуються для вимірювання вологості внутрішнього середовища печі та на поверхні тіста. Це допомагає підтримувати оптимальний рівень вологості під час випікання.

Датчики тиску: Встановлені для контролю тиску в печі та в системі подачі газу або пари, що дозволяє підтримувати стабільні умови внутрішнього середовища.

Датчики газів та диму: Розташовані для виявлення викидів газів та диму, що допомагає вчасно виявляти будь-які аномалії та уникнути аварійних ситуацій.

Інші датчики параметрів: Датчики розміщення виробів на випічкової стрічці, датчик наявності факелу тощо.

Ці датчики забезпечують постійний потік даних про стан технологічного процесу та дозволяють системі керування вчасно реагувати на будь-які зміни та відхилення в параметрах випікання.

Засоби безпосереднього впливу на процес включають в себе регулюючі органи, які розташовані на магістралях матеріальних та енергетичних потоків в системі випікання хлібобулочних виробів. Ці засоби призначені для зміни та контролю різних параметрів процесу в реальному часі. Такими засобами є регулюючі клапани, шибери тощо.



Рисунок 1.5 – Термоперетворювач опору ТСП Pt100

На підприємстві для обробки інформації та формування керуючих дій у процесі випікання хлібобулочних виробів використовується контролер Mitsubishi AL2-24MR-A (рис 1.6). Цей контролер відноситься до серії AL2, яка відома своєю надійністю та ефективністю в управлінні промисловими процесами.

У конкретному випадку, для контролю та управління процесом випікання хлібобулочних виробів використовуються контролери та керуючі електронно-обчислювальні машини (ЕОМ), які постачаються фірмою Mitsubishi Electric. Ці засоби забезпечують можливість введення аналогових сигналів з датчиків параметрів, а також виведення аналогових та дискретних сигналів для керування електродвигунними виконавчими механізмами постійної швидкості, такими як конвеєри та інші рухомі елементи виробничої лінії. На підприємстві також використовується контролери інших виробників.



Рисунок 1.6 - Контролер Mitsubishi AL2-24MR-A

Для контролю та підтримки оптимальних параметрів температури в процесі випікання хлібобулочних виробів використовуються ПДД терморегулятор ТРМ12 та вимірювач УКТ38 від компанії ОВЕН (рис 1.7). Вони забезпечують надійне інформування технологічного персоналу і оператора процесу в окремих ділянках тунельної печі та надають необхідну інформацію для контролю та корекції температурного режиму випікання.



Рисунок 1.7 - Змонтовані на щиті прилади для керування ТП

Технічні засоби розміщені відповідно до їх функціонального призначення: в приміщеннях об'єкта, на обладнанні, на щитах (рис. 1.8), на локальних або центральних пунктах керування.

На підприємстві існує значний потенціал для модернізації технічних систем. Застосування різних брендів приладів ускладнює процес обслуговування та ремонту. Для полегшення цих процесів та забезпечення більшої ремонтпридатності рекомендується перехід до використання стандартизованих уніфікованих приладів. Крім того, можна провести покращення через підвищеної динамічної точності ПД систем регулювання. Це може сприяти покращенню ефективності та точності процесів. Такий підхід може призвести до значних економічних та екологічної вигоди для підприємства.

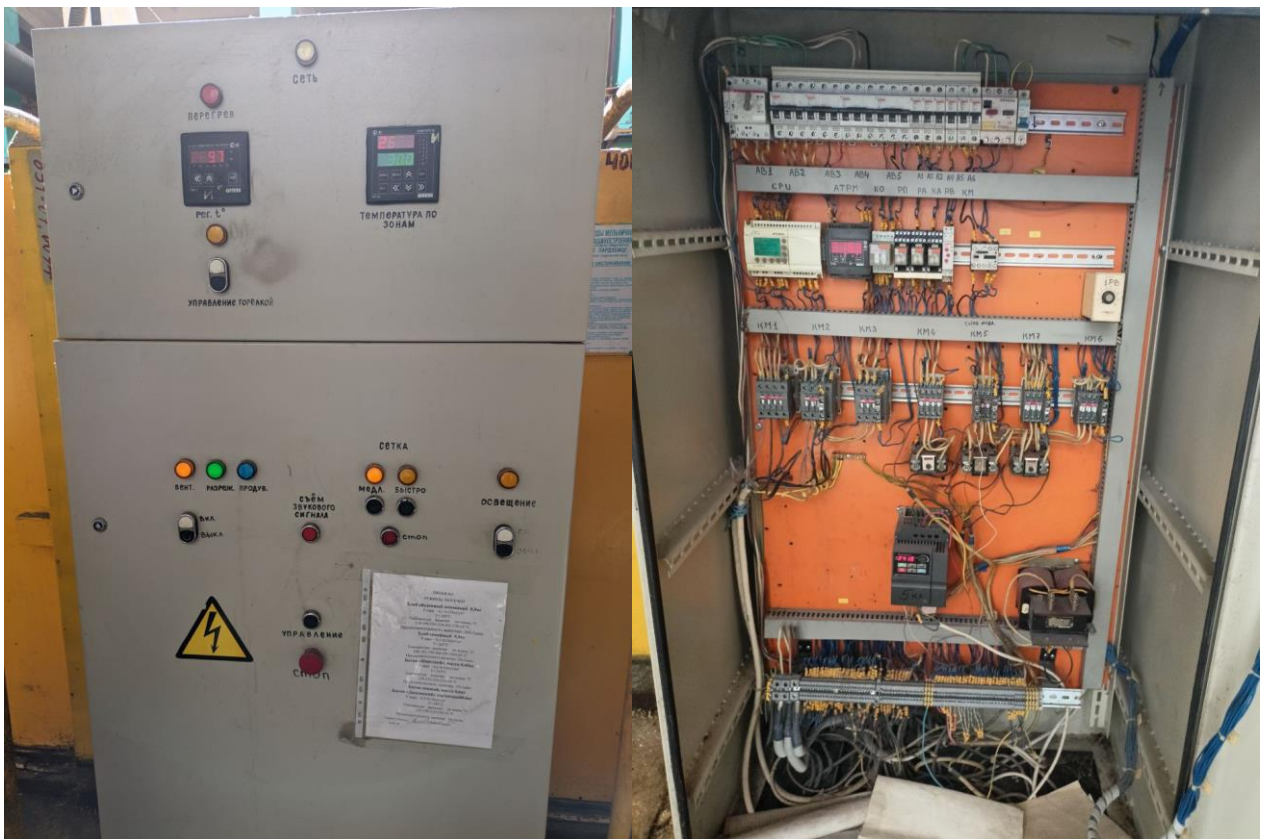


Рисунок 1.8 - Змонтовані технічні засоби всередині та зовні щита

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

Вхідні сировинні, енергетичні та механічні параметри технологічного процесу (ТП) мають значний вплив на вихідні показники, зокрема, на питомі витрати сировини та енергоносіїв. Аналіз цих впливів є ключовим для визначення техніко-економічних та екологічних регламентів.

Для отримання повної картини встановлено інструменти обліку, такі як лічильники витрат сировини, енергоносіїв та готової продукції, розташовані на ділянці технологічного процесу. Лічильник витрати сировини розташований на вході виробничої лінії. Лічильник витрати енергоносіїв знаходиться на енергетичному вводі до обладнання. Лічильник готової продукції розміщений на виході з виробничого процесу.

Впровадження поліпшених функцій регулювання та логічного керування на підприємстві відкриває широкі можливості для досягнення економічної ефективності та оптимізації виробничих процесів. Деякі потенційні джерела економічної ефективності від таких заходів включають:

1. Зменшення енерговитрат: Впровадження регламентів технологічного процесу (ТП) та оптимізоване логічне керування можуть сприяти зменшенню енерговитрат шляхом ефективнішого використання енергії та управління роботою обладнання в оптимальному режимі.

2. Зменшення викидів у навколишнє середовище. Вдосконалені функції регулювання можуть допомогти у зменшенні шкідливих викидів у навколишнє середовище шляхом оптимізації процесів та використання екологічно чистих технологій.

3. Збільшення обсягів виробництва: Поліпшення продуктивності технологічного обладнання та оптимізоване керування процесами можуть призвести до збільшення обсягів виробництва без збільшення витрат на виробництво.

4. Зменшення браку продукції: Імплементация систем контролю та автоматизованого регулювання може покращити якість продукції та запобігти виникненню аварійних ситуацій, що в свою чергу допоможе у зменшенні кількості бракованої продукції.

Впровадження вищезазначених заходів дозволить підприємству досягти більшої ефективності виробництва, зменшити витрати та покращити якість продукції, що відобразиться на загальній прибутковості підприємства та сприятиме сталому розвитку.

Модернізація системи регулювання та логічного керування на підприємстві спрямована на досягнення конкретних економічних цілей. Дані цілі можуть бути досягнуті шляхом розробки та впровадження нових алгоритмів керування, використання сучасного обладнання та технологій, а також навчання персоналу для ефективного використання нових систем керування.

Кінцева економічна мета полягає у збільшенні конкурентоспроможності та прибутковості підприємства шляхом підвищення якості регулювання контрольованих параметрів і зниження браку виробництва завдяки впровадженню модернізованої системи автоматичного контролю (САК). По статистиці підприємства брак становить 2,5%. Задача полягає в зменшенні браку до 1,5% та доведенні економічної вигоди модернізації. Також можемо очікувати зменшення витрат газу з 50 м³/год до 47 м³/год, що є актуальним в наш час.

Система керування процесом випічки хліба базується на використанні сучасних технічних і програмних засобів, що забезпечують збір інформації про змінні параметри процесу та реалізацію керуючих впливів за допомогою персональних комп'ютерів (ПК) та мікропроцесорних контролерів (МПК).

Крім економічних переваг, модернізація системи регулювання та логічного керування може досягнути ряду інших важливих цілей, які впливають на якість життя персоналу, екологічні аспекти та загальну безпеку виробничого процесу. Основні інші цілі, які можуть бути досягнуті через модернізацію, включають:

1. Поліпшення умов праці: Впровадження сучасних систем керування може сприяти зменшенню фізичного та психологічного навантаження на працівників, забезпечуючи комфортніші та безпечніші умови праці.

2. Підвищення експлуатаційної безпеки: Вдосконалення систем безпеки та автоматизації може допомогти уникнути аварійних ситуацій, що може призвести до зниження ризику травматизму серед працівників та збереження власності підприємства.

3. Підвищення вибухопожежобезпеки: Впровадження нових систем контролю та автоматизації може зменшити ризик виникнення пожеж та вибухів на виробництві, що є критичним для забезпечення безпеки працівників та майна підприємства.

4. Покращення ефективності обслуговування: Модернізація може спростити процеси технічного обслуговування та ремонту обладнання, зменшуючи час і витрати на обслуговування, а також забезпечуючи більшу надійність та тривалість роботи устаткування.

2 Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання

2.1 Розробка структурної (координатної) схеми об'єкта керування

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

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

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

б) на рівні окремих одиниць технологічного обладнання – виконання технологічних, експлуатаційних і техніко-економічних регламентів, зокрема – оптимізація роботи окремих одиниць обладнання.

Звідси задачу керування можна розділити на:

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

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

Для процесу випічки хлібу в якості регульованої координати доцільно обрати температуру випікання в зоні випічки 1 - $\Theta_{зв1}$ та в зоні випічки 2 - $\Theta_{зв2}$.

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

Для процесу випічки хлібу в якості регульованої координати доцільно віднести шибера. Які є регулюючими органами, що регулюють подачу тепла в зони випікання. Їх вплив позначений як U_1 та U_2 .

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

Для процесу випікання хліба До контрольованих збурень віднесемо f_1 та f_2 . Всі інші вхідні дії, крім управляючої дії віднесемо до неконтрольованих збурень.

Структурна схема ОК є черговим і останнім етапом формалізації подання технологічного процесу як ОК. Розробка схеми проводиться на основі результатів проведених раніше досліджень.

Структурна схема ОК, по суті, є найбільш загальною (концептуальною) моделлю технологічного процесу як ОК [8]. Структурна схема процесу випічки хліба наведена на рис. 2.1.

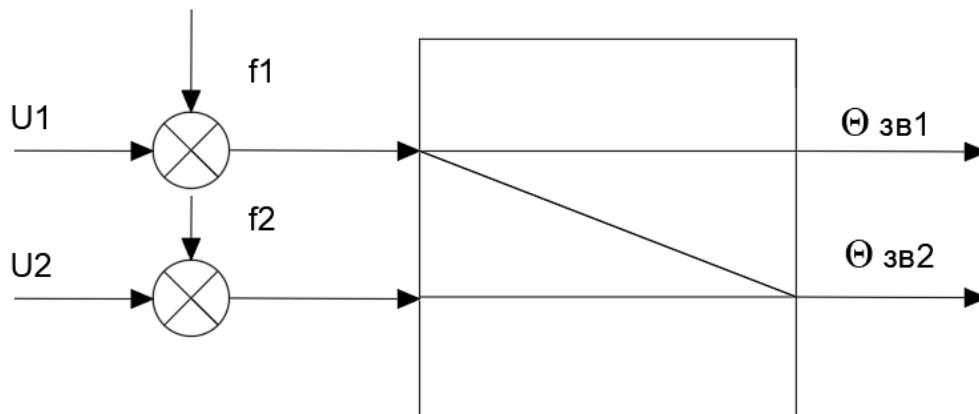


Рисунок 2.1 – Структурна схема процесу випікання хлібу як об'єкту регулювання

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

Проводимо апріорний аналіз динамічних властивостей каналів ОК. Кожен канал ОК має властивість самовирівнювання. Збільшення керуючої дії U_1 призведе до зменшення температури. Збільшення керуючої дії U_2 призведе до збільшення температури.

Плануємо та проводимо активні експерименти з ідентифікації моделей динаміки каналів ОК [6]. Результати потрібно подати у вигляді перехідних характеристик.

План активного експерименту включає в себе:

1. За допомогою зміни управляючих дій домагаємося значень регульованих координат, що перебували б в околицях їх номінальних значень.

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

3. Змінимо управляючу дію U_1 ступінчастим чином на 10%х.р.о., відзначивши при цьому момент початку його зміни.

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

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

6. Змінимо управляючу дію U_2 ступінчастим чином на 10%х.р.о., відзначивши при цьому момент початку його зміни.

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

Результати активного експерименту наведено на рис. 2.2.

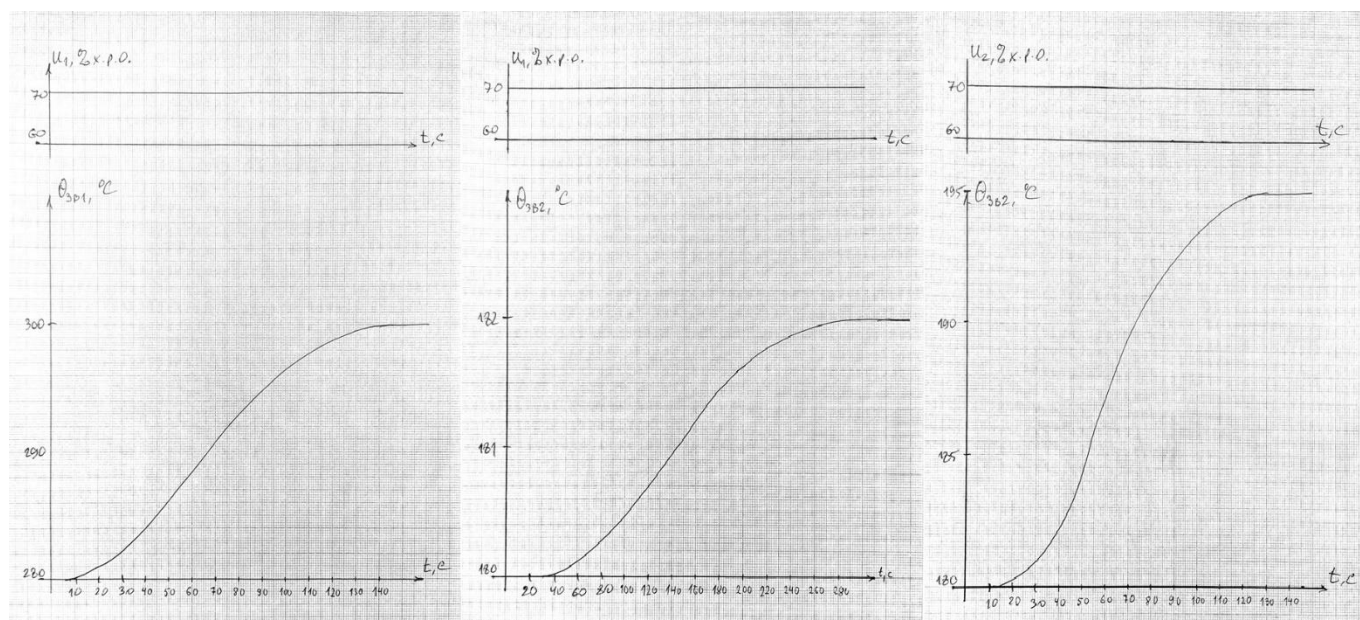


Рисунок 2.2 – Результати активного експерименту за каналами: а) « $U_1 - \Theta_{зв1}$ »; б) « $U_1 - \Theta_{зв2}$ »; в) « $U_2 - \Theta_{зв2}$ »

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

$$W_{U_1-\Theta_{зв1}}^0(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{Tp + 1}; \quad W_{U_1-\Theta_{зв1}}^0(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{(Tp + 1)^2}$$

Проведемо структурну та параметричну ідентифікацію моделей динаміки каналів ОК (рис. 2.3). 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 ідентифікації сталої часу та часу запізнення як для моделі 1-го порядку, так і для моделі 2-го порядків доцільно використовувати методики „двох загальних точок”.

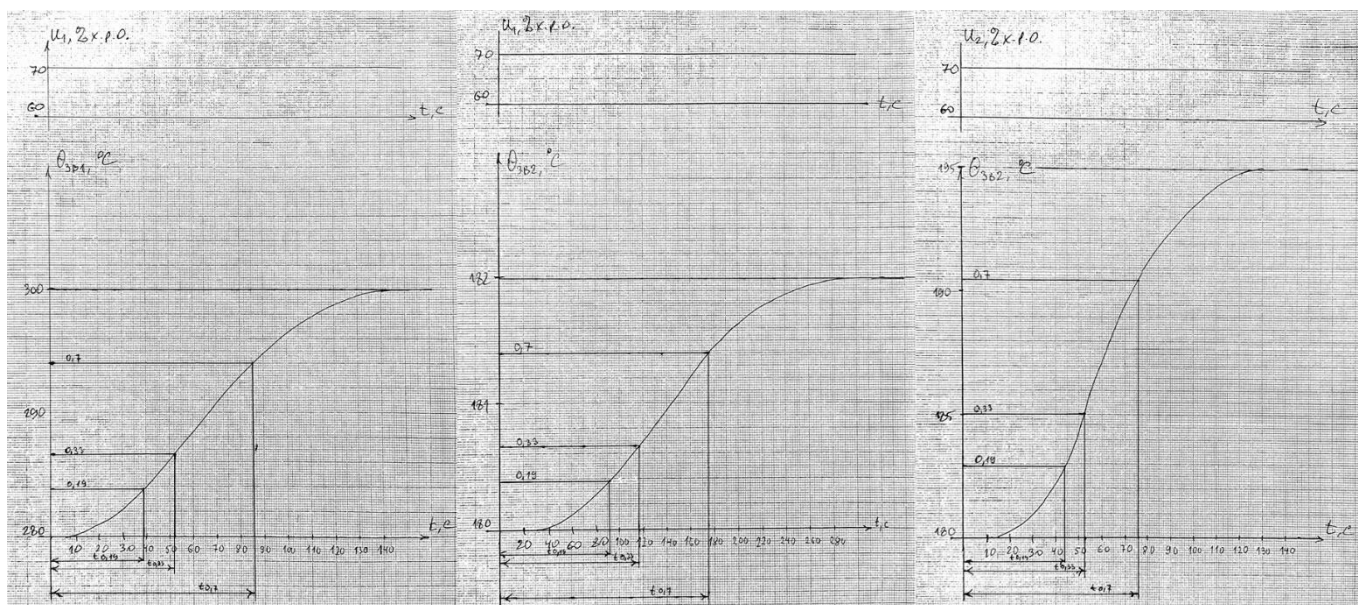


Рисунок 2.3 – Параметрична ідентифікація моделей ОК а) «U1 - $\Theta_{зв1}$ »; б) «U1 - $\Theta_{зв2}$ »; в) «U2 - $\Theta_{зв2}$ »

«U1 - $\Theta_{зв1}$ »

$$k = \Delta \Theta_{зв1} / \Delta U_1 = 20 / 10 = 2 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}$$

Модель 1-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 52 - 85,5) / 2 = 35,3 \text{ c}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (85,5 - 35,3) / 1,2 = 41,8 \text{ c}$$

$$t_{0,33} = 52 \text{ c}; \quad t_{0,7} = 85,5 \text{ c}$$

Модель 2-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 39 - 85,5) / 2 = 15,8 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (85,5 - 15,8) / 2,4 = 27,8 \text{ с}$$

$$t_{0,19} = 39 \text{ с}$$

$$W_{U_1-\Theta_{ЗВ1}}^0(p) = \frac{2 \cdot e^{-35,3p}}{41,8p + 1}; W_{U_1-\Theta_{ЗВ1}}^0(p) = \frac{2 \cdot e^{-15,8p}}{(27,8p + 1)^2}$$

«U1 – $\Theta_{ЗВ2}$ »

$$k = \Delta \Theta_{ЗВ2} / \Delta U_1 = 2 / 10 = 0,2 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{х.р.о.}$$

Модель 1-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 116 - 175) / 2 = 86,5 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (175 - 86,5) / 1,2 = 73,8 \text{ с}$$

$$t_{0,33} = 116 \text{ с}; t_{0,7} = 175 \text{ с}$$

Модель 2-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 92 - 175) / 2 = 50,5 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (175 - 50,5) / 2,4 = 51,9 \text{ с}$$

$$t_{0,19} = 92 \text{ с}$$

$$W_{U_1-\Theta_{ЗВ2}}^0(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-86,5p}}{73,8p + 1}; W_{U_1-\Theta_{ЗВ2}}^0(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-50,5p}}{(51,9p + 1)^2}$$

«U2 – $\Theta_{ЗВ2}$ »

$$k = \Delta \Theta_{ЗВ2} / \Delta U_2 = 15 / 10 = 1,5 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{х.р.о.}$$

Модель 1-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 52,5 - 76) / 2 = 40,8 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (76 - 40,8) / 1,2 = 29,3 \text{ с}$$

$$t_{0,33} = 52,5 \text{ с}; t_{0,7} = 76 \text{ с}$$

Модель 2-го порядку

$$\tau = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 44 - 76) / 2 = 28 \text{ с}$$

$$T = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (76 - 28) / 2,4 = 20 \text{ с}$$

$$t_{0,19} = 44 \text{ с}$$

$$W_{U_2-\Theta_{ЗВ2}}^0(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-40,8p}}{29,3p + 1}; W_{U_2-\Theta_{ЗВ2}}^0(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-28p}}{(20p + 1)^2}$$

Як результат, отримали методом активного експерименту експериментальні дані для ідентифікації математичних моделей каналів ОК. За всіма каналами наявне самовирівнювання.

Проводимо активний експеримент з ідентифікації моделей статички каналів ОК. Результати подано у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики

U ₁ , %х.р.о.	U ₂ , %х.р.о.	Θ зв1, °C	Θ зв2, °C
60	60	280	180
70	60	300	182
80	60	320	184
50	60	260	178
40	60	240	176
60	70	280	195
60	80	280	210
60	50	280	165
60	40	280	150

Побудуємо у графічному вигляді статичних характеристик ОК та оцінимо їх адекватність. Результати експерименту наведено на рис. 2.4 – 2.6.

$$\Theta \text{ зв1} = f(U_1, U_2 = 60 \% \text{х.р.о.})$$

$$\Theta \text{ зв2} = f(U_1, U_2 = 60 \% \text{х.р.о.})$$

$$\Theta \text{ зв2} = f(U_2, U_1 = 60 \% \text{х.р.о.})$$

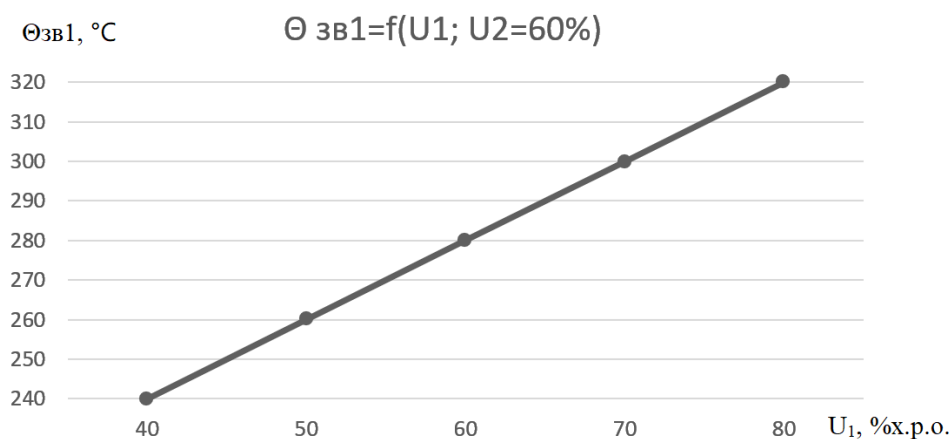


Рисунок 2.4 – Результат експерименту для визначення статичної характеристики

ОК «U₁ - Θзв1»

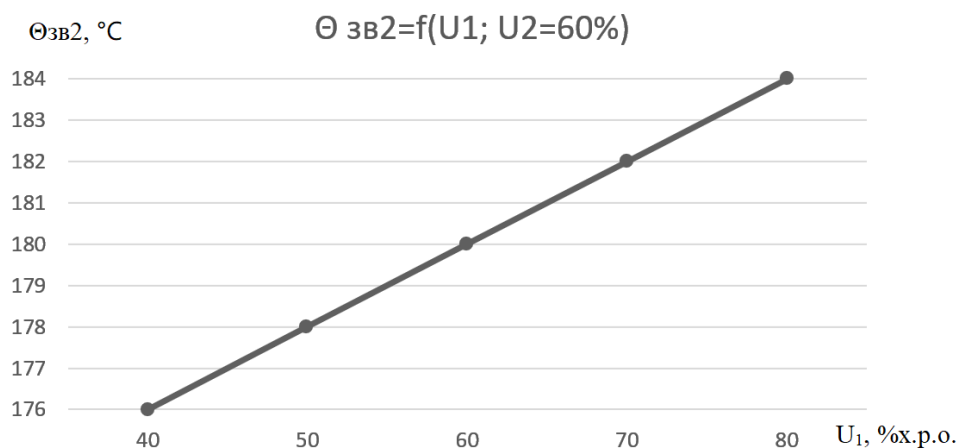


Рисунок 2.5– Результати експеримент для визначення статичної характеристики ОК

« $U_1 - \Theta_{зв2}$ »

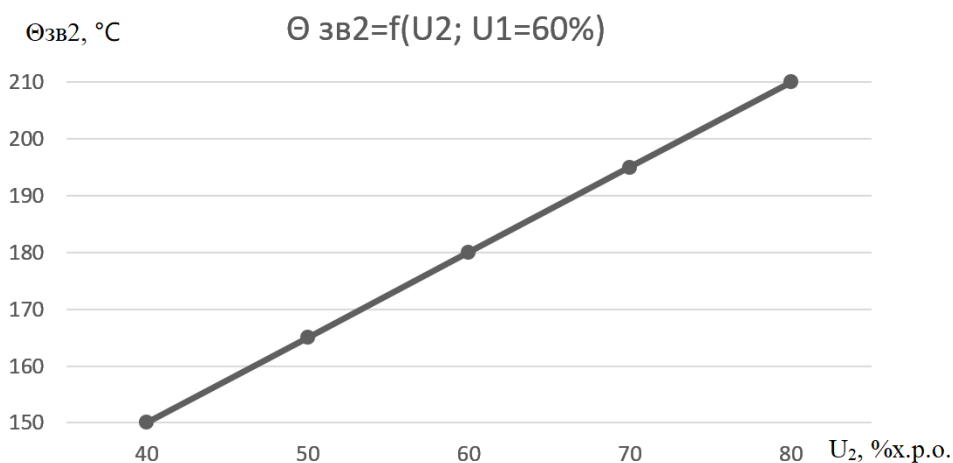


Рисунок 2.6 – Результат експерименту для визначення статичної характеристики ОК

« $U_1 - \Theta_{зв2}$ »

2.3 Ідентифікація моделей збурень об'єкту керування

Моделі неконтрольованих збурень доцільно представляти як суму чотирьох складових. Причому, детерміновану складову доцільно привести до управляючої дії, а квазидетерміновану та стохастичну складові f_2C доцільно привести до регульованої координати. Структурну схему наведено на рис. 2.7.

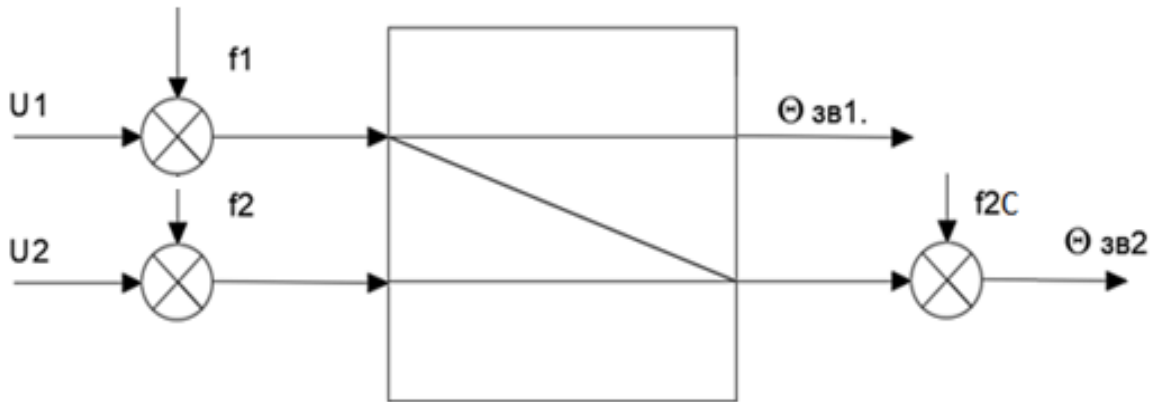


Рисунок 2.7 - Структурна схема додавання координатних збурень

Сплануємо пасивний експеримент для ідентифікації моделей збурень як випадкових процесів.

Для 1-го варіанту моделі:

Номер в журналі – 1

$\Theta_{зв2} (u = 0\% \text{х.р.о.}) = 168 \text{ } ^\circ\text{C}$

$\Theta^{ЗДН} = 180^\circ\text{C}$

$\tau_{u2 - \theta_{зв2}} = 40,8 \text{ с.}$

Проводимо експеримент. Генерацію результатів пасивного експерименту буде забезпечувати програма rgen у середовищі matlab. Результат наведено на рис 2.8.

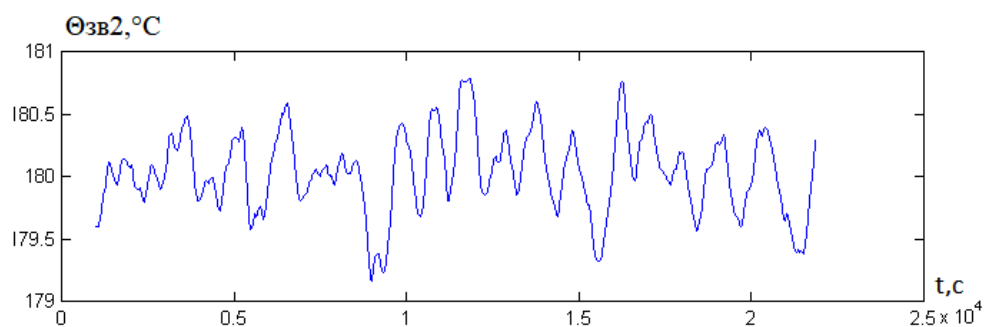


Рисунок 2.8 – Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованого збурення для досліджуваного ОК

Проводимо структурну та параметричну ідентифікацію моделей збурень. Першим етапом ідентифікації моделі контрольованих і неконтрольованих збурень є оцінювання імовірнісних характеристик відповідних випадкових процесів (рис. 2.9) [6].

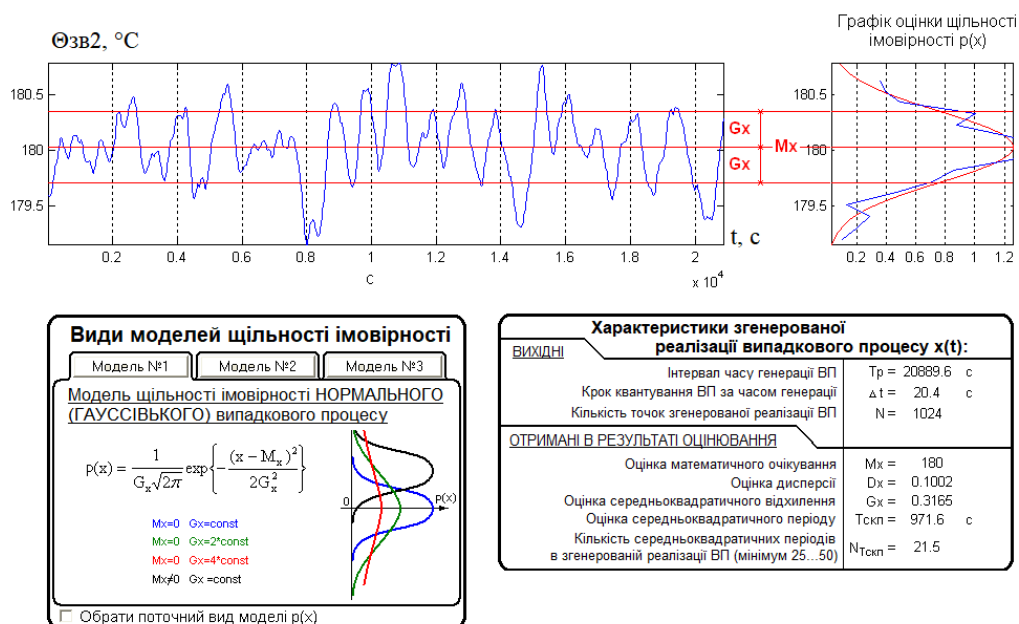


Рисунок 2.9 – Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідного неконтрольованим збуренням

За результатами оцінювання нормованих кореляційних функцій з набору типових декілька варіантів моделей кореляційних функцій і спектральних щільностей. Графік оцінки автокореляційної функції наведено на рис. 2.10. Найбільш схожі моделі №5 та №6. Результати ідентифікації наведено на рис. 2.11 – 2.13.

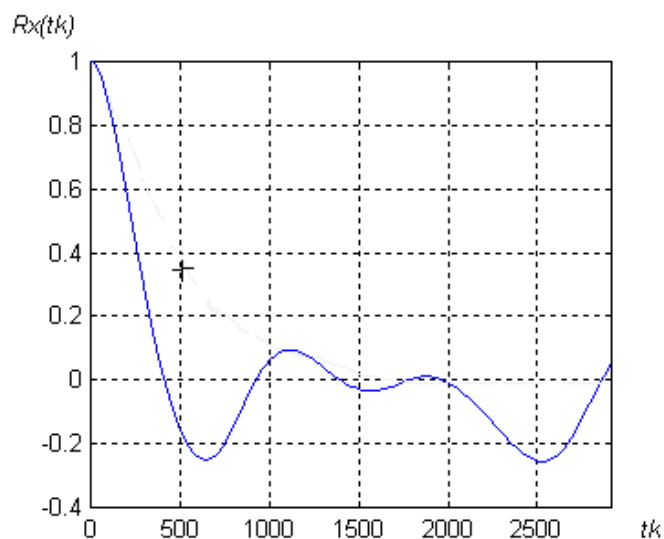


Рисунок 2.10 – Графік оцінки автокореляційної функції

$$\alpha = 1 / \Delta\tau_{k1} = 1 / 500 = 0,002$$

$$\beta = 2\pi / \Delta\tau_{k2} = 6,28 / 1000 = 0,006$$

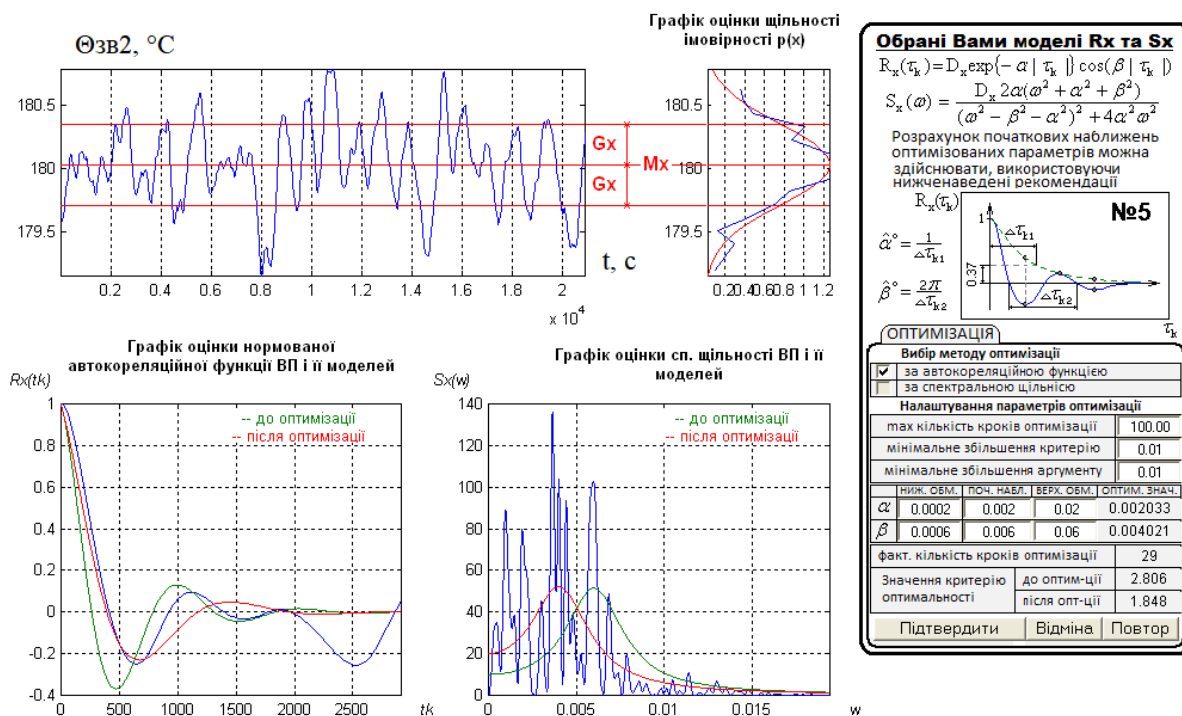


Рисунок 2.11 – Результати параметричної ідентифікації моделі №5 неконтрольованих збурень

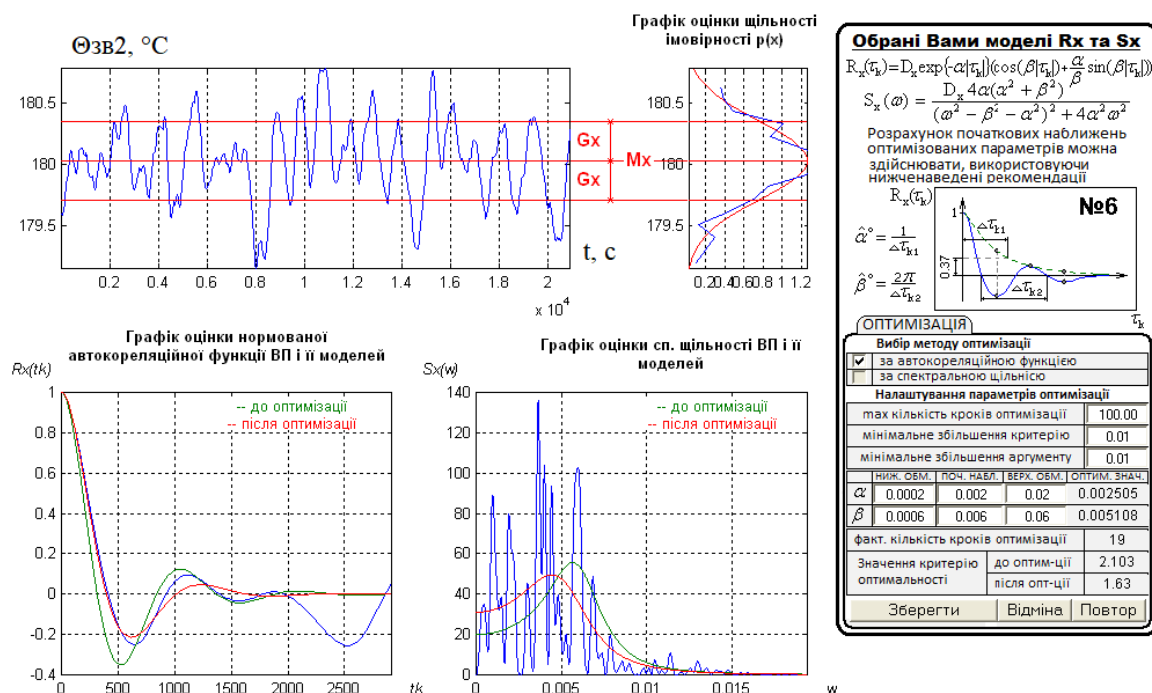


Рисунок 2.12 – Результати параметричної ідентифікації моделі №6 неконтрольованих збурень

Таблиця результатів ідентифікації						
Номер моделі	α	β	A	C	γ	Значення критерію оптимізації
✓ 5	0.0020328	0.0040207	-	-	-	3.4136
✓ 6	0.0025052	0.0051076	-	-	-	2.6556
✓ 1	0.0049	-	-	-	-	6.2748
✓ 4	0.012	-	-	-	-	4.7208

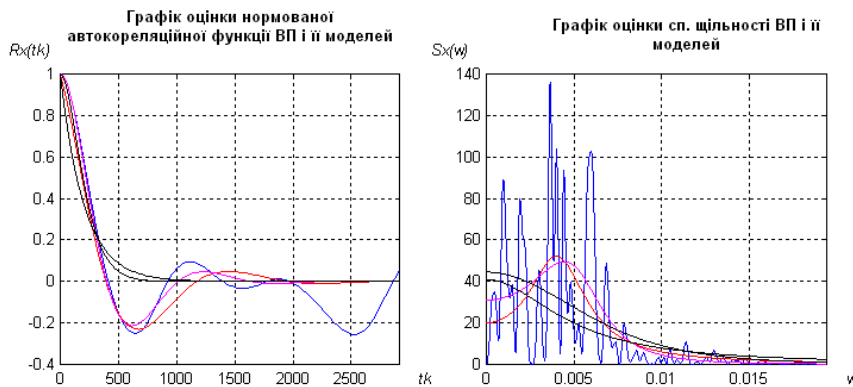


Рисунок 2.13 – Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованого збурення

Обираємо модель збурень. Оскільки для моделі №6 середньоквадратичне відхилення моделі автокореляційної функції від її оцінки є найменшим, то модель №6 доцільно використати для відтворення цієї складової динамічного процесу.

Аналіз характеру збурень показав, що в якості збурень випадкового характеру достатньо буде розглядати збурення, приведені до температури в другій зоні випічки. Ідентифікація моделей випадкових складових неконтрольованих збурень показала, що за квадратом відхилення моделі автокореляційної функції від її оцінки, кращою виявилася модель №6.

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

Для зручності виділимо наші передатні функції всіх каналів першого і другого порядку в загальну таблицю 2.2 [4]. Наведено дані для відтворення кусочно-лінійних апроксимацій експериментальних даних в таблиці 2.3.

Таблиця 2.2 – Результати параметричної ідентифікації

Канал ОК	Модель 1-го порядку	Модель 2-го порядку
«U1 - Θзв1»	$W_o(p) = \frac{2 \cdot e^{-35,3p}}{41,8p + 1}$	$W_o(p) = \frac{2 \cdot e^{-15,8p}}{(27,8p + 1)^2}$
«U1 - Θзв2»	$W_o(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-86,5p}}{73,8p + 1}$	$W_o(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-50,5p}}{(51,9p + 1)^2}$
«U2 - Θзв2»	$W_o(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-40,8p}}{29,3p + 1}$	$W_o(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-28p}}{(20p + 1)^2}$

Таблиця 2.3 – Експериментальні дані для відтворення апроксимацій

«U1 - Θзв1»		«U1 - Θзв2»		«U2 - Θзв2»	
t, с	Θ зв1, °C	t, с	Θ зв2, °C	t, с	Θ зв2, °C
0	280	0	180	0	180
5	280	10	180	5	180
10	280,2	20	180	10	180
15	280,4	30	180	15	180
20	281	40	180,02	20	180,2
25	281,4	50	180,05	25	180,5
30	282	60	180,1	30	180,9
35	283	70	180,18	35	181,5
40	284	80	180,26	40	182,2
45	285	90	180,36	45	183,1
50	286,1	100	180,46	50	184,3
55	287,3	110	180,58	55	185,9
60	288,4	120	180,7	60	187,2
65	289,6	130	180,82	65	188,4
70	290,8	140	180,94	70	189,5
75	292	150	181,07	75	190,4
80	293	160	181,2	80	191,2
85	293,9	170	181,34	85	191,9
90	294,8	180	181,46	90	192,5
95	295,7	190	181,54	95	193
100	296,5	200	181,64	100	193,5
105	297,2	210	181,7	105	193,8
110	297,8	220	181,78	110	194,3
115	298,3	230	181,82	115	194,6
120	298,8	240	181,87	120	194,8
125	299,2	250	181,9	125	195
130	299,6	260	181,94	130	195
135	299,8	270	181,96	135	195
140	288,8	280	281,98	140	195
145	300	290	281,99	145	195
150	300	300	282	150	195

Перевіряємо відповідності моделей експериментальним даних та за необхідності можемо ввести корективи до моделей.

Побудуємо схеми моделювання управління ОК за кожним каналом. Приклад схеми перевірки наведено на рис 2.14, а результати моделювання на рис. 2.15 – 2.17.

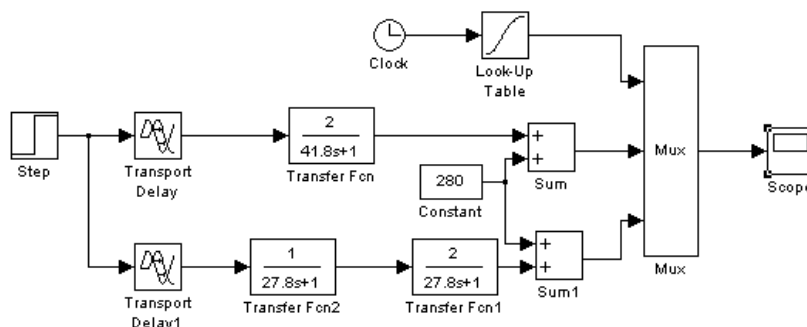


Рисунок 2.14 – Схема перевірки відповідності моделей експериментальних даних в імітаційному середовищі matlab Simulink

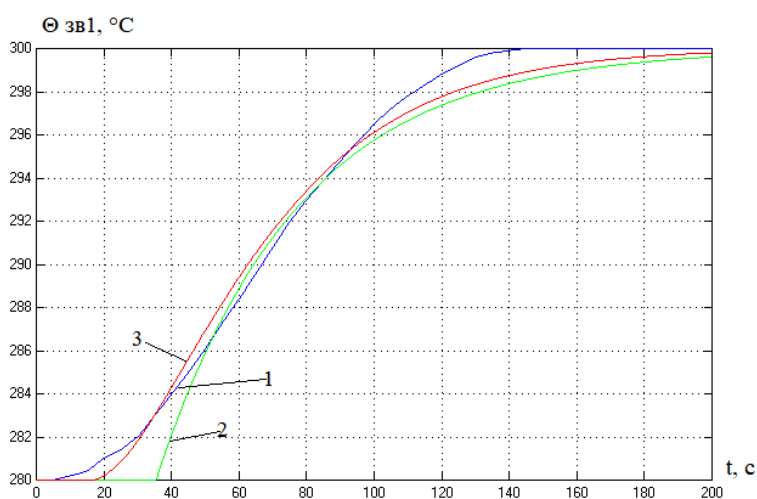


Рисунок 2.15 - Результати моделювання за каналом «U1 - Θзв1»:
1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

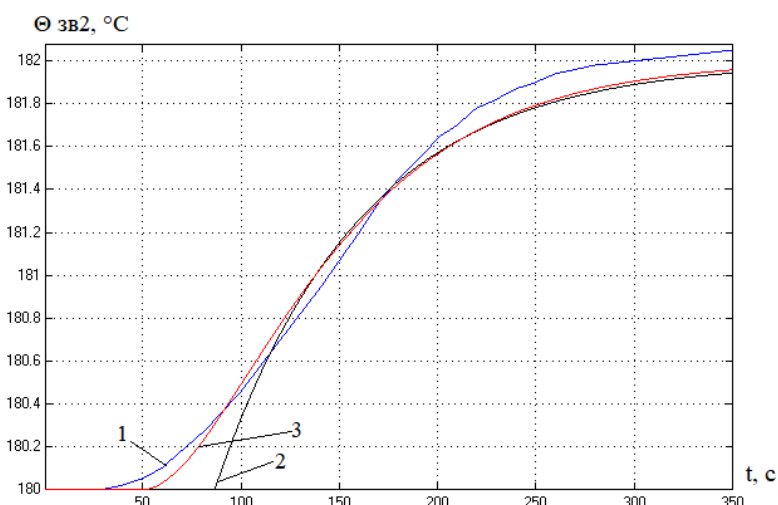


Рисунок 2.16 - Результати моделювання за каналом «U1 – Θзв2»:
1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

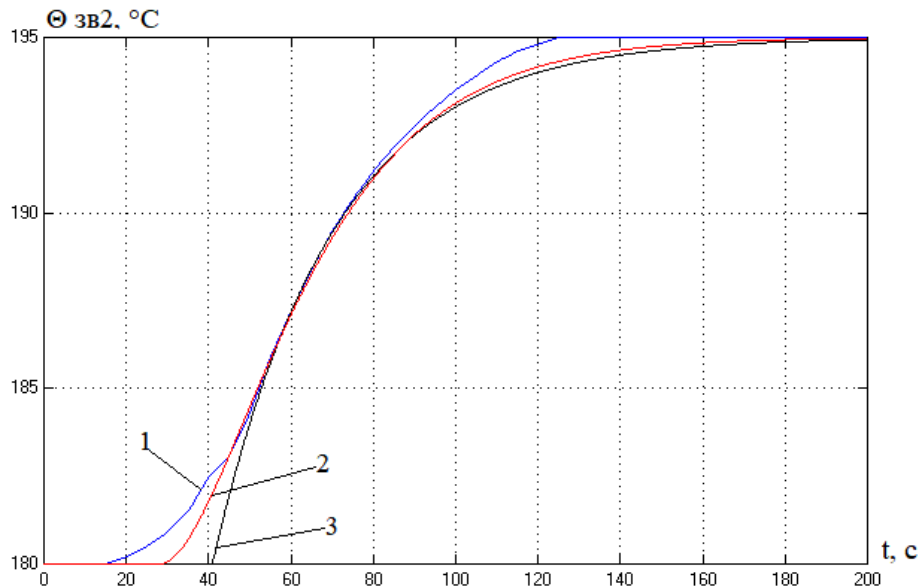


Рисунок 2.17 - Результати моделювання за каналом «U2 – Θзв2»:

1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

Для проведення параметричної ідентифікації моделі статички ОК доцільно використовувати метод найменших квадратів.

Проводимо структурну ідентифікацію моделей каналів ОК.

$$\Theta_{зв1} = a_1 \cdot u_1 + a_0$$

$$\Theta_{зв2} = b_1 \cdot u_1 + b_2 \cdot u_2 + b_0$$

Проводимо параметричну ідентифікацію моделей каналів ОК.

$$a_1 = 2^\circ\text{C} / \% \text{х.р.о.}; a_0 = \Theta_{зв1} - a_1 \cdot u_1 = 280 - 2 \cdot 60 = 160^\circ\text{C}$$

$$\Theta_{зв1} = 2 \cdot u_1 + 160$$

$$b_1 = 0,2^\circ\text{C} / \% \text{х.р.о.}; b_2 = K_{u_2-\theta} = 1,5^\circ\text{C} / \% \text{х.р.о.}$$

$$b_0 = \Theta_{зв2} - b_1 \cdot u_1 - b_2 \cdot u_2 = 180 - 0,2 \cdot 60 - 1,5 \cdot 60 = 180 - 12 - 90 = 78^\circ\text{C}$$

$$\Theta_{зв2} = 0,2 \cdot u_1 + 1,5 \cdot u_2 + 78$$

Проводимо порівняльний аналіз результатів моделювання та експериментальних даних. Отримані математичні моделі ОК було реалізовано у середовищі імітаційного моделювання у вигляді схеми (рис. 2.18), а результати наведено на рис. 2.19 – 2.21 [9].

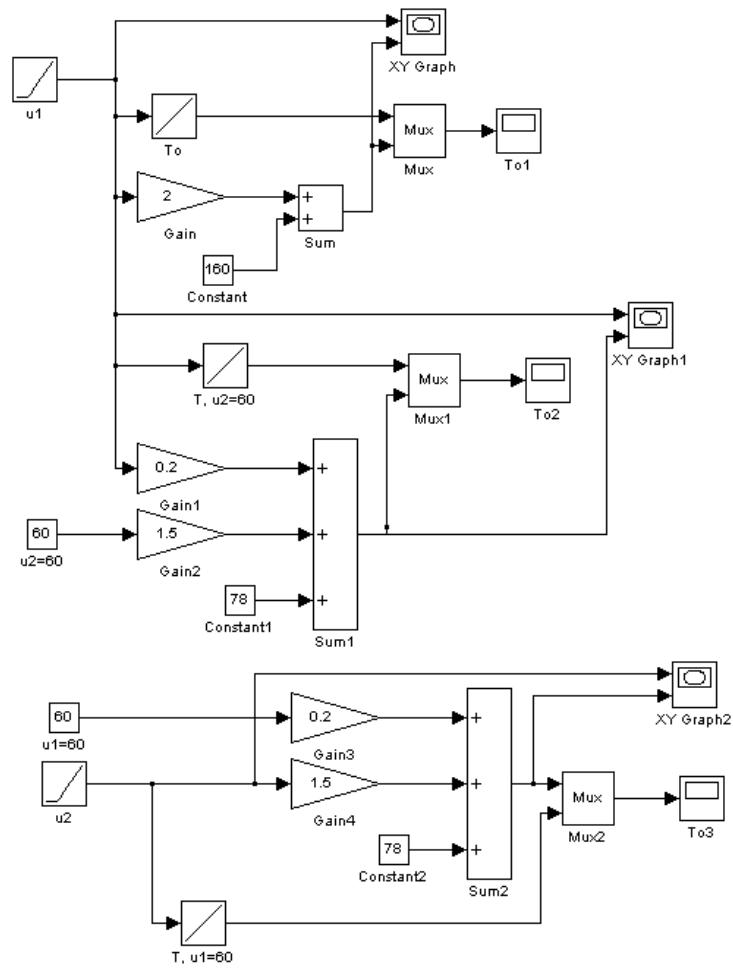


Рисунок 2.18 – Схема порівняльного аналізу результатів моделювання в імітаційному середовищі matlab Simulink.

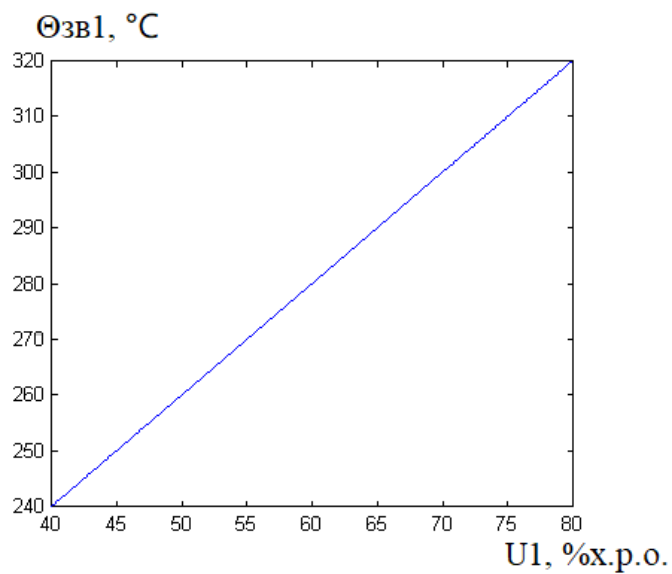


Рисунок 2.19 – Результат моделювання за каналом «U1 - Θзв1»

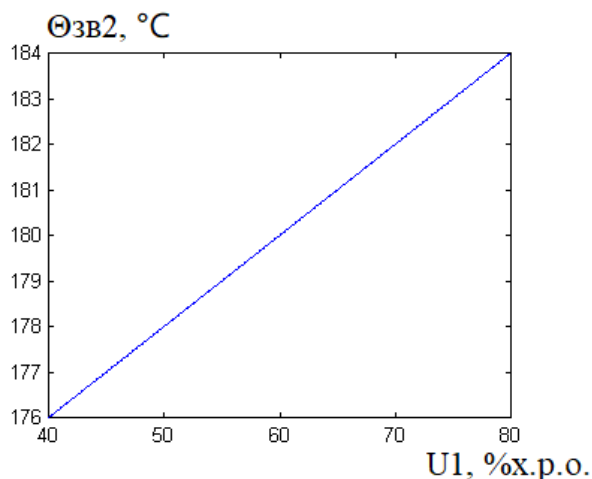


Рисунок 2.20 – Результат моделювання за каналом «U1 – $\Theta_{зв2}$ »

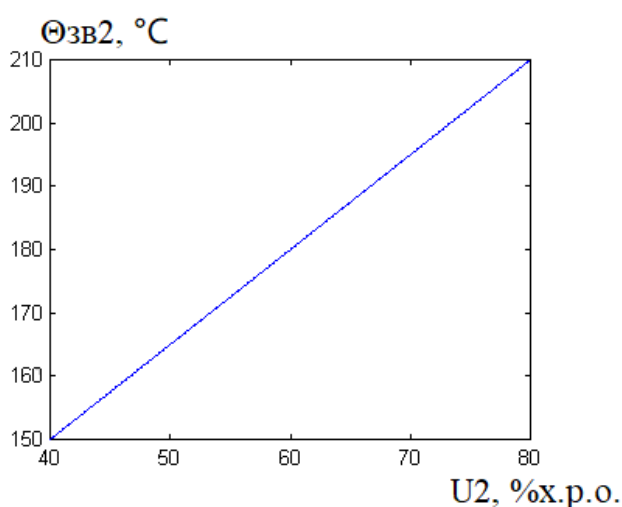


Рисунок 2.21 – Результат моделювання за каналом «U2 – $\Theta_{зв2}$ »

Було виконано структурний і параметричний синтез моделей статички. Ідентифікація моделей статички об'єкту керування проводилася за лінійними залежностями. Порівняння експериментальних даних та результатів моделювання показали, що ідентифікація моделей статички проведена з належною точністю.

Виходячи з експериментальних даних, математичні моделі каналів об'єкту керування можуть бути представлені статичною аперіодичною ланкою 1-го або 2-го порядку і ланкою запізнення. Параметрична ідентифікація проводилася за методиками двох загальних точок для першого і другого порядку. Порівняння кусочно лінійних апроксимацій експериментальних даних з результатами моделювання показали, що параметрична ідентифікація математичних моделей була проведена з прийнятною точністю.

Проводимо синтез імітаційної моделі каналів ОК в абсолютних значеннях. Реалізуємо у вигляді схеми моделювання модель каналів ОК з урахуванням моделей статички. Отримані математичні моделі ОК було реалізовано у середовищі імітаційного моделювання у вигляді схеми (рис.2.22) [9].

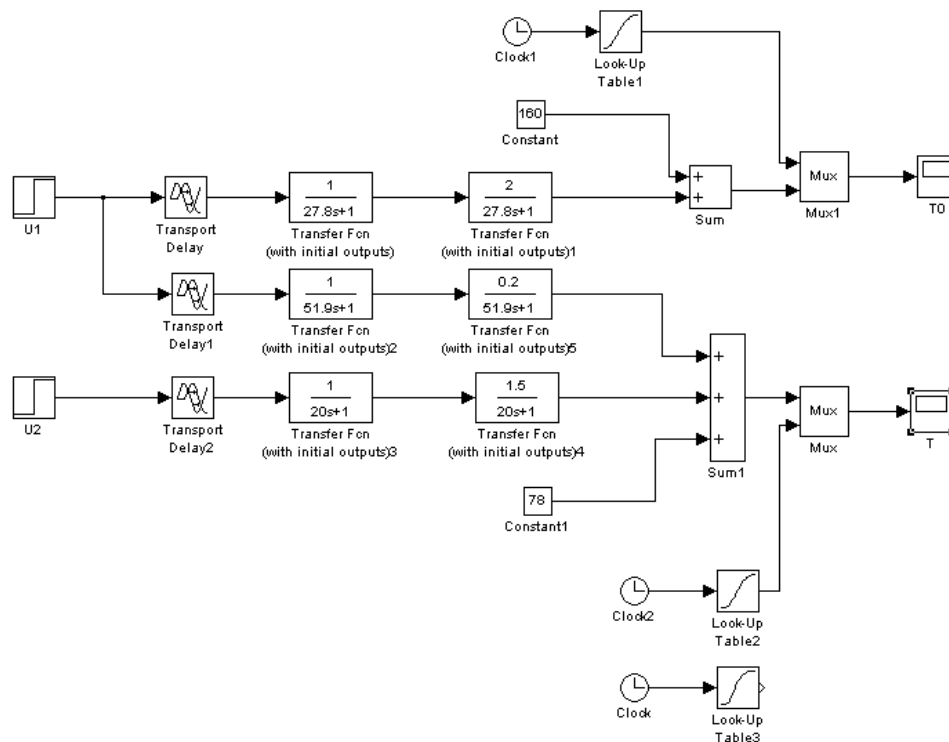


Рисунок 2.22 – Схема моделювання повної моделі ОК

Проводимо комп'ютерні експерименти порівняння експериментальних даних з моделлю. Результати наведено на рис 2.23 – 2.25.

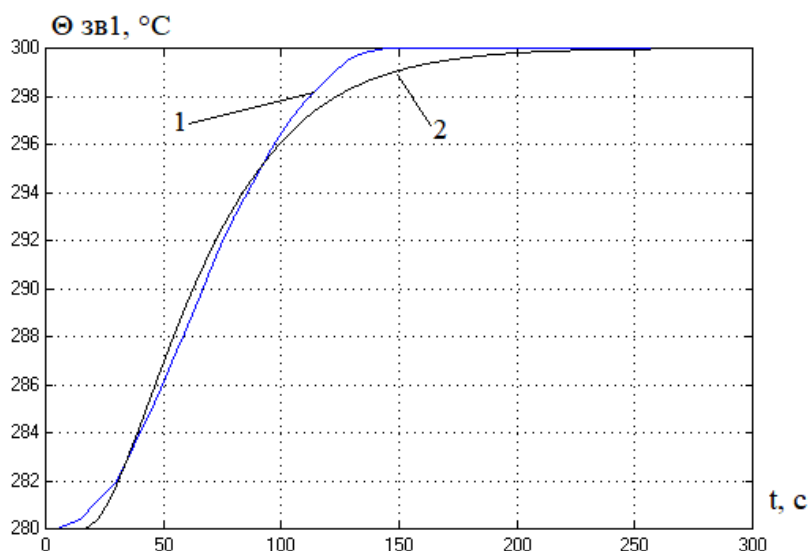


Рисунок 2.23 - Результати моделювання за каналом «U1 - Θзв1».

- 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних;
- 2 – модель 2-го порядку з урахуванням моделей статички

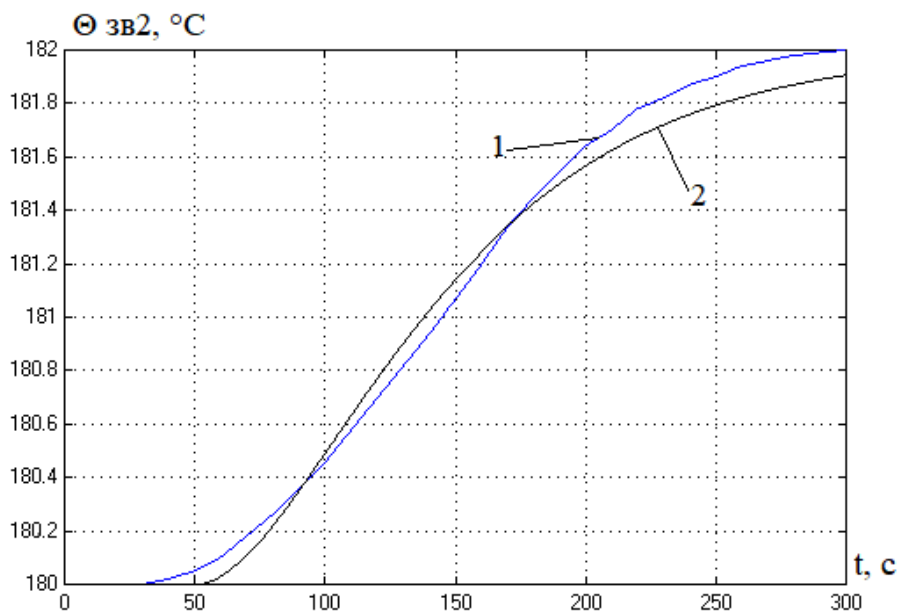


Рисунок 2.24 - Результати моделювання за каналом «U1 – $\Theta_{зв2}$ »

- 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних;
- 2 – модель 2-го порядку з урахуванням моделей статички

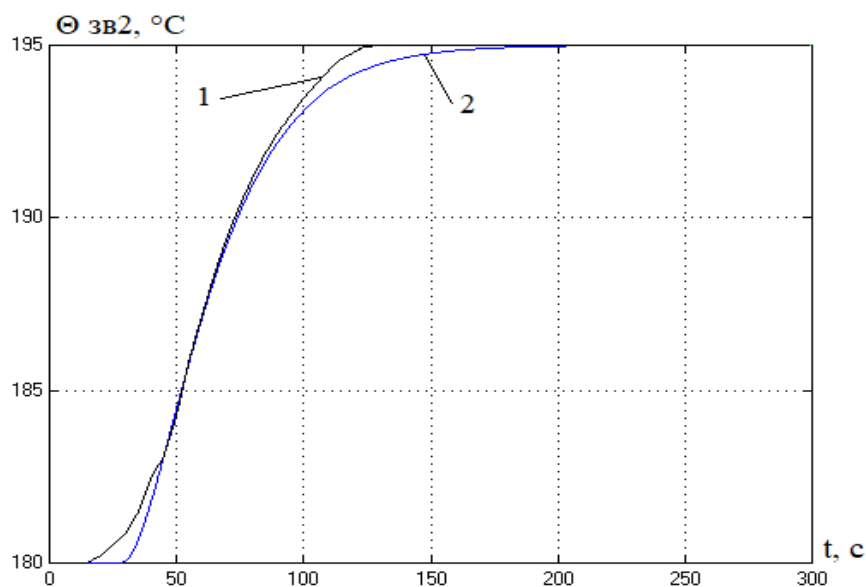


Рисунок 2.25 - Результати моделювання за каналом «U2 – $\Theta_{зв2}$ »

- 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних;
- 2 – модель 2-го порядку з урахуванням моделей статички

Відтворюємо моделі збурення у середовищі імітаційного моделювання. Розробляємо схему відтворення моделі збурення в середовищі імітаційного моделювання. Базова модель випадкового процесу наведена на рис 2.26.

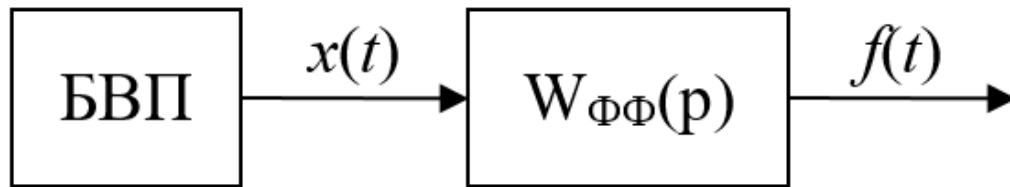


Рисунок 2.26 - Базова модель випадкового процесу

Проводимо розрахунки параметрів формуючого фільтра та попередні розрахунки для відтворення моделі збурення.

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

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

$$R_f(\tau_x) = D_f e^{-\alpha|\tau_x|} \cdot \left(\cos(\beta|\tau_x|) + \frac{\alpha}{\beta} \sin(\beta|\tau_x|) \right); S_f(\omega) = \frac{D_f 4\alpha(\alpha^2 + \beta^2)}{(\omega^2 - \beta^2 - \alpha^2)^2 + 4\alpha^2 \omega^2}$$

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

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

Бачимо, що
$$W_{\Phi\Phi}(j\omega) = \frac{2\sqrt{D_f \alpha(\alpha^2 + \beta^2)}}{(j\omega)^2 + 2\alpha j\omega + \alpha^2 + \beta^2}$$

А після заміни
$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{2\sqrt{D_f \alpha(\alpha^2 + \beta^2)}}{p^2 + 2\alpha p + \alpha^2 + \beta^2} = \frac{2\sqrt{D_f \alpha(\alpha^2 + \beta^2)}}{(\alpha^2 + \beta^2) \left(\frac{1}{\alpha^2 + \beta^2} p^2 + \frac{2\alpha}{\alpha^2 + \beta^2} p + 1 \right)}$$

Далі маємо
$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\vartheta T p + 1}$$

$$k = \frac{2}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{D_f \alpha}{\alpha^2 + \beta^2}}$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}$$

$$\vartheta = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}$$

$$\hat{M}_f = 180; D_x = 0,1; \hat{\sigma}_f = 0,3165; \hat{\alpha} = 0,0025; \hat{\beta} = 0,0051$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma_f}{2} = \frac{0,3165}{2} = 0,1583;$$

$$\Delta t_\Gamma = \frac{1}{(2 \dots 3)\alpha} = \frac{1}{3 \cdot 0,0025} \dots \frac{1}{2 \cdot 0,0025} = 133 \dots 200 \approx 150c$$

$$S_x(\omega) = \sigma_x^2 \cdot \frac{2 \cdot \Delta t_\Gamma}{3} = 0,1583^2 \cdot \frac{2 \cdot 150}{3} = 2,5$$

$$k = \frac{2}{S_x(\omega)} \cdot \sqrt{\frac{D_f \alpha}{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{2}{2,5} \cdot \sqrt{\frac{0,1 \cdot 0,0025}{0,0025^2 + 0,0051^2}} =$$

$$= \frac{2}{2,5} \cdot \sqrt{\frac{0,00025}{0,00000625 + 0,000026}} = 2,23$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,0025^2 + 0,0051^2}} = \frac{1}{\sqrt{0,00000625 + 0,000026}} = 176$$

$$\vartheta = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} = \frac{\alpha}{\sqrt{0,0025^2 + 0,0051^2}} = \frac{0,0025}{\sqrt{0,00000625 + 0,000026}} = 0,44$$

$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{2,23}{176^2 p^2 + 2 \cdot 0,44 \cdot 176 p + 1} = \frac{2,23}{30976 p^2 + 154,9 p + 1}$$

Для моделювання використовується метод формуючого фільтру, суть якого полягає в пропусканні базового випадкового процесу з властивостями «білого шуму» через спеціально розрахований формуючий фільтр з метою отримати параметри моделі випадкового процесу, що максимально відтворюють оціночні параметри

Тепер потрібно розробити схему моделювання (рис 2.27), провести моделювання для розрахункових параметрів формуючого фільтру, оцінити похибку відтворення моделі збурення. Результати моделювання наведені на рис. 2.28 та рис. 2.29.

Налаштування елемента Band-Limited White Noise:

$$\text{Noise power} = S_x(\omega) = 2,5;$$

$$\text{Sample time} = \Delta t_\Gamma = 150 \text{ c};$$

$$\text{Seed} = 1.$$

$$\text{Кількість точок моделювання } N = 1024$$

$$T_p = N \cdot \Delta t_\Gamma = 1024 \cdot 150 = 153600 \text{ c}$$

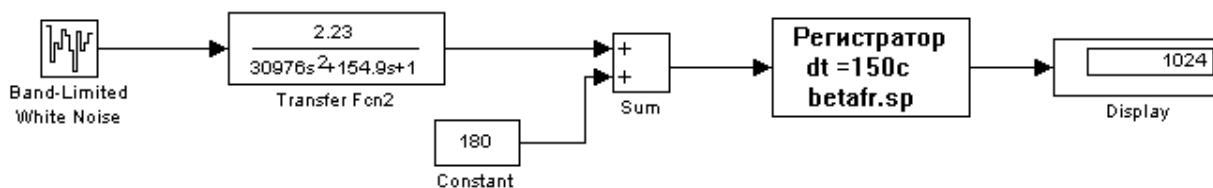


Рисунок 2.27 - Схема моделювання стохастичної складової із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

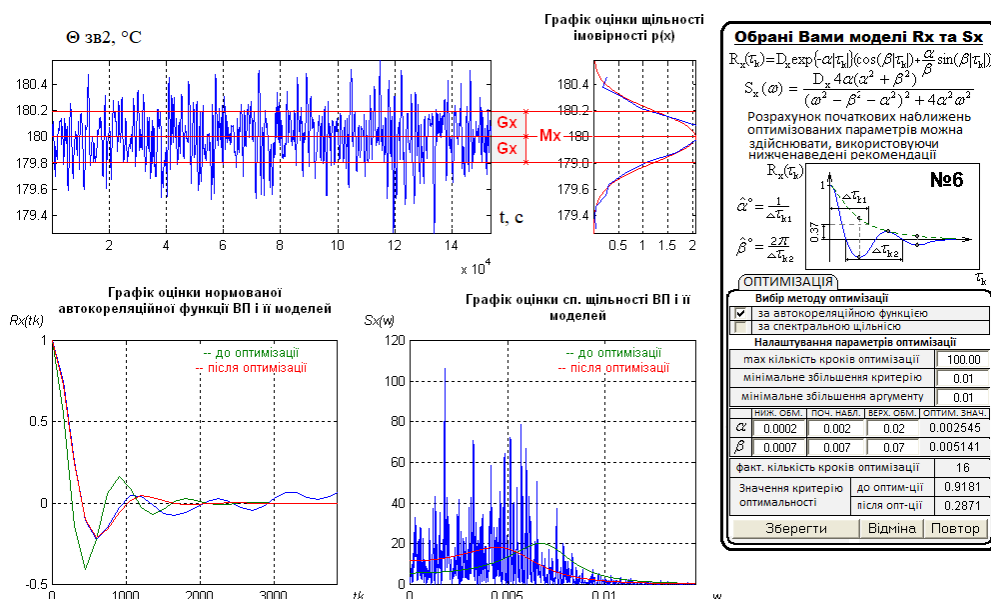


Рисунок 2.28 – Результат моделювання неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

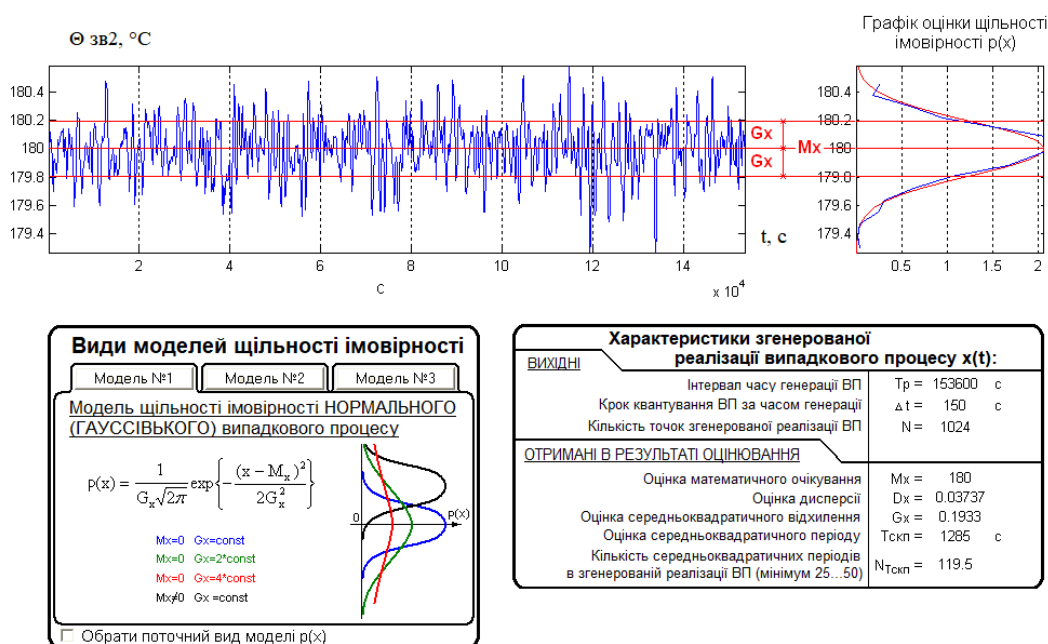


Рисунок 2.29 – Підсумковий результат моделювання неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \hat{M}_f|}{|M_f|} \cdot 100\% = \frac{|180 - 180|}{180} \cdot 100\% = 0\%$$

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \hat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|0,1933 - 0,3165|}{0,1933} \cdot 100\% = 63,7\%$$

$$\Delta \alpha = \frac{|\alpha - \hat{\alpha}|}{\alpha} \cdot 100\% = \frac{|0,002545 - 0,0025052|}{0,002545} \cdot 100\% = 1,5\%$$

$$\Delta \beta = \frac{|\beta - \hat{\beta}|}{\beta} \cdot 100\% = \frac{|0,005141 - 0,0051076|}{0,005141} \cdot 100\% = 0,6\%$$

За необхідності коригуємо параметри формуючого фільтра, наводимо кінцеве моделювання збурення та оцінюємо похибку відтворення моделі.

Похибка відтворення σ перевищує 5%, тому проведемо коригування коефіцієнту передачі формуючого фільтра. Результати скорегованого моделювання наведено на рис. 2.30 та рис 2.31.

$$k = \frac{\hat{\sigma}}{\sigma} \cdot k_{\Pi} = \frac{0,3165}{0,1933} \cdot 2,23 = 3,65$$

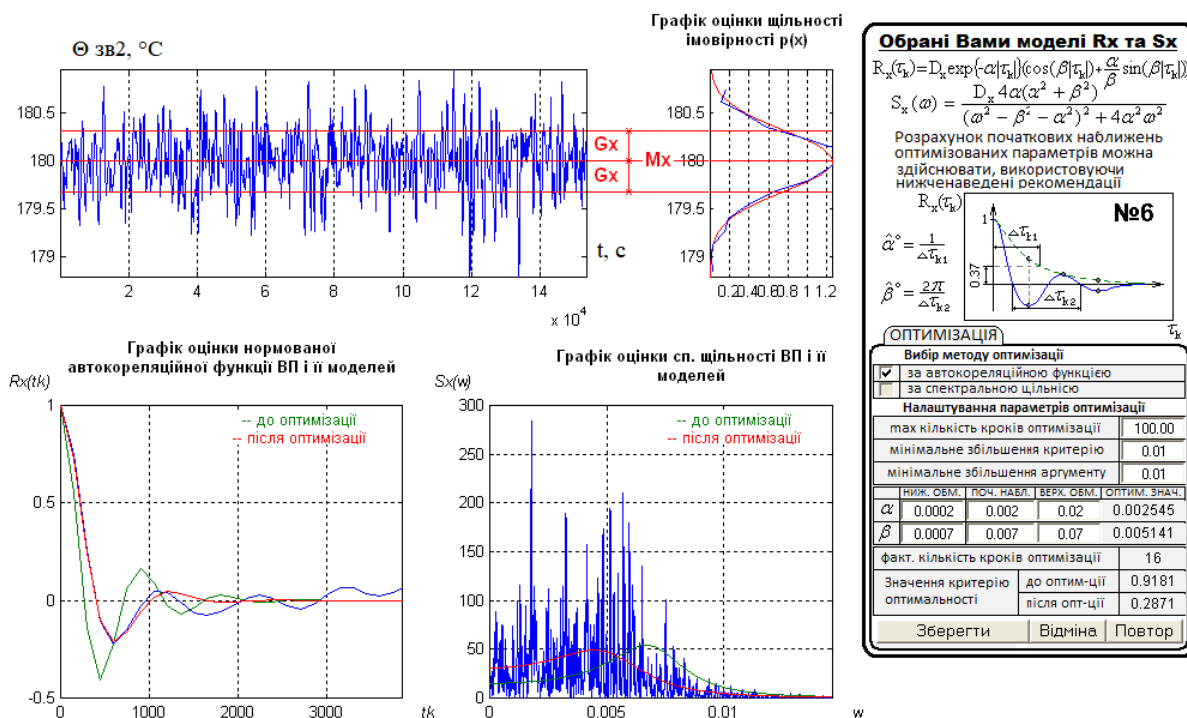
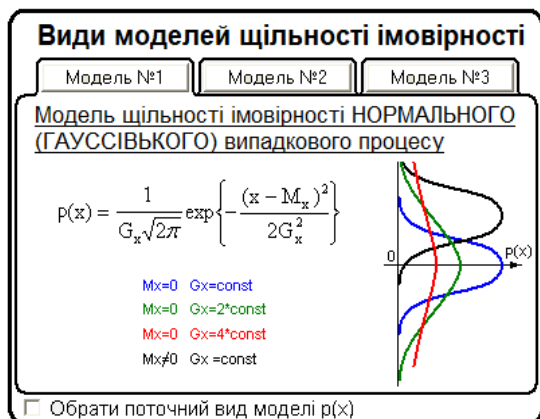
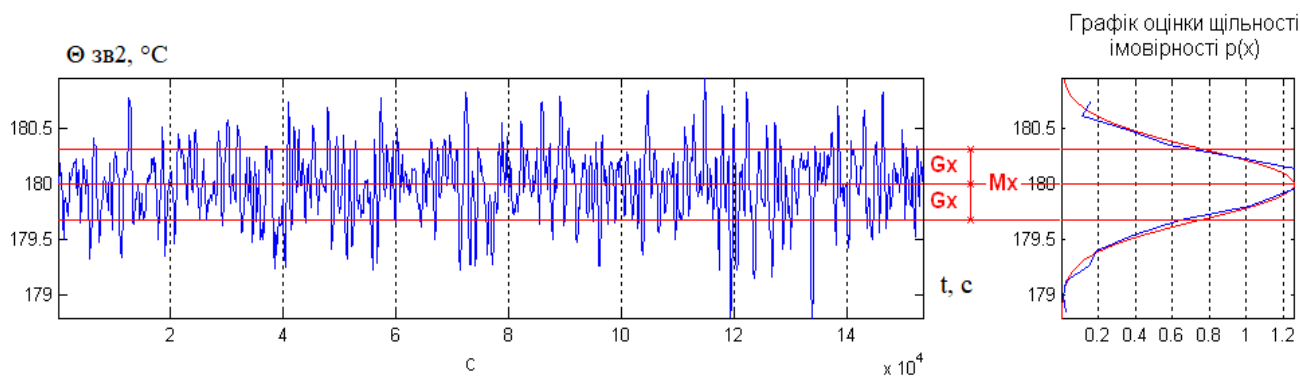


Рисунок 2.30 – Скорегований результат моделювання неконтрольованих збурень із корегованими параметрами формуючого фільтра



Характеристики згенерованої реалізації випадкового процесу $x(t)$:	
ВИХІДНІ	
Інтервал часу генерації ВП	$T_p = 153600 \text{ c}$
Крок квантування ВП за часом генерації	$\Delta t = 150 \text{ c}$
Кількість точок згенерованої реалізації ВП	$N = 1024$
ОТРИМАНІ В РЕЗУЛЬТАТІ ОЦІНЮВАННЯ	
Оцінка математичного очікування	$M_x = 180$
Оцінка дисперсії	$D_x = 0.1001$
Оцінка середньоквадратичного відхилення	$G_x = 0.3164$
Оцінка середньоквадратичного періоду	$T_{\text{скп}} = 1285 \text{ c}$
Кількість середньоквадратичних періодів в згенерованій реалізації ВП (мінімум 25...50)	$N_{\text{Тскп}} = 119.5$

Рисунок 2.31 – Підсумковий скорегований результат моделювання неконтрольованих збурень із корегованими параметрами формуючого фільтра

Оцінимо повторно точність відтворення параметрів у моделі.

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \hat{M}_f|}{|M_f|} \cdot 100\% = \frac{|180 - 180|}{180} \cdot 100\% = 0\%$$

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \hat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|0,3164 - 0,3165|}{0,3164} \cdot 100\% = 0,03\%$$

$$\Delta \alpha = \frac{|\alpha - \hat{\alpha}|}{\alpha} \cdot 100\% = \frac{|0,002545 - 0,0025052|}{0,002545} \cdot 100\% = 1,5\%$$

$$\Delta \beta = \frac{|\beta - \hat{\beta}|}{\beta} \cdot 100\% = \frac{|0,005141 - 0,0051076|}{0,005141} \cdot 100\% = 0,6\%$$

Кінцева передатна функція формуючого фільтра:

$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{3,65}{30976p^2 + 154,9p + 1}$$

Як висновок, можемо підкреслити, що в якості базової моделі відтворення неконтрольованого збурення, як випадкового процесу, прикладеного до Θ_{zv2} , було обрано метод формуючого фільтра, за яким базовий випадковий процес з властивостями «білого шуму» пропущено через спеціально розрахований та скоригований формуючий фільтр. Як показали розрахунки, за математичним очікуванням, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнтом спаду α і коефіцієнтом коливальності похибка відтворення моделей випадкового процесу не перевищує 5%, тобто є достатнім.

При виконанні даного розділу провели синтез імітаційної моделі каналів ОК в абсолютних значеннях. Основою імітаційною моделі склали моделі каналів ОК другого порядку та моделей статички. Порівняння кусочно лінійних апроксимацій експериментальних даних з результатами моделювання показали, що відтворення моделей каналів ОК здійснено з прийнятною точністю.

3 Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САК

3.1 Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом

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

Із загальної мети керування можна виділити окремі задачі:

-підтримання вихідних змінних об'єкту керування ($\Theta_{зв1}$, $\Theta_{зв2}$) на їх заданому значенні - задача регулювання.

-пристосування в процесі роботи об'єкту керування до його змінних властивостей - задача адаптації;

-забезпечення ефективних режимів роботи об'єкту керування - задача оптимізації;

-забезпечити ввімкнення і вимкнення при пусках, зупинках, аварійних ситуаціях - задача логічного керування.

Для якісної і економічно доцільною реалізації технологічного процесу випічки хліб необхідно регулювати температуру в зоні випічки 1 - $\Theta_{зв1}$, а також температуру в зоні випічки 2 - $\Theta_{зв2}$.

Для завдання адаптації необхідна автоматизація пристосування в процесі роботи об'єкта управління до його змінних властивостей, заданим. Розглянутий технологічний процес є об'єктом неперервної дії. Властивості продукту істотно впливають на динамічні властивості об'єкта. Але ці властивості в процесі роботи установки на тривалому інтервалі часу змінюються мало. Цю задачу можна вирішити, змінюючи (коригуючи) налаштування регуляторів в процесі роботи установки.

Для задачі оптимізації слід автоматизувати пошук оптимального протікання процесу, мінімізувати витрати енергії, брак готової продукції, збільшити продуктивність обладнання. Для процесу випічки хліба цю задачу можна вирішити, підвищивши вимоги до розв'язання задачі регулювання. Головним джерелом

підвищення економічної ефективності цього процесу є зниження браку при реалізації технологічного процесу.

Процес випічки хліба в тунельній печі є об'єктом неперервної дії. Для нього є характерним тривалий робочий режим, на який об'єкт виводять в дистанційному режимі. Режими пуску і зупинки є неекономічними режимами роботи установки. Підвищення економічної ефективності роботи цього процесу в режимах пуску і зупинки можна досягти, автоматизувавши ці завдання. Тому для даного технологічного процесу актуальна автоматизація задачі логічного керування.

Потрібно розробити структурну схему САК базової (найпростішої структури), обрати типові алгоритми регулювання, записати критерій, за яким проводитиметься оптимальний параметричний синтез САК, зобразити регламентні зони ОК.

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

Для якісної і економічно доцільною реалізації технологічного процесу випічки хліб необхідно регулювати температуру в зоні випічки 1 - $\Theta_{зв1}$ на рівні $280^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, а також температуру в зоні випічки 2 - $\Theta_{зв2}$ на рівні $180^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$. За регульованими параметрами припустимим є короткочасні відхилення $\pm 10^{\circ}\text{C}$ на час 100 с. та 120 с. відповідно. Регламентні зони позначено на рис 3.1 та рис 3.2.

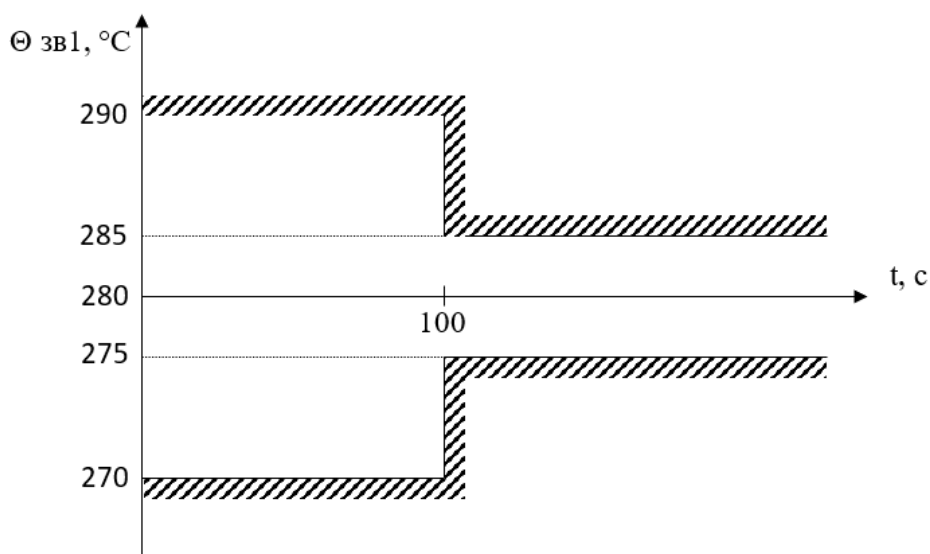


Рисунок 3.1 – Регламентна зона для температури в зоні випічки 1 ($\Theta_{зв1}$).

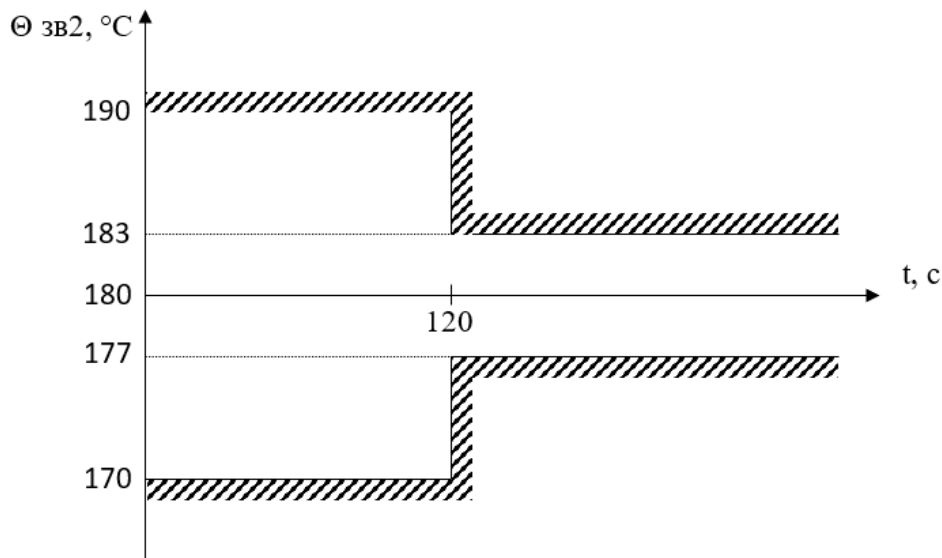


Рисунок 3.2 – Регламентна зона для температури в зоні випічки 2 ($\Theta_{зв2}$).

Формалізація інтегральних вимог до перехідних та динамічно сталих процесів регулювання у формі інтегральних критеріїв оптимальності САК.

Як видно з регламентів на САК для процесу випічки хліба особливо жорсткі вимоги пред'являються до короткочасних відхилень, так як саме недотримання цих регламентів може призвести до відхилення від заданого режиму, браку і суттєвих економічних збитків. При цьому малі відхилення регламентуються дуже жорстко. Тому в якості інтегрального критерію застосуємо саме інтегральний модульний критерій. Ефективність роботи САК температури і підвищення її динамічної точності доцільно вести за таким критерієм:

Основу керування становить інформація про мету керування або про бажаний стан ОК \bar{y}^* , про поточний стан ОК \bar{y} та про збуреннях \bar{f} . Залежно від обсягу використовуваної керуючим пристроєм (КП) інформації про ОК виділяють чотири принципи побудови САК: принцип розімкнутого твердого (програмного) керування; принцип розімкнутого керування по збурюванню; принцип замкнутого керування по стані ОК або керування зі зворотним зв'язком; комбінований принцип керування.

Для системи керування процесом випікання хлібобулочних виробів у тунельній печі доступна інформація про бажаний стан ОК (T) та про поточний стан ОК (L). Такий обсяг інформації для формування керуючого впливу (u) достатній для реалізації замкнутого принципу керування.

Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САК температури випікання базової структури. Структурна схема цього принципу управління приведена на рис. 3.3.

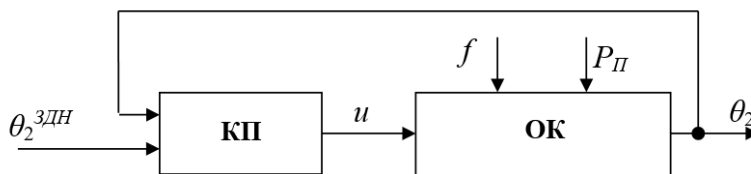


Рисунок 3.3 – Структурна схема системи керування, що відповідає замкненому принципу керування

Синтез САК проводився в два етапи [10, 11]. На першому етапі було проведено синтез САК базової структури на основі замкненого принципу керування. В якості базових розглядалися ПІ та ПІД закони регулювання. Структурна схема САК базової структури наведена на рис 3.4.

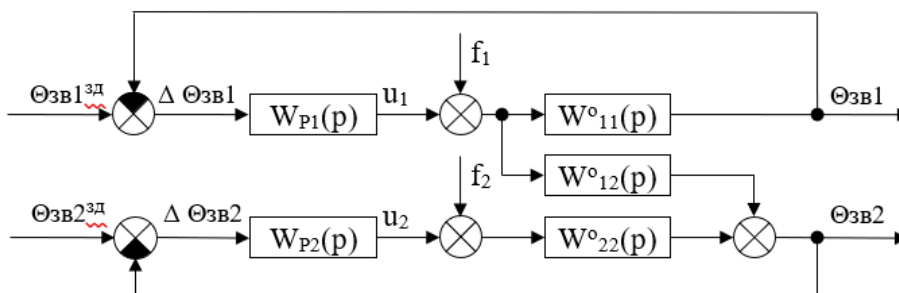


Рисунок 3.4 - Структурна схема САК базової (найпростішої) структури
На рисунку:

u – положення регулюючого органу;

$\Theta_{зв1}$ – температура в зоні випічки 1;

$\Theta_{зв2}$ – температура в зоні випічки 2;

f – вектор неконтрольованих збурень;

$W_P(p)$ – передавальна функція регулятора;

$\Theta_{зв1}/\Theta_{зв2}^{3д}$ – задане значення регульованої координати;

$\Delta \Theta_{зв1}/\Theta_{зв2}$ – помилка регулювання.

Рівняння руху ПІ-регулятора

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

Передавальна функція ПІ-регулятора

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

Рівняння руху ПІД-регулятора

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

Передавальна функція ПІД-регулятора

$$W_P(p) = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{I3}p} + T_{yП}p\right) \quad (3.4)$$

Рівняння для такого критерію матиме вигляд:

$$J = \int_0^{t_M} \left[\frac{|\Delta\theta_{зв2}(t)|}{15} + \frac{|\Delta\theta_{зв1}(t)|}{20} \right] dt$$

3.2 Параметричний синтез і аналіз САК базової структури

Розробляємо схему цифрового імітаційного моделювання САК при детермінованих та стохастичних вхідних діях.

Проводимо розробку та налаштування схеми моделювання САК з ПІ- та ПІД-регуляторами (рис. 3.5). Реалізація моделі ОК приведена на рис. 3.6.

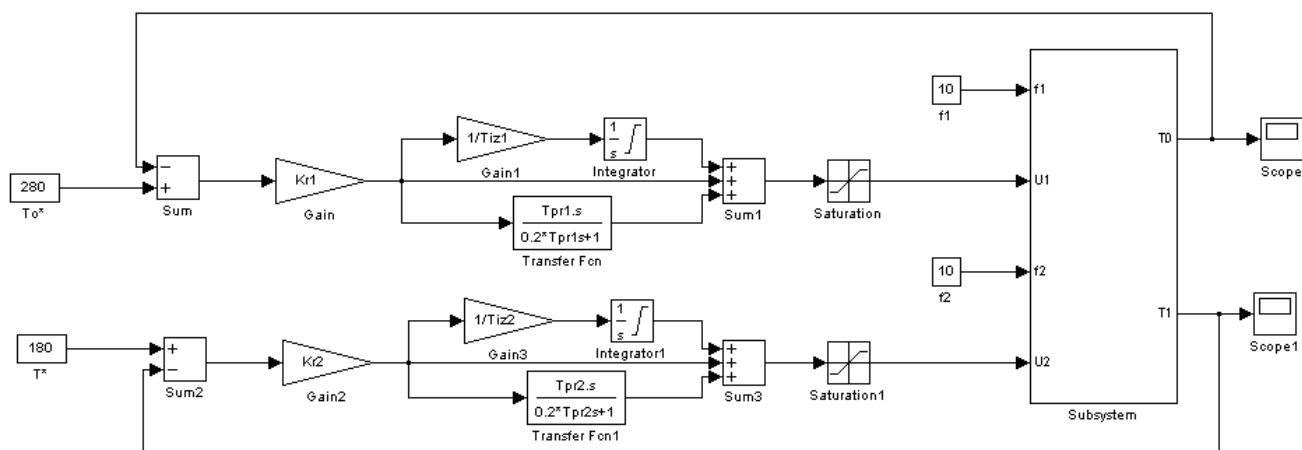


Рисунок 3.5– Реалізація моделі САК з ПІД-регулятором в середовищі Simulink

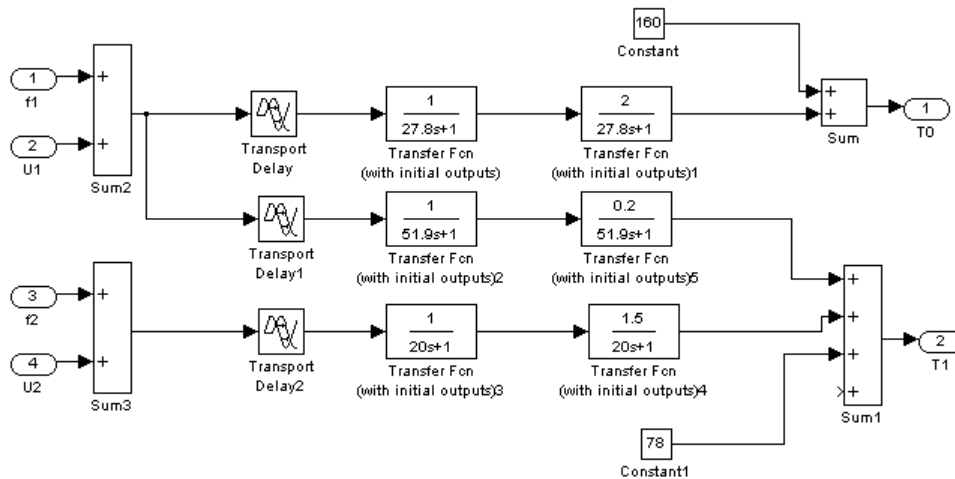


Рисунок 3.6– Реалізація моделі ОК в середовищі Simulink

Параметричний синтез САК з різними варіантами типових алгоритмів регулювання і їх порівняльний аналіз для детермінованих вхідних дій. Розрахунок початкових наближень налаштувань регуляторів [12].

$$W_{U_1-\Theta_{ЗВ1}}^0(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{Tp + 1};$$

Розрахунок налаштувань ПІ-регуляторів

Регулятор $W_{P1}(p)$

$$K_{P1} = \frac{0,8 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{0,8 \cdot 41,8}{2 \cdot 35,3} = 0,47 \% \text{х.р.о. } / ^\circ \text{C}$$

$$T_{I31} = 2,5 \cdot \tau_O = 2,5 \cdot 35,3 = 88,25 \text{ с}$$

Регулятор $W_{P2}(p)$

$$K_{P2} = \frac{0,8 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{0,8 \cdot 29,3}{1,5 \cdot 40,8} = 0,38 \% \text{х.р.о. } / ^\circ \text{C}$$

$$T_{I32} = 2,5 \cdot \tau_O = 2,5 \cdot 40,8 = 102 \text{ с}$$

Розрахунок налаштувань ПІД-регуляторів

Регулятор $W_{P1}(p)$

$$K_{P1} = \frac{1,0 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,0 \cdot 41,8}{2 \cdot 35,3} = 0,59 \% \text{х.р.о. } / ^\circ \text{C}$$

$$T_{I31} = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 35,3 = 70,6 \text{ с}$$

$$T_{УП1} = 1,0 \cdot \tau_O = 1,0 \cdot 35,3 = 35,3 \text{ с}$$

Регулятор $W_{P2}(p)$

$$K_{P2} = \frac{1,0 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,0 \cdot 29,3}{1,5 \cdot 40,8} = 0,48 \% \text{х.р.о. } / ^\circ \text{C}$$

$$T_{I32} = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 40,8 = 81,6 \text{ с}$$

$$T_{УП2} = 1,0 \cdot \tau_O = 1,0 \cdot 40,8 = 40,8 \text{ с}$$

Розробка структурної схеми САК і проведення оптимального параметричного синтезу САК з ПІ- та ПІД-регуляторами.

Для оптимального параметричного синтезу САК з ПІ-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.7. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рис. 3.8.

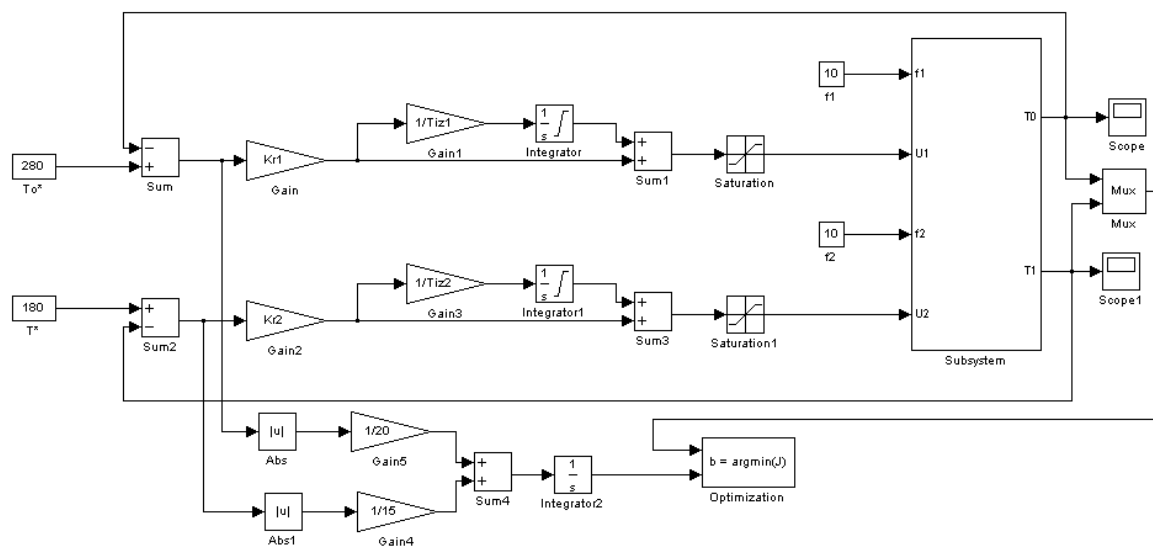
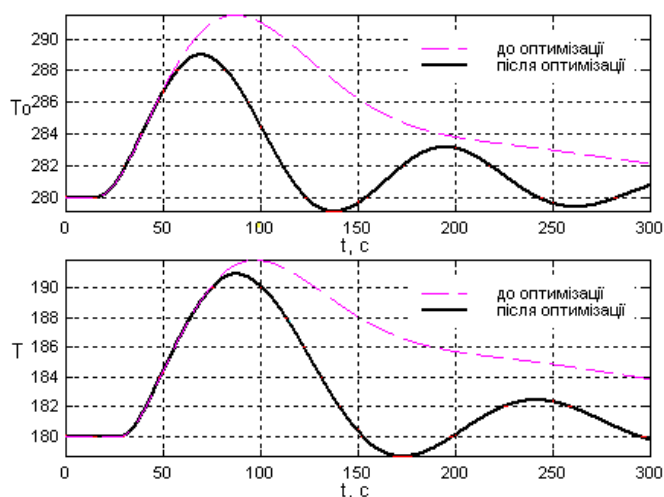


Рисунок 3.7- Реалізація моделі САК для оптимізації налаштувань ПІ-регулятора в середовищі Simulink



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності: До - 201.8623 після - оптимізації - 99.4942
Kr1	1.1665	0	0.47	5	
Tiz1	84.1337	1	88.25	500	Кількість кроків процедури оптимізації: максимальна - 1000 фактична - 289
Kr2	0.7035	0	0.38	4	
Tiz2	60.6732	1	102	500	

Рисунок 3.8– Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора

Для оптимального параметричного синтезу САК з ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.9. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рис. 3.10.

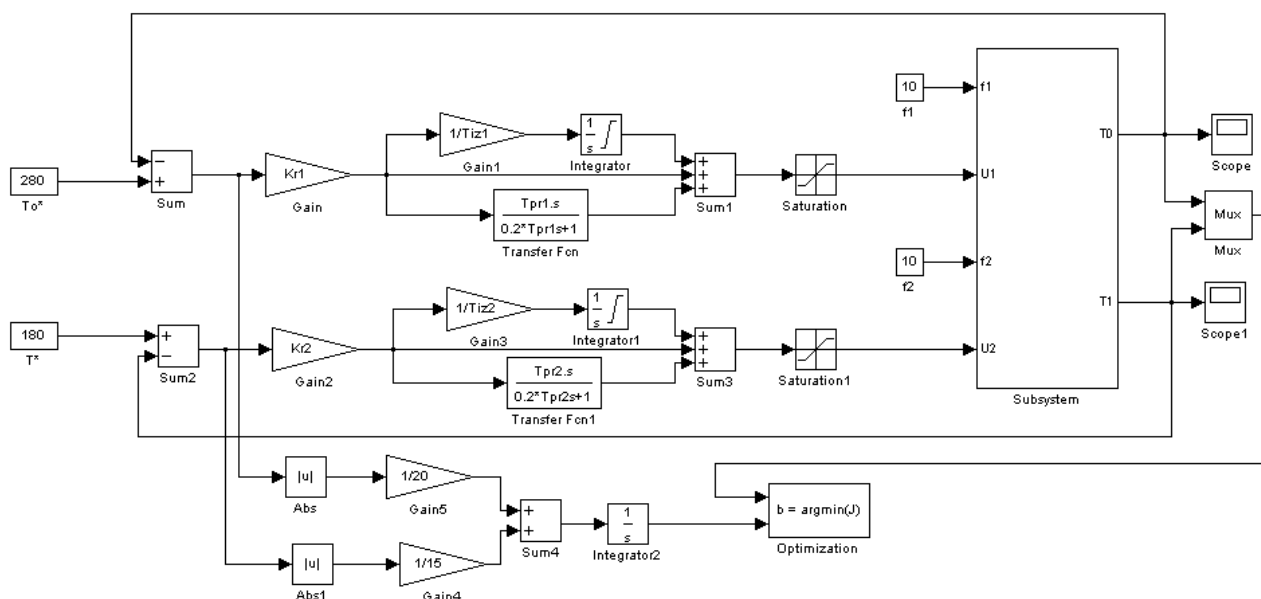
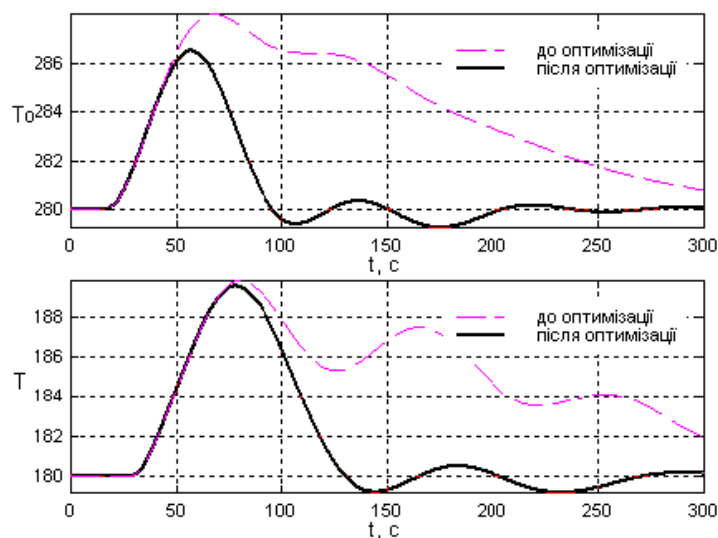


Рисунок 3.9 - Реалізація моделі САК для оптимізації налаштувань ПІД-регулятора в середовищі Simulink



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kr1	1.4365	0	0.59	6	до - 155.5306
Tiz1	35.837	1	70.6	200	після - 55.5172
Tpr1	16.6688	0	35.3	200	оптимізації.
Kr2	0.79953	0	0.48	5	Кількість кроків процедури оптимізації:
Tiz2	38.9509	1	81.6	200	максимальна - 1000
Tpr2	17.6411	0	40.8	200	фактична - 617

Рисунок 3.10– Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора

Проводимо порівняльний аналіз САК з ПІ-регуляторами до і після оптимізації та порівняльний аналіз САК з ПІД-регуляторами до і після оптимізації. Результати порівняння САК наведено в табл. 3.1 та табл. 3.2.

Таблиця 3.1 - Результати порівняння САК з ПІ-регуляторами до і після оптимізації

САК з ПІ-регулятором	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta \Theta_{зв1}^{МАКС}, ^\circ\text{C}$	$T_{ПП1}, \text{c}$	$\Delta \Theta_{зв2}^{МАКС}, ^\circ\text{C}$	$T_{ПП2}, \text{c}$	
до оптимізації	11,49	167,78	11,9	351,7	201,8623
після оптимізації	9	97,6	10,9	135,27	99,4942

Таблиця 3.2 - Результати порівняння САК з ПІД-регуляторами до і після оптимізації

САК з ПІД-регулятором	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta \Theta_{зв1}^{МАКС}, ^\circ\text{C}$	$T_{ПП1}, \text{c}$	$\Delta \Theta_{зв2}^{МАКС}, ^\circ\text{C}$	$T_{ПП2}, \text{c}$	
до оптимізації	8	159,5	9,81	281,5	155,5306
після оптимізації	6,49	70,3	9,53	113,5	55,5172

Проводимо порівняльний аналіз САК з ПІ- і ПІД-регуляторами. Реалізація моделей САК приведена на рис. 3.11 – 3.13, а результати порівняння показані на рис. 3.14, рис 3.15 та таблиці 3.3.

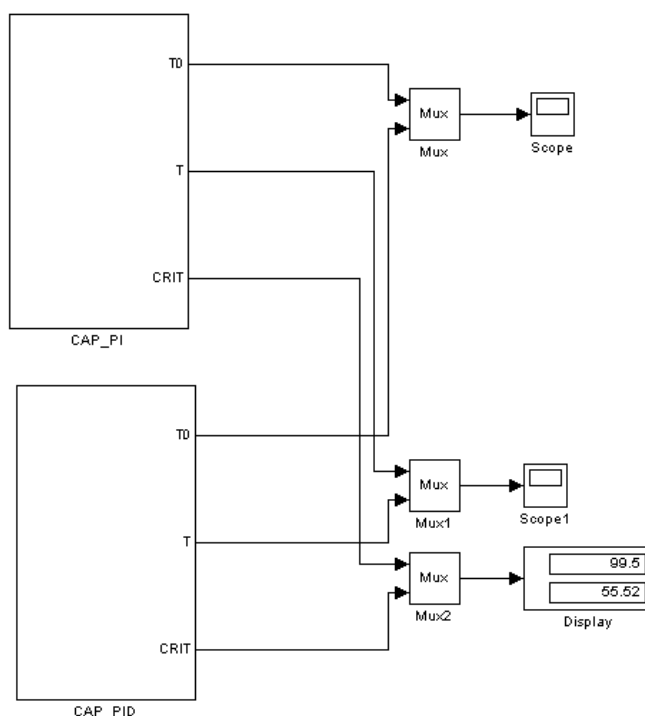


Рисунок 3.11 - Реалізація моделі для порівняльного аналізу варіантів САК в середовищі Simulink

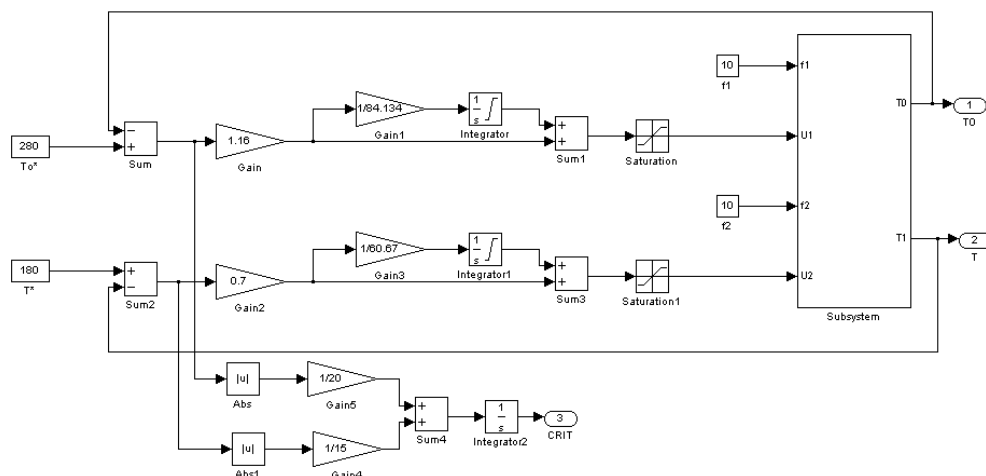


Рисунок 3.12 – Реалізація моделі САК з ПІ-регулятором в середовищі Simulink

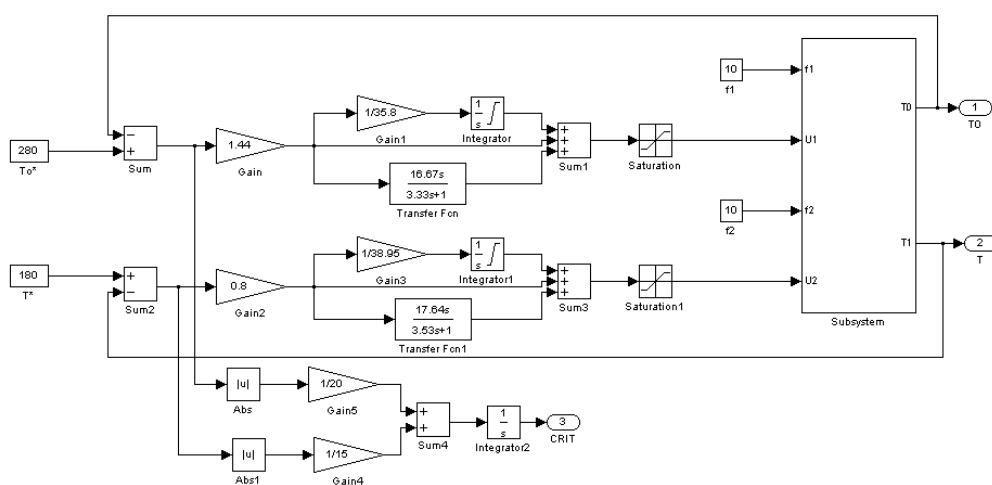


Рисунок 3.13 – Реалізація моделі САК з ПІД-регулятором в середовищі Simulink

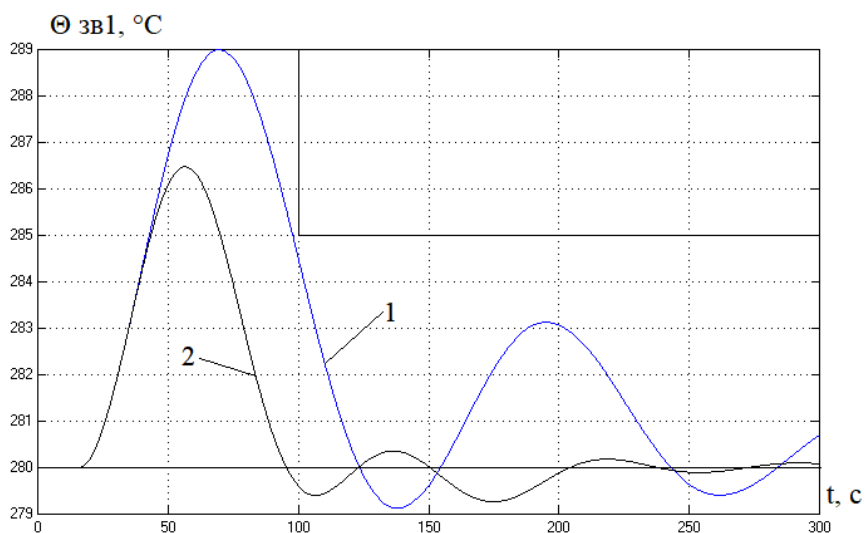


Рисунок 3.14 – Результат порівняння САК з ПІ- та ПІД-регуляторами (Θ зв1):

1 – САК з ПІ-регулятором; 2 – САК з ПІД-регулятором

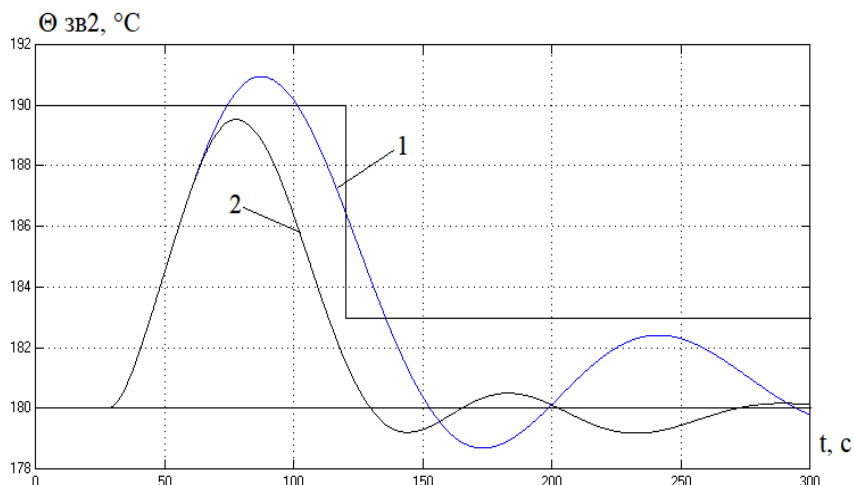


Рисунок 3.15– Результат порівняння САК з ПІ- та ПІД-регуляторами (Θ зв2) : 1 – САК з ПІ-регулятором; 2 – САК з ПІД-регулятором

Таблиця 3.3 – Результати порівняння варіантів САК

САК	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta \Theta_{зв1}^{МАКС}, ^\circ\text{C}$	$T_{ПП1}, \text{c}$	$\Delta \Theta_{зв2}^{МАКС}, ^\circ\text{C}$	$T_{ПП2}, \text{c}$	
ПІ	9	97,6	10,9	135,27	99,5
ПІД	6,49	70,3	9,53	113,5	55,52

Робимо висновок за результатами роботи даної частини.

1. САК з ПІ-регулятором не відповідає гранично припустимим вимогам по $\Theta_{зв2}$ за максимальним динамічним відхиленням, а по $\Theta_{зв1}$ відповідає за відхиленням та часом. САК з ПІД-регулятором по $\Theta_{зв1}$ та $\Theta_{зв2}$ гранично припустимим вимогам відповідають.

2. Для ПІ-регуляторів коефіцієнт передачі K_{P1} збільшився на 149 %, час ізодрому T_{I31} зменшився на 5%, коефіцієнт передачі K_{P2} збільшився на 84%, час ізодрому T_{I32} зменшився на 40%, максимальне динамічне відхилення $\Delta \Theta_{зв1}^{МАКС}$ зменшилося на 22%, час перехідного процесу за $\Delta \Theta_{зв1}^{МАКС}$ зменшився на 42%, максимальне динамічне відхилення $\Delta \Theta_{зв2}^{МАКС}$ зменшилося на 8%, час перехідного процесу за $\Delta \Theta_{зв2}^{МАКС}$ зменшилося на 62%, інтегральний показник якості зменшився на 51%.

Для ПІД-регуляторів коефіцієнт передачі K_{P1} збільшився на 142 %, час ізодрому T_{I31} зменшився на 49%, T_{PP1} зменшився на 53%, коефіцієнт передачі K_{P2} збільшився на 67%, час ізодрому T_{I32} зменшився на 52%, T_{PP2} зменшився на 57%, максимальне динамічне відхилення $\Delta \Theta_{зв1}^{МАКС}$ зменшилося на 19%, час перехідного процесу за $\Delta \Theta_{зв1}^{МАКС}$ зменшився на 56%, максимальне динамічне відхилення $\Delta \Theta_{зв2}^{МАКС}$ зменшилося

на 3%, час перехідного процесу за $\Delta \Theta_{зв2}^{МАКС}$ зменшилося на 60%, інтегральний показник якості зменшився на 64%.

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

4. В результаті введення до регулятора Д-складової САК за $\Theta_{зв2}$ почала відповідати гранично припустимим вимогам. Максимальне динамічне відхилення $\Delta \Theta_{зв1}^{МАКС}$ зменшилося на 28%; час перехідного процесу за $\Delta \Theta_{зв1}^{МАКС}$ зменшився на 28%; Максимальне динамічне відхилення $\Delta \Theta_{зв2}^{МАКС}$ зменшилося на 13%; час перехідного процесу за $\Delta \Theta_{зв2}^{МАКС}$ зменшився на 16%, інтегральний показник якості зменшився на 44%.

Проведемо аналіз грубості САК до варіацій параметрів ОК. Скоригуємо схеми моделювання САК з ПІ- та ПІД-регуляторами, щоб провести аналіз означених САК на грубість. Зробити висновки про грубість САК.

Дослідження САК на грубість будемо проводити в умовах варіації часів запізнення в каналах ОК на 20%.

Проведемо аналіз САК з ПІ- та ПІД-регуляторами на грубість. Результати перевірки наведено на рисунках 3.18 та 3.19. Схеми реалізації моделей для аналізу САК наведено на рис. 3.16 та рис 3.17.

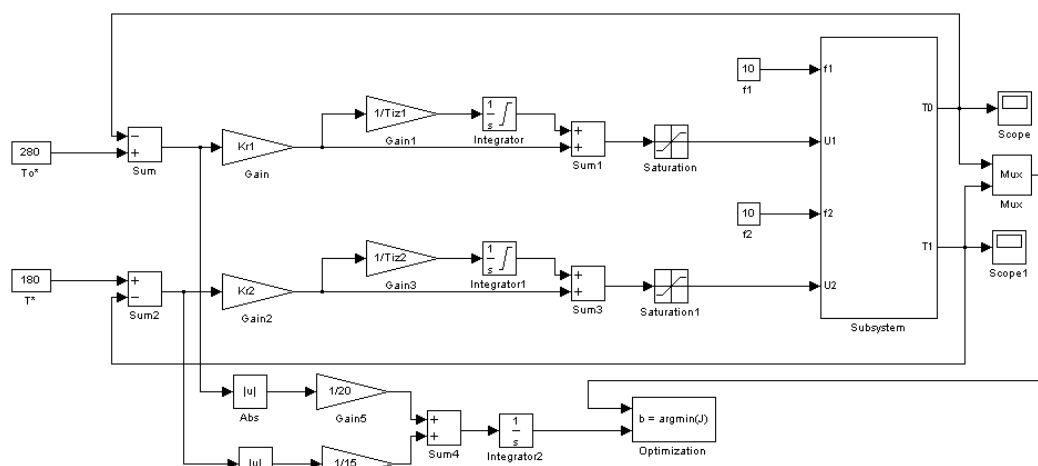


Рисунок 3.16 – Реалізація моделі для аналізу САК з ПІ-регулятором на грубість в середовищі Simulink

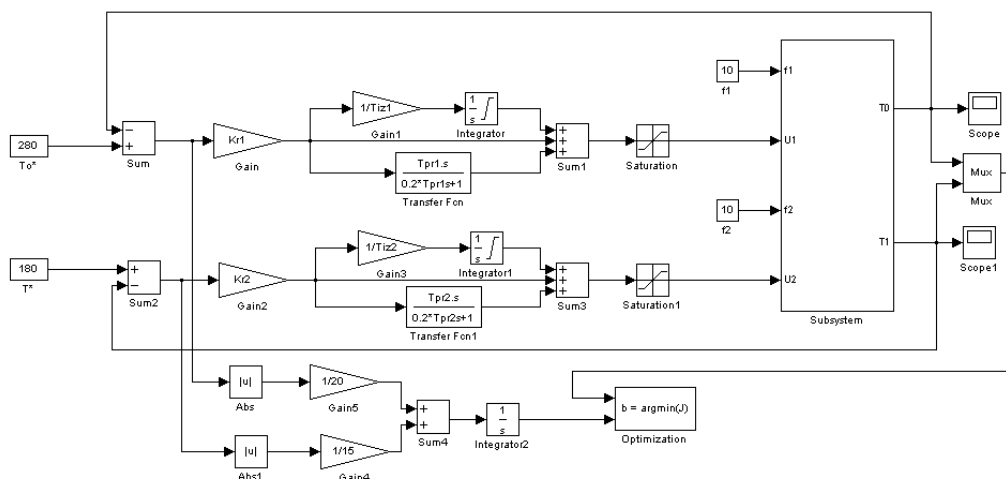


Рисунок 3.17 - Реалізація моделі для аналізу САК з ПІД-регулятором на грубість в середовищі Simulink

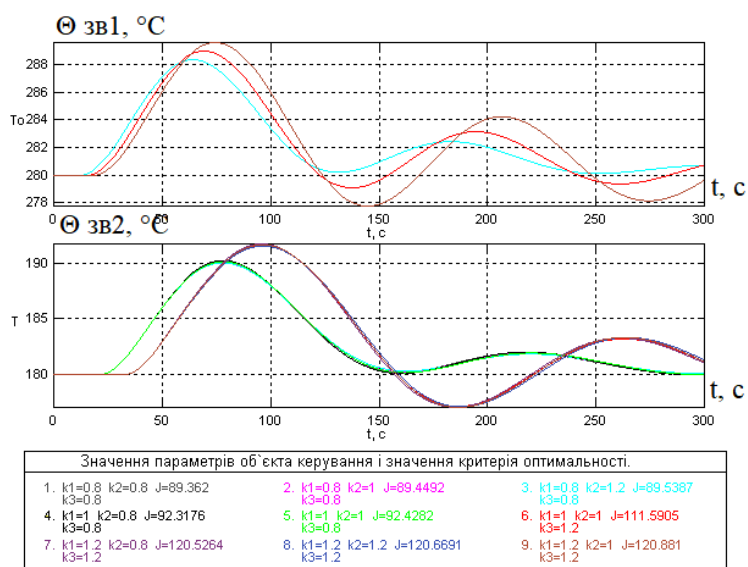


Рисунок 3.18 – Результати перевірки на грубість САК з ПІ-регуляторами

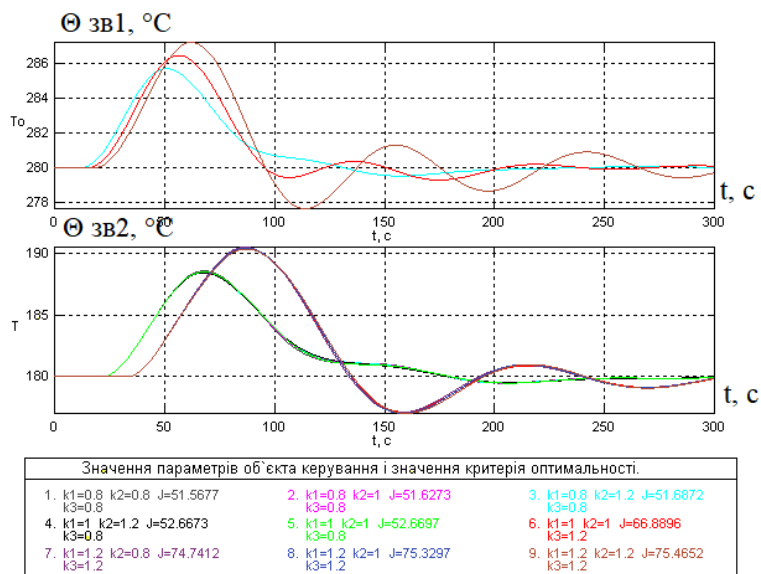


Рисунок 3.19 – Результати перевірки на грубість САК з ПІД-регуляторами

САК з ПІ- та ПІД-регуляторами є грубою. Так як САК виявилася грубою, то провести оптимальний параметричний синтез САК при найнесприятливішій для керування варіації параметрів ОК не потрібно.

Проведемо порівняльний аналіз САК при номінальних параметрах ОК, при параметрах ОК, «найсприятливіших» та «найнесприятливіших» для керування. Схема моделювання з ПІ-регулятором наведена на рис. 3.20, а результати наведено на рис. 3.21, рис 3.22 та таблиці 3.4.

«Найсприятливішою» для керування є САК з ПІ-регулятором з часами запізнення в каналах ОК, меншими на 20% від номінальних значень. «Найнесприятливішою» для керування є САК з ПІ-регулятором з часами запізнення в прямих каналах ОК, на 20% більших від номінальних значень, і в перехресному каналі ОК номінальне.

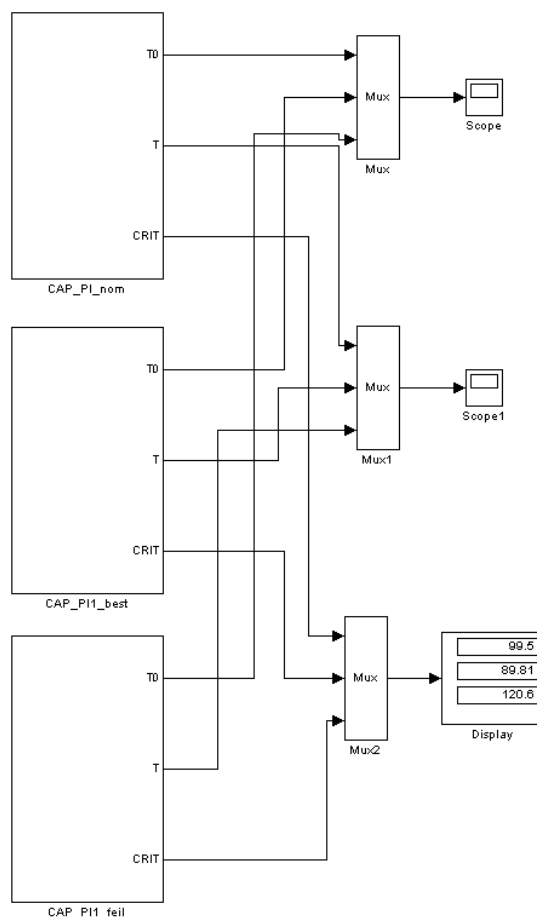


Рисунок 3.20 – Схема моделювання САК базової структури з ПІ-регулятором для порівняння варіантів з номінальним для керування параметрами ОК

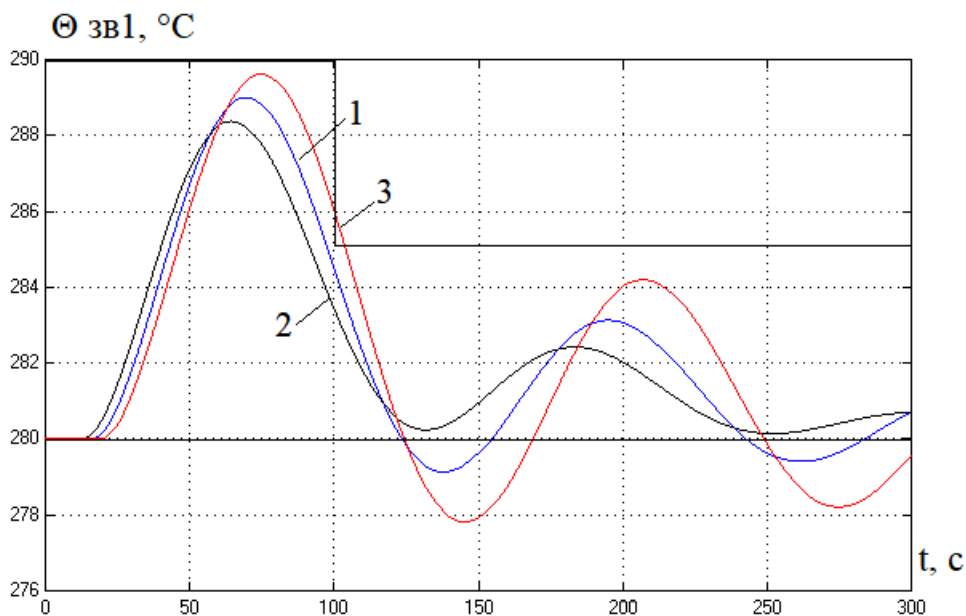


Рисунок 3.21 - Порівняльний аналіз САК з ПІ-регуляторами (Θ зв1). 1 – номінальні значення. 2 – найсприятливіші значення. 3 – найнесприятливіші значення.

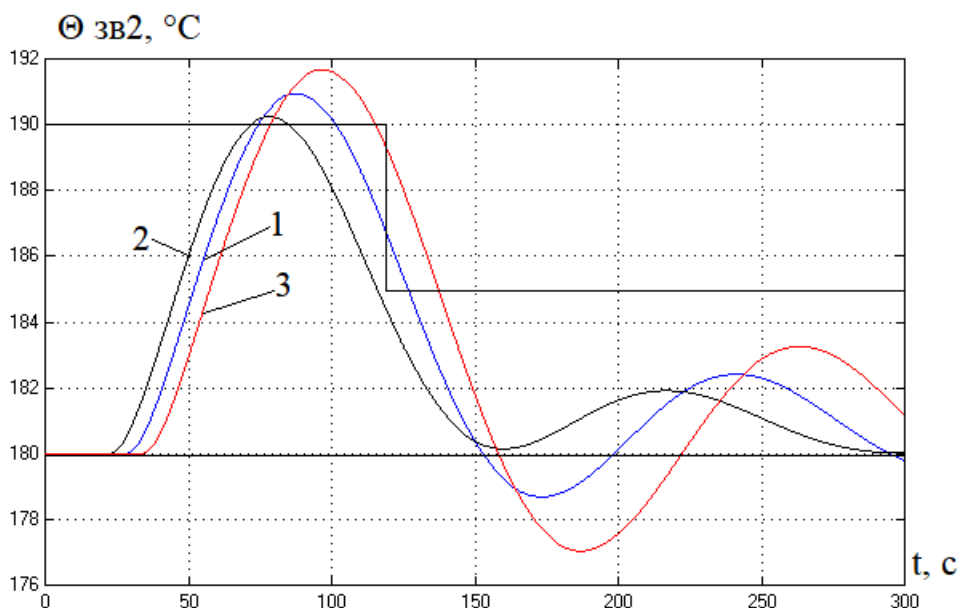


Рисунок 3.22 - Порівняльний аналіз САК з ПІ-регуляторами (Θ зв2). 1 – номінальні значення. 2 – найсприятливіші значення. 3 – найнесприятливіші значення.

Таблиця 3.4 - Порівняльний аналіз САК з ПІ-регуляторами

Варіант САК (параметри ОК)	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta \Theta$ зв1 ^{МАКС} , °C	$T_{ПІ1}$, с	$\Delta \Theta$ зв2 ^{МАКС} , °C	$T_{ПІ2}$, с	
номінальні	9	97,6	10,9	135,27	99,5
«найсприятливіші»	8,37	91,8	10,2	126,5	89,81
«найнесприятливіші»	9,6	104	11,7	145	120,6

Схема моделювання САК базової структури з ПІД-регулятором для порівняння наведена на рис. 3.23, а результати наведено на рис. 3.24, рис 3.25 та таблиці 3.5.

«Найсприятливішою» для керування є САК з ПІД-регулятором з часами запізнення в каналах ОК, меншими на 20% від номінальних значень. «Найнесприятливішою» для керування є САК з ПІД-регулятором з часами запізнення в каналах ОК, більшими на 20% від номінальних значень.

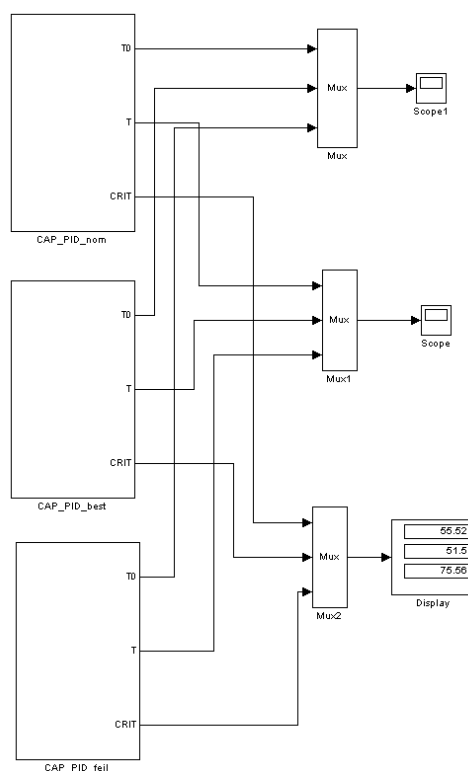


Рисунок 3.23 – Схема моделювання САК базової структури з ПІД-регулятором для порівняння варіантів з номінальним для керування параметрами ОК

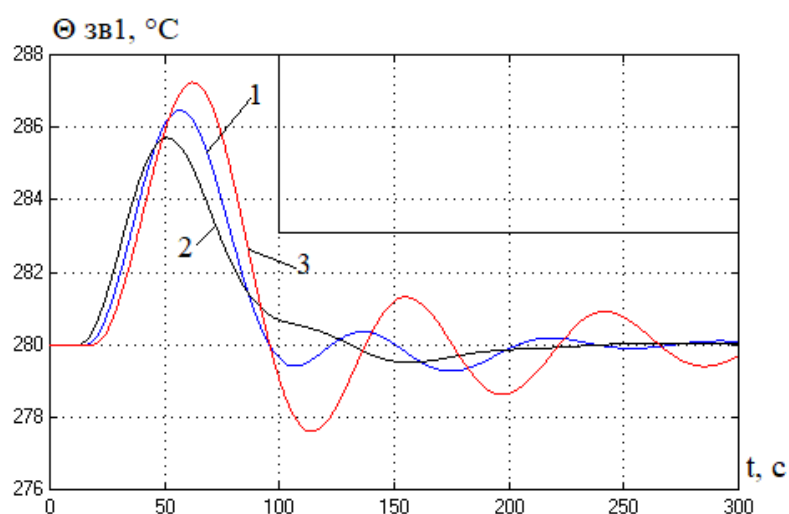


Рисунок 3.24 - Порівняльний аналіз САК з ПІД-регуляторами (Θ зв1). 1 – номінальні значення. 2 – найсприятливіші значення. 3 – найнесприятливіші значення

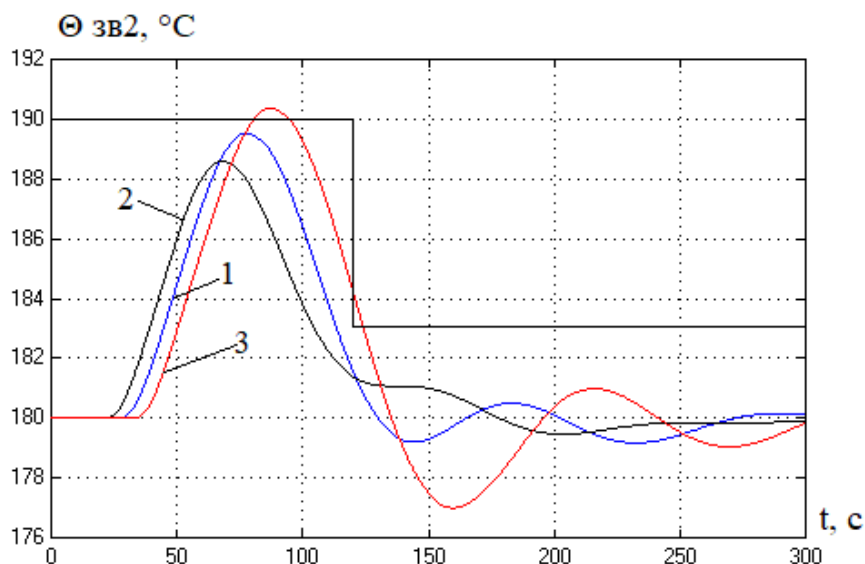


Рисунок 3.25 - Порівняльний аналіз САК з ПІД-регуляторами (Θ зв1). 1 – номінальні значення. 2 – найсприятливіші значення. 3 – найнесприятливіші значення

Таблиця 3.5 - Порівняльний аналіз САК з ПІД-регуляторами

Варіант САК (параметри ОК)	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta \Theta$ зв1 ^{МАКС} , °C	Т _{пш1} , c	$\Delta \Theta$ зв2 ^{МАКС} , °C	Т _{пш2} , c	
номінальні	6,49	70,3	9,53	113,5	55,52
«найсприятливіші»	5,71	61,1	8,6	104,6	51,5
«найнесприятливіші»	7,24	78,05	10,36	124,1	75,56

За результатами попереднього аналізу робимо висновки.

1. САК з ПІ- та ПІД-регуляторами є грубими, тому що в умовах 20%-ї варіації параметрів ОК ці САК дають перехідні процеси, що сходяться.

2. Для САК з ПІ-регуляторами різниця між «найсприятливішими» та «найнесприятливішими» для керування параметрами ОК за максимальним динамічним відхиленням $\Delta \Theta$ зв1^{МАКС} складає 13%; за часом перехідного процесу (Θ зв1) дорівнює 12%, за максимальним динамічним відхиленням $\Delta \Theta$ зв2^{МАКС} складає 13%; за часом перехідного процесу (Θ зв2) дорівнює 13%, за критерієм дорівнює 25,5%.

Для САК з ПІД-регуляторами різниця між «найсприятливішими» та «найнесприятливішими» для керування параметрами ОК за максимальним динамічним відхиленням $\Delta \Theta$ зв1^{МАКС} складає 21%; за часом перехідного процесу (Θ зв1) дорівнює 22%, за максимальним динамічним відхиленням $\Delta \Theta$ зв2^{МАКС} складає 17%; за часом перехідного процесу (Θ зв2) дорівнює 16%, за критерієм дорівнює 32%.

3. Оскільки за більшістю показників різниця між «найсприятливішими» та «найнесприятливішими» умовами керування для САК з ПІ-регуляторами є меншою, то САК з ПІ-регуляторами є «грубішою», а САК з ПІД-регуляторами – «чутливішою».

Аналізуємо сталі процеси САК при стохастичних вхідних діях. Скоригуємо імітаційні моделі САК з ПІ- та ПІД-регуляторами для проведення аналізу САК на грубість в сталих процесах з параметрами ОК номінальними, «найсприятливіших» та «найнесприятливіших» для керування.

Реалізація моделі ОК для оцінки грубості САК у сталих режимах наведена на рис. 3.26, а моделі САК з регулятором для оцінки грубості у сталих режимах на рис. 3.27. Результати наведено на рис. 3.28 та рис. 3.29.

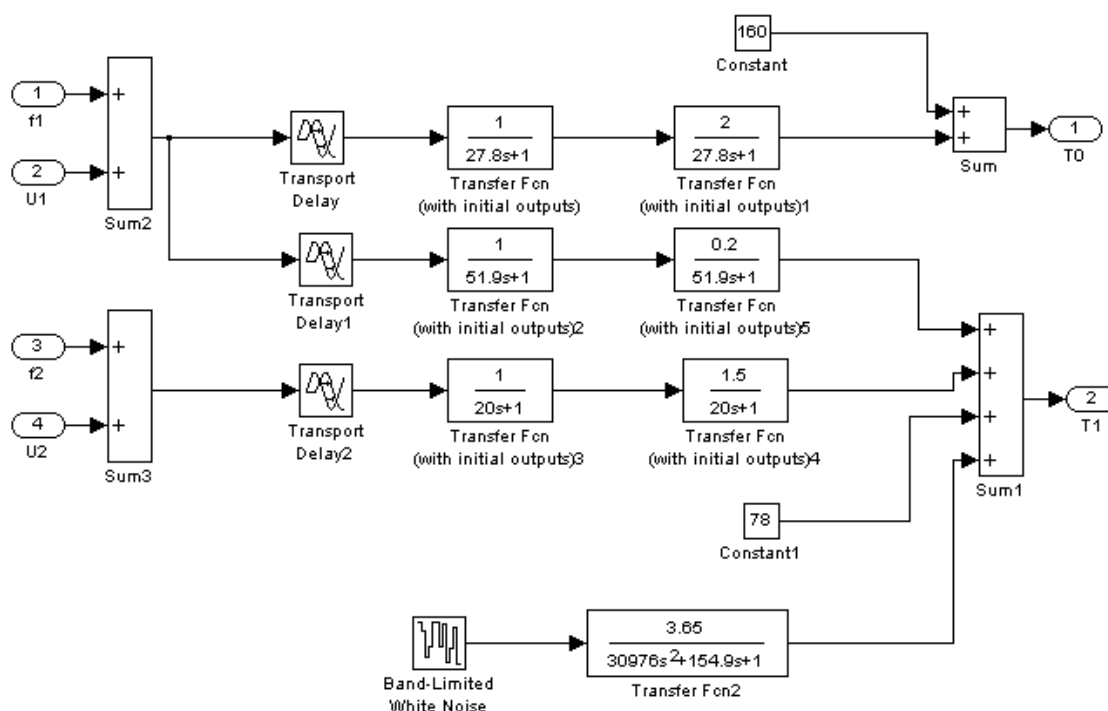


Рисунок 3.26 – Реалізація моделі ОК для оцінки грубості САК у сталих режимах в середовищі Simulink

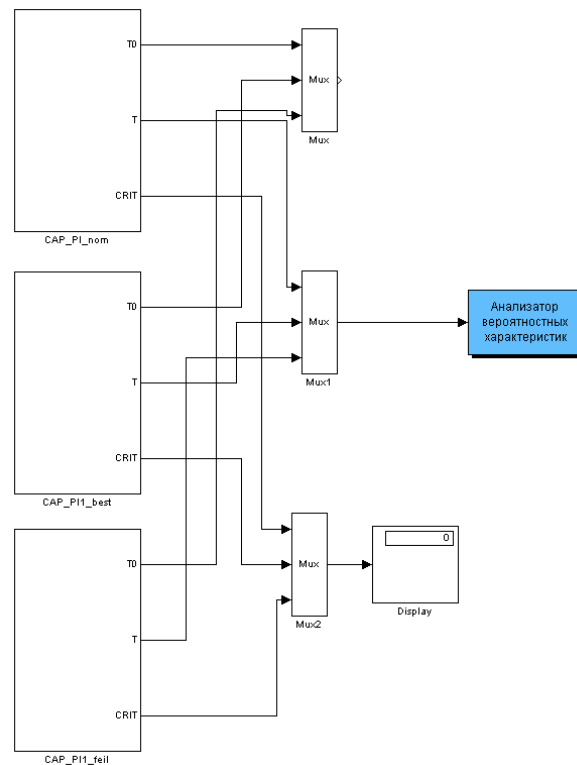
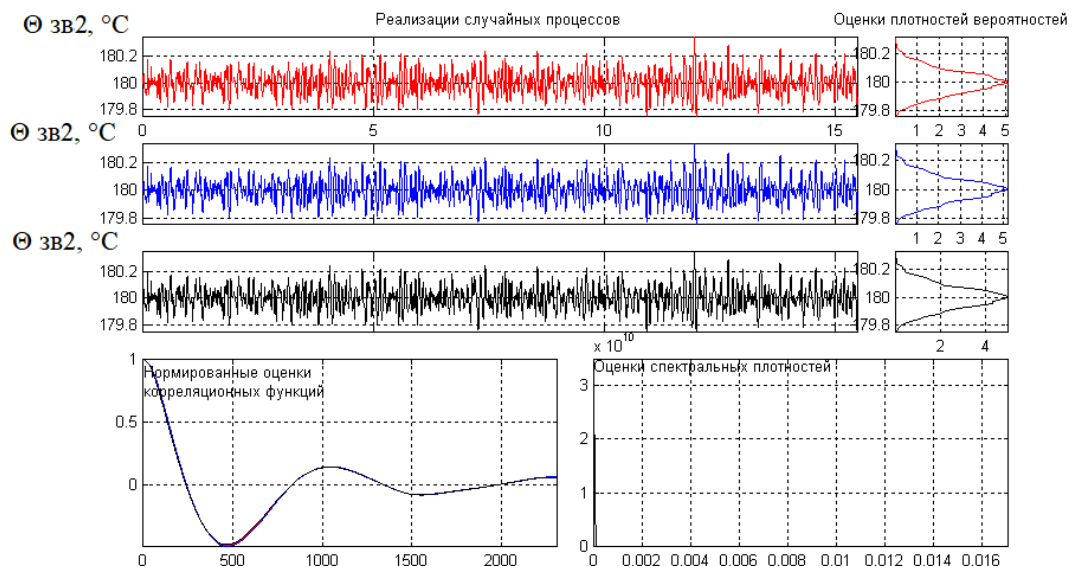


Рисунок 3.27 – Реалізація моделі САК з регулятором для оцінки грубості у сталіх режимах в середовищі Simulink

Проводимо аналіз означених САК на грубість.



Числовые оценки по всему интервалу моделирования:	Номер процесса		
	1	2	3
Оценка среднего значения (математического ожидания)	180.0	180.0	180.0
Оценка среднеквадратического отклонения	0.084	0.082	0.085
Оценка среднеквадратического периода / частоты	765.4 / 0.0082	769.2 / 0.0082	736.3 / 0.0085

Дата проведения эксперимента 04-Nov-2023 13 1

Рисунок 3.28 – Результати моделювання САК з ПІ-регулятором

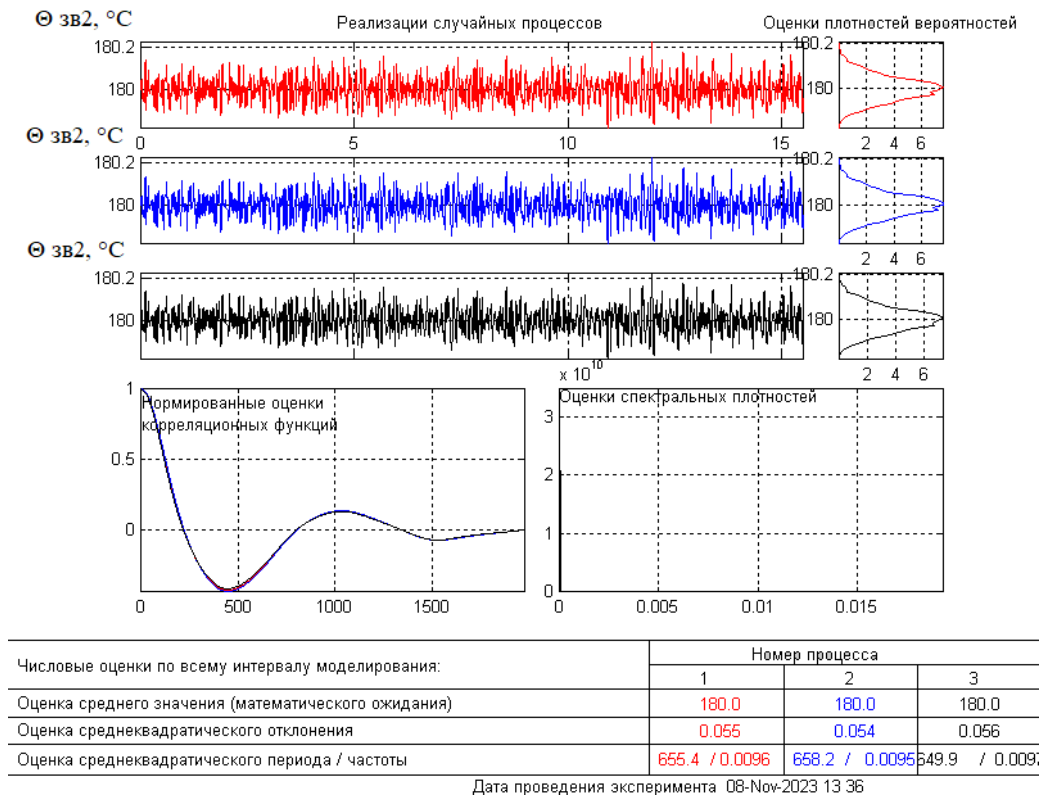


Рисунок 3.29 – Результати моделювання САК з ПІД-регулятором

Порівняння результатів моделювання проведемо за математичним очікуванням, середньоквадратичним відхиленням, середньоквадратичним періодом та інтегральним критерієм. Порівняльні результати оцінки САК на грубість з ПІ-регулятором зведено в таблицю 3.6, а САК з ПІД-регулятором – в таблицю 3.7.

Таблиця 3.6 – Результати оцінки САК з ПІ-регулятором на грубість у сталих режимах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»
Математичне очікування	180	180	180
Середньоквадратичне відхилення	0,064	0,062	0,065
Середньоквадратичний період	765,4	769,2	736,3
Інтегральний критерій	684,7	673,1	697,8

Таблиця 3.7 – Результати оцінки САК з ПД-регулятором на грубість у сталих режимах

Показники якості	Значення параметрів ОК		
	номінальні	«найсприятливіші»	«найнесприятливіші»
Математичне очікування	180	180	180
Середньоквадратичне відхилення	0,055	0,054	0,056
Середньоквадратичний період	655,4	658,2	649,9
Інтегральний критерій	453,2	445,3	462,4

З усього вище сказаного можна зробити висновок, що за більшістю показників якості САК з ПД-регулятором є кращою, ніж САК з ПІ- регулятором. Тому в подальших дослідженнях в якості базового алгоритму регулювання будемо застосовувати ПД-регулятор. За результатом проведення аналізу можемо сказати, що динамічні процеси в САК за умови дії збурень випадкового характеру, не виходять за рамки зони незначних відхилень. Отже, в сталих режимах САК працює якісно.

3.3 Синтез і аналіз САК підвищеної динамічної точності

Проведемо структурний синтез САК підвищеної динамічної точності.

Причиною недостатньої точності САК теплових режимів печі є внутрішні особливості ОК, пов'язані з наявністю перехресного каналу в ОК [13]. Основним шляхом підвищення динамічної точності розглянутої САК є побудова автономної САК. Відповідно до цього структурна схема САК матиме вигляд, наведений на рис. 3.30.

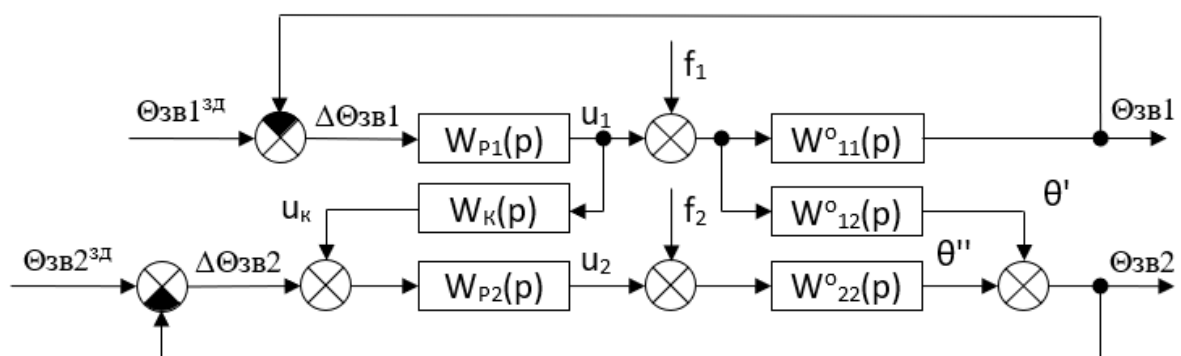


Рисунок 3.30 – Структурна схема раціональної САК підвищеної динамічної точності

Передавальні функції ОК було наведено в таблиці 2.2.

Передавальна функція ПІД-регулятора

$$W_{P1}(p) = 1,43 \cdot \left(1 + \frac{1}{35,84p} + 16,7p\right)$$

$$W_{P2}(p) = 0,8 \cdot \left(1 + \frac{1}{39p} + 17,64p\right)$$

Проводимо розрахунок передатної функції коригуючого зв'язку.

$$\theta' + \theta'' = \theta_{ЗВ2} = 0$$

$$\theta' = u_1 \cdot W_{12}^O(p); \quad \theta'' = u_1 \cdot W_K(p) \cdot W_{P2}(p) \cdot W_{22}^O(p)$$

$$u_1 \cdot W_{12}^O(p) + u_1 \cdot W_K(p) \cdot W_{P2}(p) \cdot W_{22}^O(p) = 0$$

$$u_1 \cdot W_K(p) \cdot W_{P2}(p) \cdot W_{22}^O(p) = -u_1 \cdot W_{12}^O(p)$$

$$W_K(p) = -\frac{W_{12}^O(p)}{W_{P2}(p) \cdot W_{22}^O(p)}$$

$$W_{12}^O(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-86,5p}}{73,8p+1}; \quad W_{22}^O(p) = \frac{1,5 \cdot e^{-40,8p}}{29,3p+1};$$

$$\begin{aligned} W_{P2}(p) &= 0,8 \cdot \left(1 + \frac{1}{39p} + 17,64p\right) = 0,8 \cdot \frac{17,64 \cdot 39 \cdot p^2 + 39p + 1}{39p} = \\ &= 0,8 \cdot \frac{687,96p^2 + 39p + 1}{39p} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_K(p) &= -\frac{W_{12}^O(p)}{W_{P2}(p) \cdot W_{22}^O(p)} = -\frac{\frac{0,2 \cdot e^{-86,5p}}{73,8p+1}}{0,8 \cdot \frac{687,96p^2 + 39p + 1}{39p} \cdot \frac{1,5 \cdot e^{-40,8p}}{29,3p+1}} = \\ &= -\frac{0,2}{0,8 \cdot 1,5} \cdot \frac{e^{-86,5p}}{e^{-40,8p}} \cdot \frac{39p \cdot (29,3p + 1)}{(73,8p + 1) \cdot (687,96p^2 + 39p + 1)} = \\ &= 0,17 \cdot e^{-45,7} \cdot \frac{39p \cdot (29,3p + 1)}{(73,8p + 1) \cdot (687,96p^2 + 39p + 1)} \end{aligned}$$

Передавальна функція коригуючого зв'язку ідеальних диференціаторів та ланок чистого випередження (фізично нереалізованих ланок) не містить. Тому ця передавальна функція є фізично реалізованою.

Розкладаємо передатну функцію коригуючого зв'язку на типові ланки, складаємо схему моделювання, отримуємо перехідну характеристику розрахункового

фізично реалізованого коригуючого зв'язку. Реалізація моделі передатної функції коригуючого зв'язку наведена на рис 3.31, а отримана перехідна характеристика на рис 3.32.

$$W_K(p) = 0,17 \cdot e^{-45,7} \cdot \frac{39p \cdot (29,3p + 1)}{(73,8p + 1) \cdot (687,96p^2 + 39p + 1)} =$$

$$= 0,17 \cdot e^{-45,7p} \cdot \frac{39p}{73,8p + 1} \cdot \frac{29,3p + 1}{687,96p^2 + 39p + 1}$$

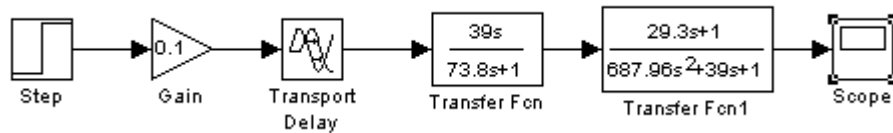


Рисунок 3.31 – Реалізація моделі передатної функції коригуючого зв'язку в середовищі Simulink

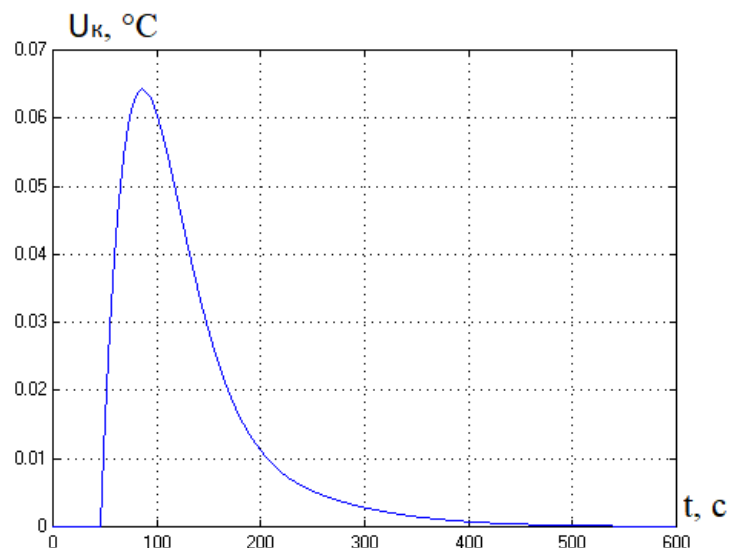


Рисунок 3.32 – Перехідна характеристика коригуючого зв'язку

Потрібно провести спрощення коригувальних зв'язків з урахуванням особливостей їх технічної реалізації та параметричний синтез САК при детермінованих вхідних впливах

Спрощуємо передатну функцію коригуючого зв'язку.

$$W_K(p) = 0,17 \cdot e^{-45,7} \cdot \frac{39p \cdot (29,3p + 1)}{(73,8p + 1) \cdot (687,96p^2 + 39p + 1)}$$

$$W_K(p) = K_K \cdot e^{-T_{K1}p} \cdot \frac{T_{K2}p}{(T_{K2}p + 1)^2} = K_K \cdot e^{-T_{K1}p} \cdot \frac{T_{K2}p}{T_{K2}p + 1} \cdot \frac{1}{T_{K2}p + 1}$$

Отримаємо параметри спрощеного коригуючого зв'язку:

$$K_K = 0,17; T_{K1} = 45,7; T_{K2} = 39.$$

Для уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку скористаємося схемою моделювання на рис 3.33. Результати оптимізації наведено на рис. 3.34, перехідні характеристики розрахункового та спрощеного коригуючого зв'язку на рис 3.35.

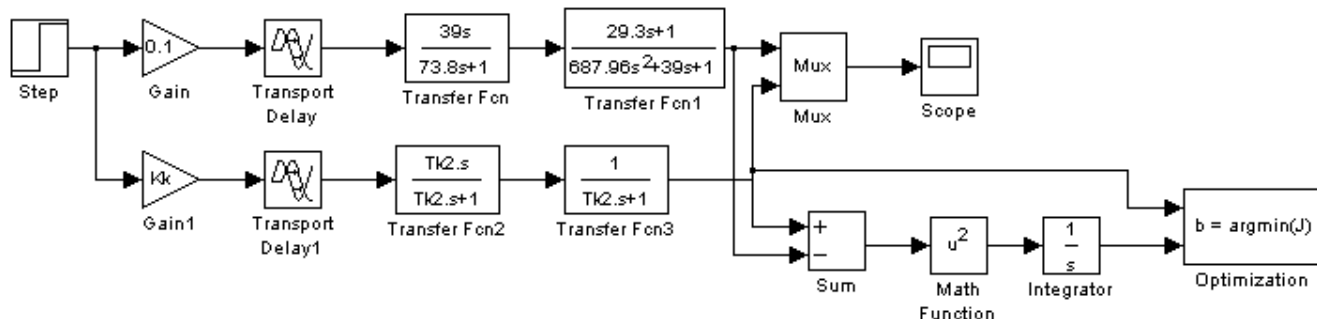
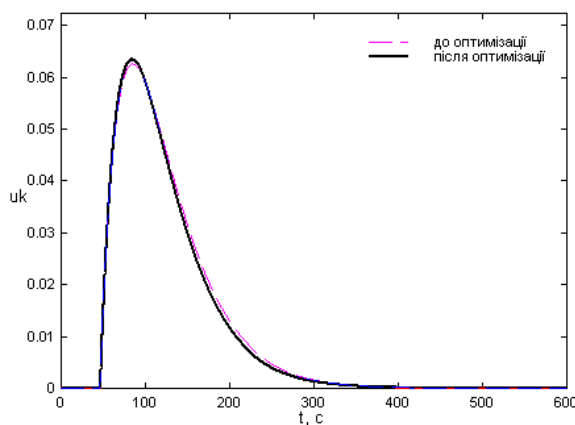


Рисунок 3.33 – Схема моделювання СКЛ відносно НФРКЛ



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kk	0.17227	0	0.17	10	до - 0.00079716
Tk1	46.7302	0	45.7	100	після - 0.00048772
Tk2	37.2345	1	39	200	оптимізації.
					Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1000
					фактична - 61

Рисунок 3.34– Результати оптимізації параметрів коригуючого зв'язку

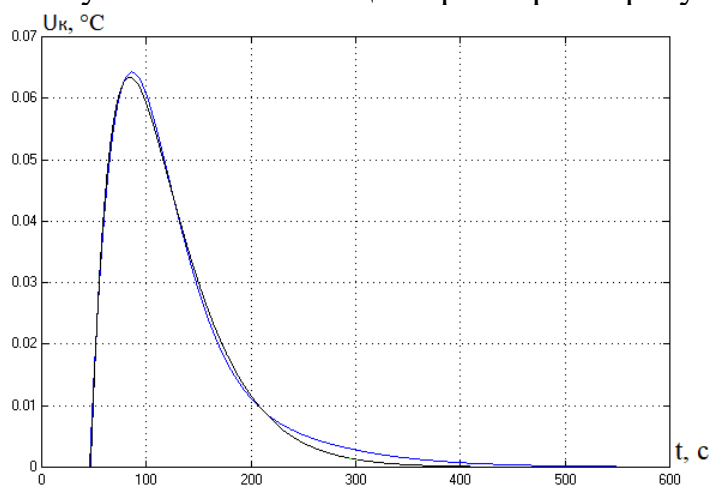


Рисунок 3.35 – Перехідні характеристики розрахункового та спрощеного коригуючого зв'язку

Як можемо побачити, розрахункова та спрощена перехідні характеристики з мінімальними відхиленнями.

Інтегруємо спрощену передатну функцію коригуючого зв'язку до структурної схеми САК підвищеної динамічної точності. Проведемо оптимальний параметричний синтез САК підвищеної динамічної точності (рис. 3.36). Результати наведено на рис. 3.37 та рис. 3.38.

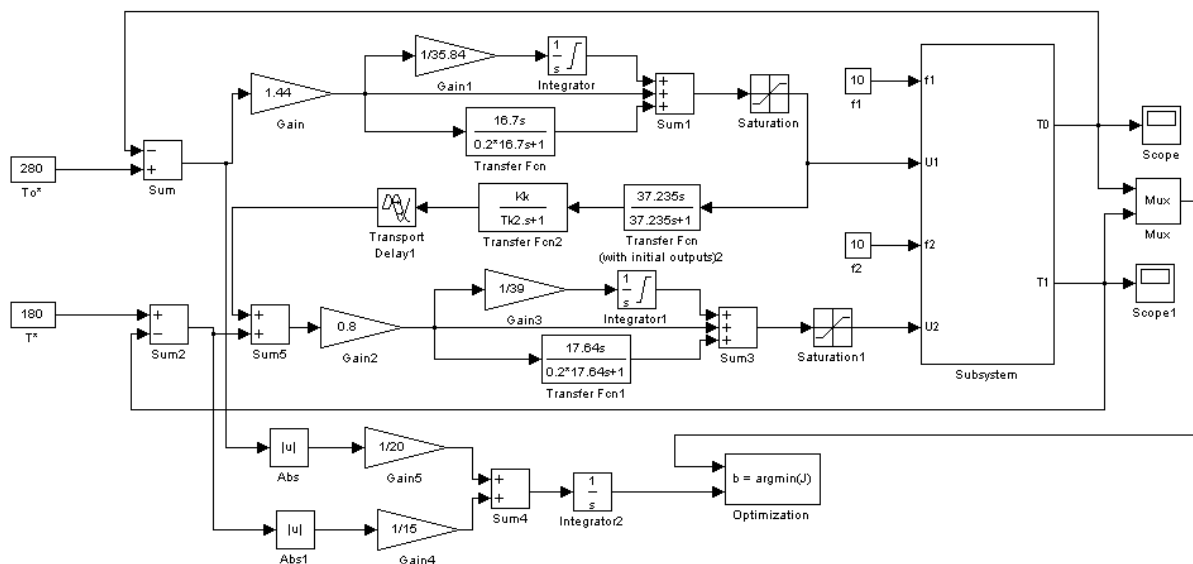
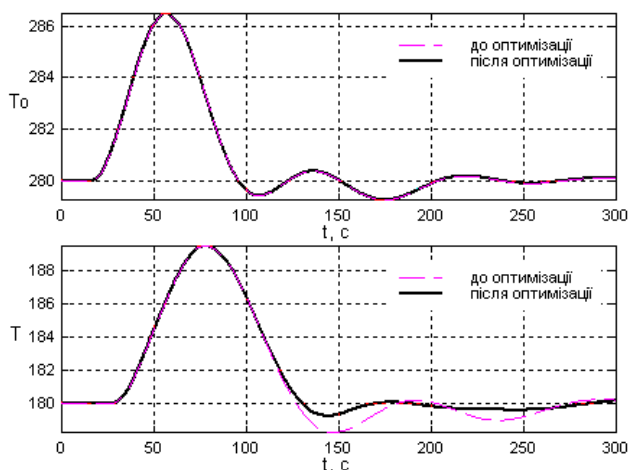
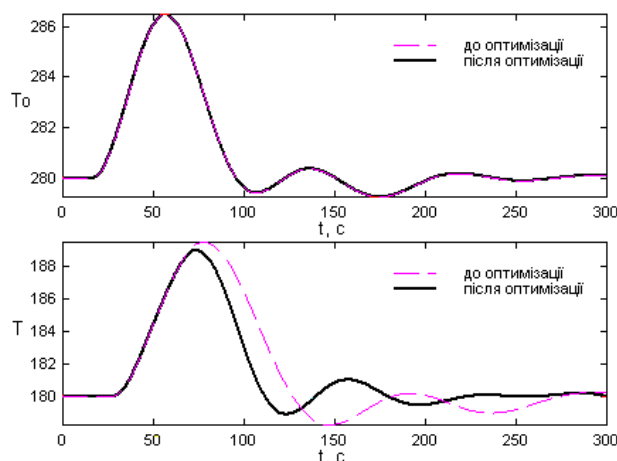


Рисунок 3.36 – Схема моделювання САК підвищеної динамічної точності для оптимального параметричного синтезу коригувального зв'язку



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kk	0.86391	-10	0.17	10	до - 58.0758
Tk1	108.7837	0	45.7	200	після - 54.3424
Tk2	1	1	39	200	оптимізації.
					Кількість кроків процедури оптимізації:
					максимальна - 1000
					фактична - 361

Рисунок 3.37 – Результати оптимізації параметрів коригувального зв'язку



Ім'я змінної	Оптимальне значення	Нижня межа	Початкове наближення	Верхня межа	Значення критерію оптимальності:
Kk	1.2744	-10	0.17	10	до - 58.0966
Tk1	56.155	0	45.7	200	після - 47.4588
Kr2	1.003	0	0.8	20	Кількість кроків процедури оптимізації:
Tiz2	105.4359	1	38.95	400	максимальна - 1000
Tr2	31.9721	0	17.64	100	фактична - 958

Рисунок 3.38 – Результати оптимізації параметрів коригувального зв'язку з додатковими параметрами оптимізації

Проводимо аналіз грубості САК підвищеної динамічної точності до варіацій параметрів об'єкта регулювання. Як і у випадку САК базової структури, САК підвищеної динамічної точності досліджуємо на грубість в умовах варіації параметрів ОК, а саме часу запізнення в каналах ОК $\pm 20\%$.

Проаналізуємо САК підвищеної динамічної точності на грубість.

Результати перевірки САК підвищеної динамічної точності на грубість в умовах варіації параметрів ОК наведено на рис. 3.39. Як видно з результатів оцінки САК на грубість, в умовах варіації параметрів ОК САК дає перехідні процеси, що сходяться, а значить, САК є грубою.

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

«Найсприятливішою» для керування є САК з ПД-регулятором з часами запізнення в каналах ОК, меншими на 20% від номінальних значень, і в перехресному каналі ОК на 20% більше від номінального.

«Найнесприятливішою» для керування є САК з ПІД-регулятором з часами запізнення в прямих каналах ОК, на 20% більших від номінальних значень, і в перехресному каналі ОК номінальне.

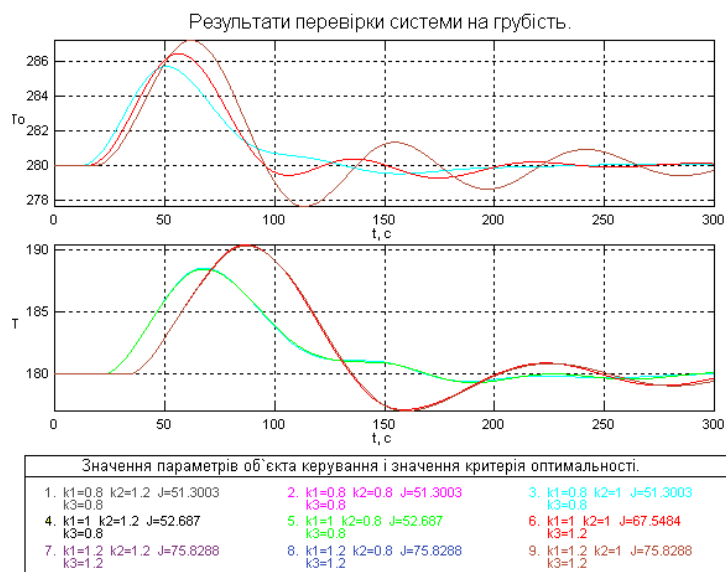


Рисунок 3.39 – Результат перевірки САК підвищеної динамічної точності на грубість за умов варіації параметрів ОК

Проведемо порівняльний аналіз САК базової структури і підвищеної динамічної точності. Реалізація моделей в середовищі Simulink показано на рис. 3.40 – 3.42. Результати порівняння САК з ПІД-регуляторами наведено на рис. 3.43 та таблиці 3.8.

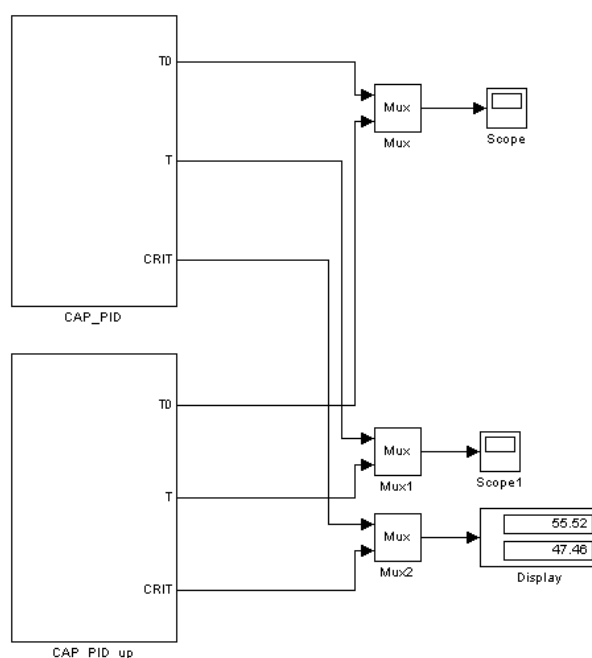


Рисунок 3.40 – Реалізація моделі для порівняння якості роботи САК базової структури і САК підвищеної динамічної точності в середовищі Simulink

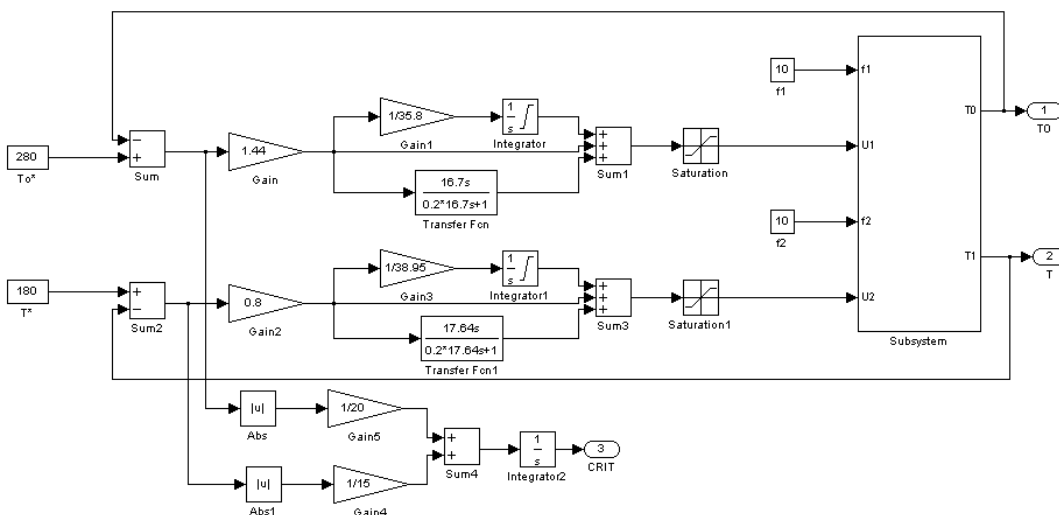


Рисунок 3.41 – Реалізація моделі САК базової структури в середовищі Simulink

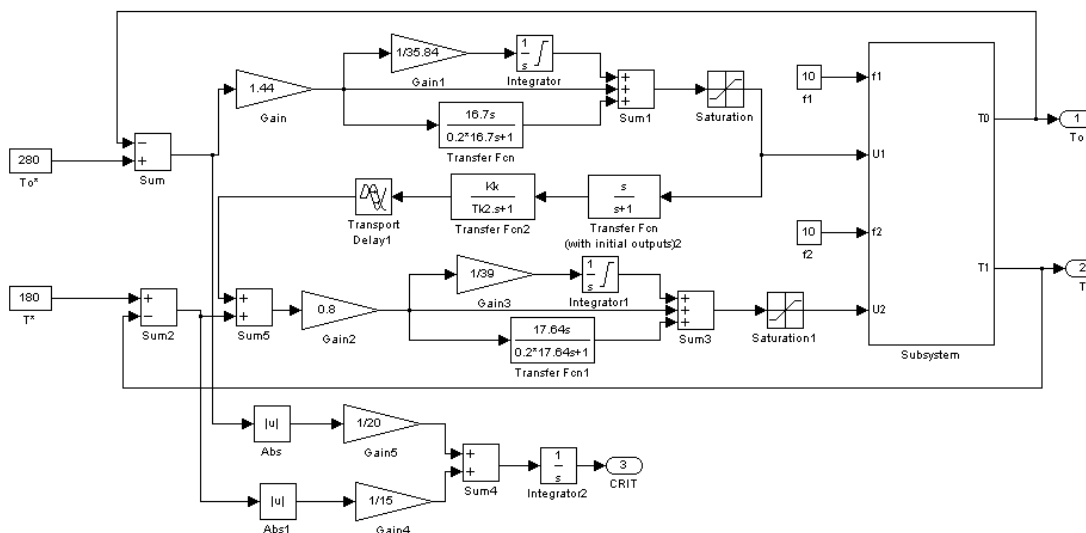


Рисунок 3.42 – Реалізація моделі САК підвищеної динамічної точності в середовищі Simulink

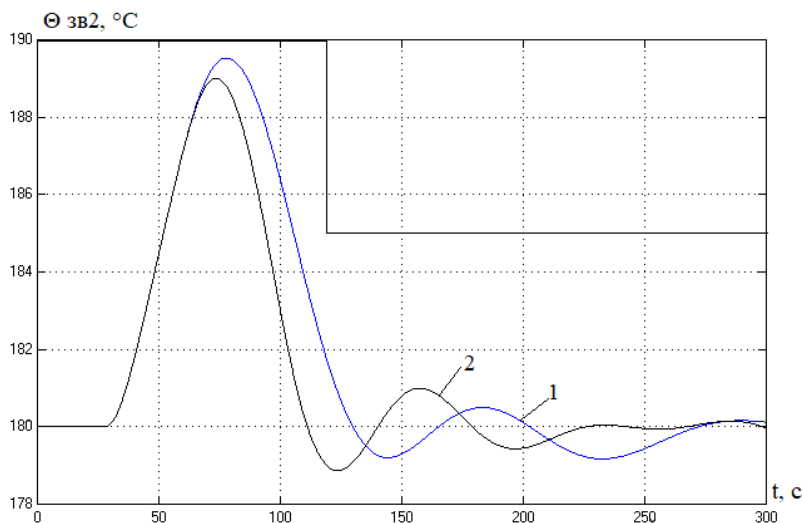


Рисунок 3.43 – Результати порівняння САК з ПІД-регуляторами: 1 – САК базової структури; 2 – САК з підвищеною динамічною точністю

Таблиця 3.8 – Порівняння САК базової структури та САК підвищеної динамічної точності

САК	Прямі показники якості				Критерій
	$\Delta \Theta_{зв1}^{МАКС}, ^\circ\text{C}$	$T_{пп1}, \text{c}$	$\Delta \Theta_{зв2}^{МАКС}, ^\circ\text{C}$	$T_{пп2}, \text{c}$	
ПІД	6,49	70,3	9,53	113,5	55,52
ПІД підв.	6,49	70,3	9	100	47.46

Можемо зробити висновок за результатом даного розділу.

САК підвищеної динамічної точності задовольняють гранично допустимі вимоги. Після підвищення динамічної точності САК максимальне динамічне відхилення $\Delta\Theta_{зв1}^{МАКС}$ не змінилося; час перехідного процесу за $\Delta\Theta_{зв1}^{МАКС}$ не змінився; проте максимальне динамічне відхилення $\Delta\Theta_{зв2}^{МАКС}$ зменшилося на 6%; час перехідного процесу за $\Delta\Theta_{зв2}^{МАКС}$ зменшився на 12%, інтегральний показник якості зменшився на 15%.

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

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

4 Конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним агрегатом

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

В якості об'єкта модернізації системи автоматизації обраний процес випічки хліба, апаратно-технологічна схема автоматизації якого зображена на рис. 4.1.

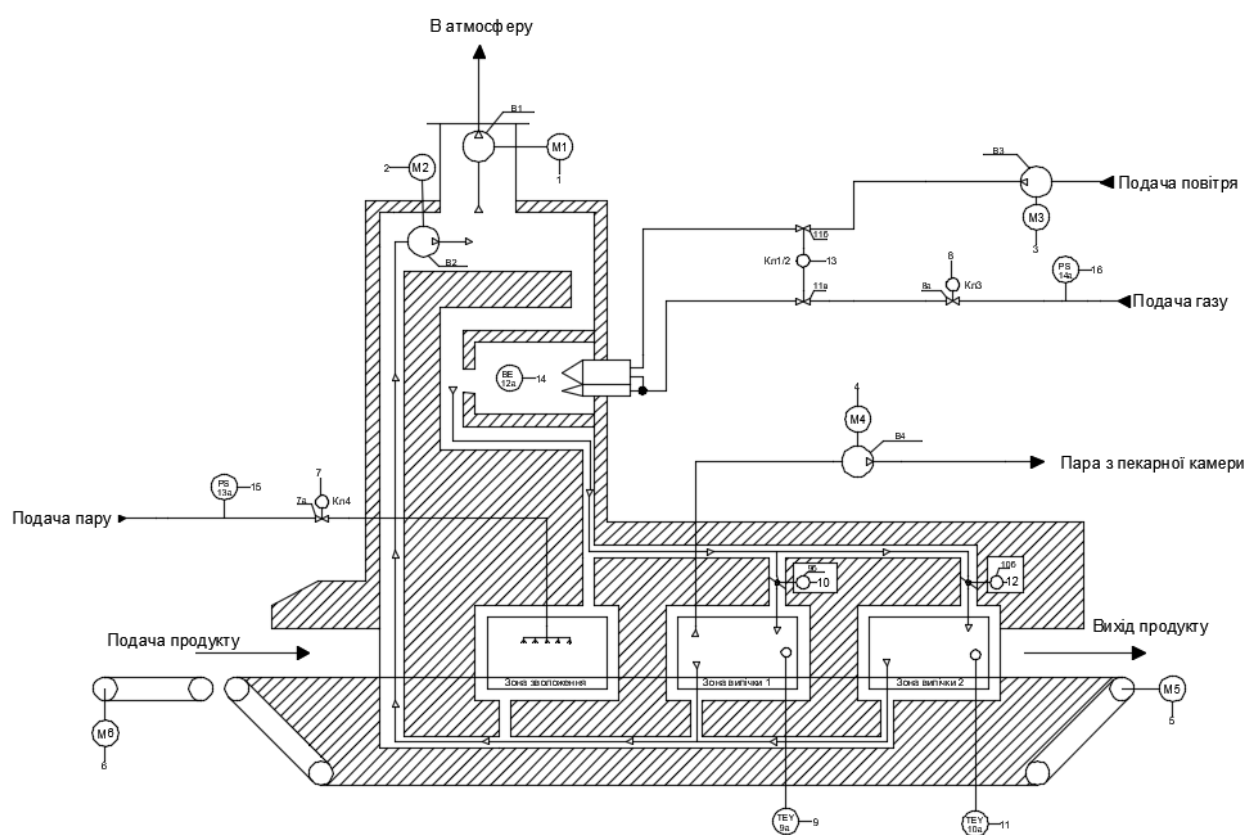


Рисунок 4.1 – Апаратно-технологічна схема процесу випічки хліба

На схемі технологічного процесу зображено всі технічні засоби з використанням умовних позначень та ідентифікаторів змінних, обраних у попередніх розділах роботи.

Як вихідні дані розглянемо такі характеристики обладнання (рис. 4.1): Клапан Кл1/2 – регулюючий клапан подачі газу (аналогової дії), клапан Кл3 – запірний

(дискретної дії), клапан Кл4 – регулюючий клапан подачі пари (дискретної дії), електродвигуни вентиляторів М1-М4 та транспортера М5-М6 – дискретної дії, регулюючі органи подачі тепла Ш1-Ш2 (аналогової дії). Також використаємо дані попередніх досліджень з ідентифікації ОК .

На основі аналізу було визначено, що існуюча система має деякі недоліки у функціонуванні, що можуть впливати на ефективність та безпеку технологічного процесу. Основні проблеми включають:

- Недостатній рівень автоматизації, що вимагає постійної участі оператора.
- Відсутність сучасних технічних засобів контролю та діагностики.
- Обмежені можливості з модернізації та розширення функціоналу системи.

Для усунення цих недоліків було визначено необхідність впровадження додаткових технічних засобів та покращення алгоритмів.

На основі відомостей з експлуатаційних інструкцій на ТА та даних з попередніх розділів роботи, наведено опис процедур:

- Технологічний пуск:

1. Перевірка всіх систем та обладнання на готовність до запуску.
2. Ініціація пуску через операторську панель.
3. Автоматичний контроль параметрів на всіх етапах пуску.
4. Поступове введення системи в робочий режим.

- Технологічна зупинка:

1. Оповіщення персоналу про початок процесу зупинки.
2. Поступове зниження навантаження та припинення подачі ресурсів.
3. Виконання контрольних замірів та діагностика обладнання.
4. Повне відключення системи та перевірка її стану.

- Аварійна зупинка:

1. негайне припинення роботи всіх систем у разі виявлення аварійної ситуації.
2. Автоматичне вимкнення обладнання та подачі ресурсів.
3. Активізація аварійного оповіщення для всіх працівників.
4. Виконання необхідних заходів для забезпечення безпеки персоналу та збереження обладнання.

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

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

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



Рисунок 4.2 – Блок-схема регламенту функціонування нормальної зупинки



Рисунок 4.3 – Блок-схема регламенту функціонування нормального пуску

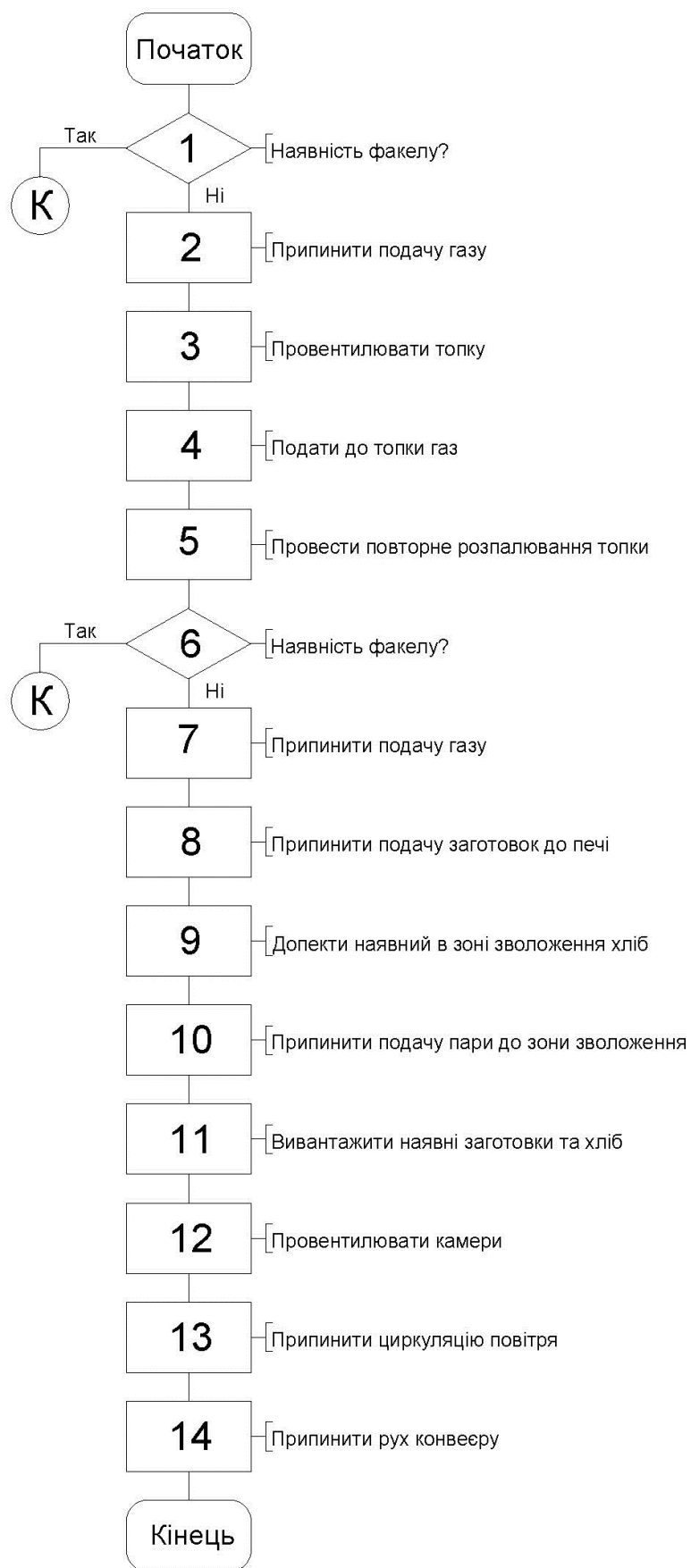


Рисунок 4.4 – Блок-схема регламенту функціонування аварійної зупинки

Розробляти регламенти функціонування будемо відповідно до нормативів ведення технологічних процесів [7, 14]. Для процесу системи пуску (рис. 4.3), нам потрібно спочатку перевірити умови які необхідні для виконання цього пуску, далі ми повинні забезпечити звукову сигналізацію для сповіщення персоналу про початок виконання пуску. Потім нам потрібно забезпечити циркуляцію повітря в печі та провентилувати топку. Потім, якщо виконані умови для пуску технологічного процесу, подіємо газ та проводимо розпалювання топки. Якщо розпалювання не відбувається, то потрібно припинити подачу газу, провентилувати топку та припинити циркуляцію повітря. Якщо розпалювання пройшло успішно, то забезпечуємо рух конвеєра печі. Далі виводимо установку на робочий режим за температурою в зонах випічки та подаємо пару в зоні зволоження. Якщо все було виконано, подаємо заготовки з тіста до печі.

Для штатної зупинки (рис. 4.2) системи випікання хлібобулочних виробів в тунельній печі необхідно спочатку припинити подачу тістових заготовок до печі. Але в нас залишилися заготовки на конвеєрі, тому їх потрібно допекти. Після цього припинити подачу пари до зони зволоження парою та припиняємо подачу газу. Після цього потрібно провентилувати пічну камеру та топку. В цей час конвеєр в тунельній печі продовжує роботу, так як йому потрібно охолонути. Після проведеної вентиляції припиняємо циркуляцію в печі та припиняємо рух конвеєру.

Щодо регламенту функціонування аварійної зупинки (рис. 4.4) було розглянуто зникнення факелу під час технологічного процесу. Найперше, що потрібно зробити – це припинити подачу газу та провентилувати топку. Але ситуації бувають різними, тому потрібно спробувати подати газ, ввімкнути запальник ще раз для повторного розпалювання топки. Якщо факел з'явиться, то на цьому регламент закінчено та установка переходить до нормального режиму роботи. Якщо факел повторно не з'явиться, то система випікання хлібобулочних виробів в тунельній печі переходить до регламенту зупинки та слідує аналогічним чином.

Дані регламенти забезпечують безпечну та ефективну роботу тунельної печі, мінімізуючи ризики та забезпечуючи безперебійність виробничого процесу.

4.3 Розробка алгоритмів автоматичного керування: технологічним пуском та зупинкою, блокування передаварійних ситуацій та аварійної зупинки технологічного агрегату у вигляді блок-схем та їх опис

Розроблені алгоритми керування наведено нижче у вигляді блок-схем алгоритмів керування системи, що розроблені згідно до регламенту функціонування. Як нештатну ситуацію було розглянуто зникнення факелу

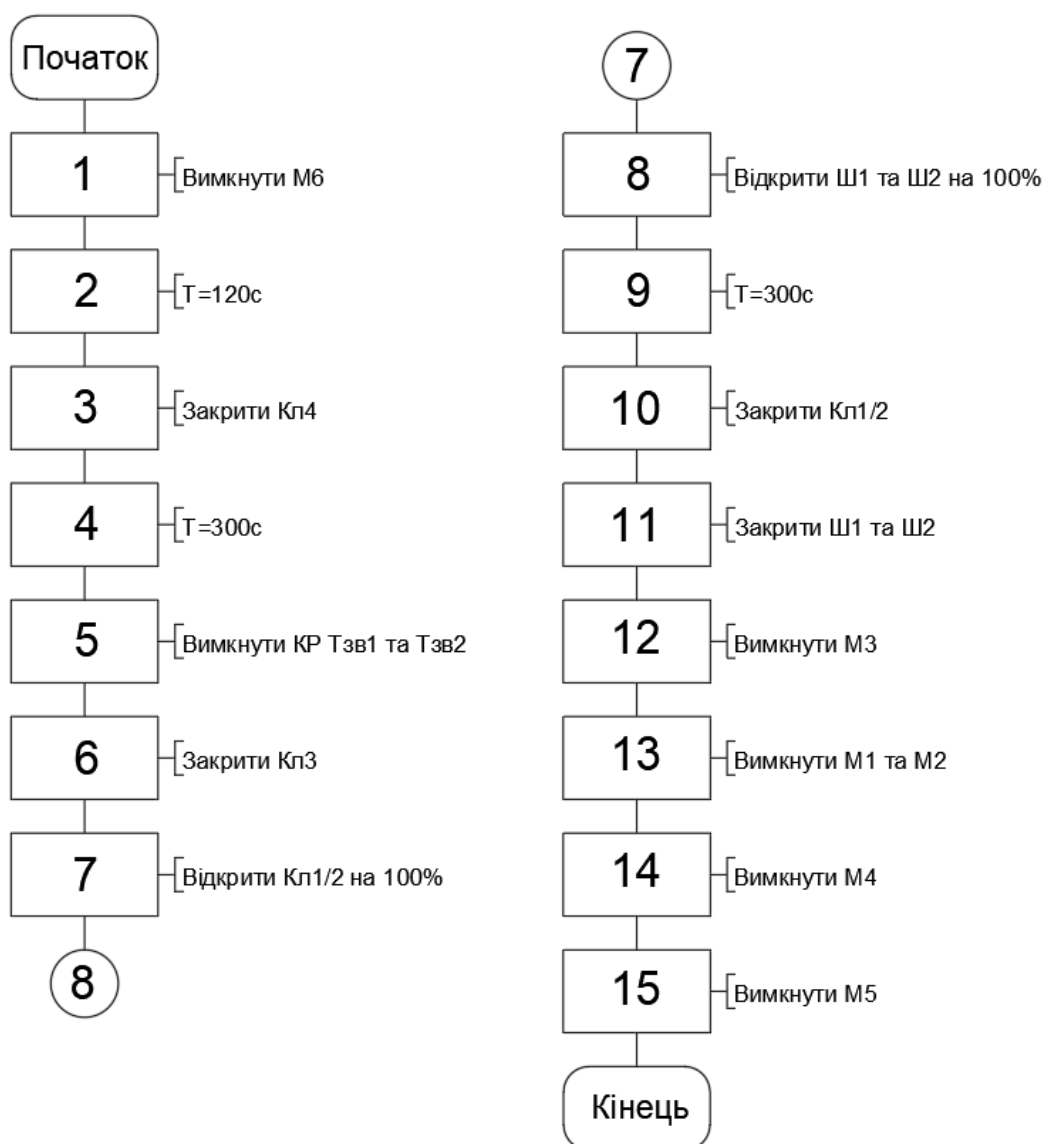


Рисунок 4.5 – Блок-схема алгоритму керування за нормальною зупинкою

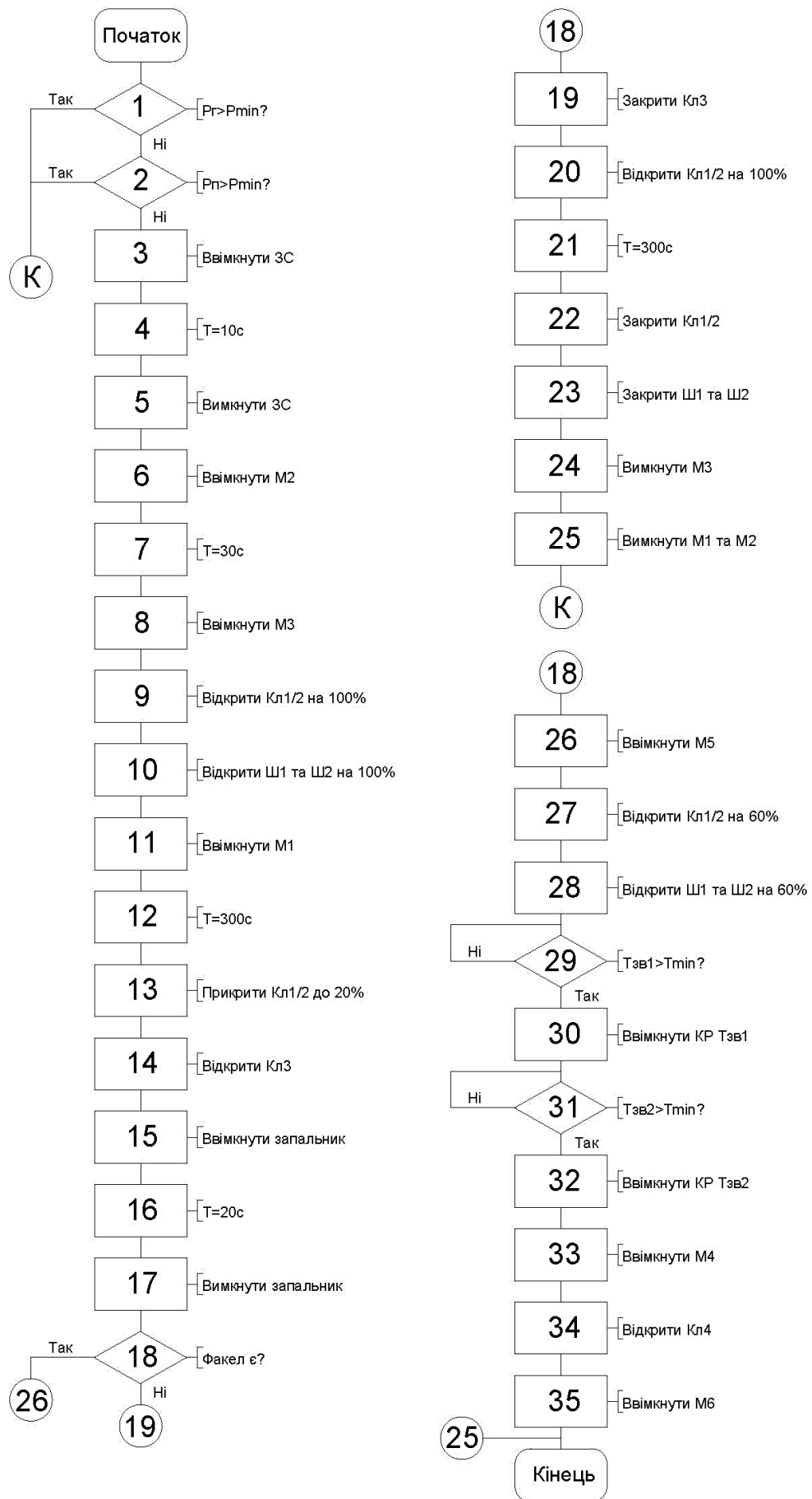


Рисунок 4.6 – Блок-схема алгоритму керування за нормальним пуском

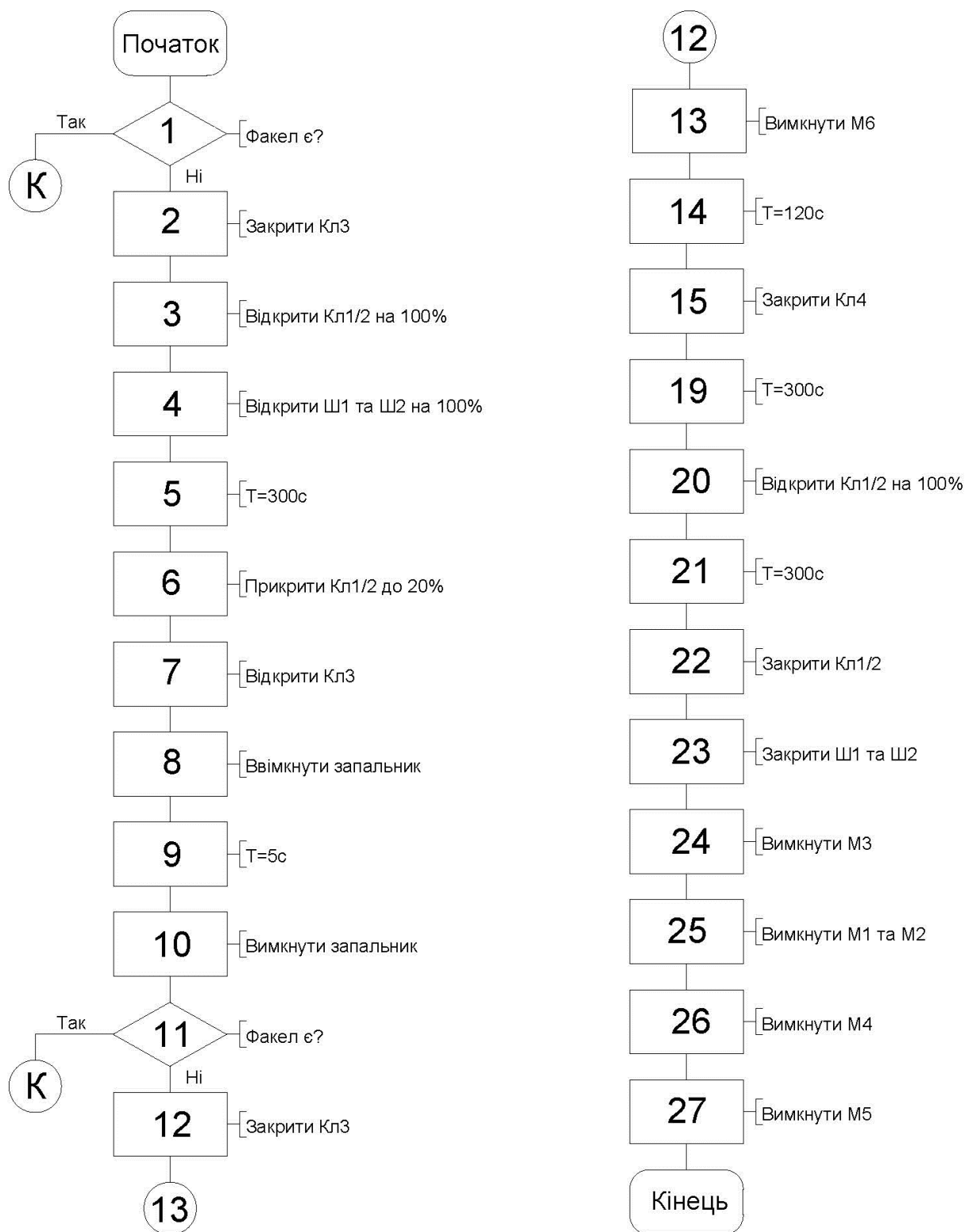


Рисунок 4.7 – Блок-схема алгоритму керування за аварійною зупинкою

Розробляти алгоритми автоматичного логічного керування будемо відповідно до нормативів ведення технологічних процесів. Перед початком технологічного процесу (рис. 4.6) необхідно перевірити передпускові умови, до яких відносяться

наступні: тиск газу у трубопроводі подачі газу ($P_g > P_{min}$), тиск пари у трубопроводі подачі пари ($P_p > P_{min}$). Процес доцільно починати за наявності заготовок у розстільній шафі, що оператор перевіряє в ручному режимі.

Потім необхідно сповістити персонал про початок ведення технологічного процесу. Для цього використовується звукова сигналізація.

Спочатку треба запустити вентилятори В1 та В3 (М1, М3) та відкрити на 100% КЛ1/2 для продування топки.

Після продування необхідно подати в топку газ, для цього необхідно відкрити запірний клапан палива (КЛ3) та також відкрити регулюючий клапан подачі газу (КЛ1/2) на 20% і здійснити розпалювання «малим» факелом. Якщо розпалювання пройшло нормально, то необхідно перейти на «великий» факел. Після цього запустити циркуляційний вентилятор (М2), ввімкнути конвеєр М5 для прогріву. Відкриваємо КЛ1/2 на 60 % та при досяганні перехідної температури ввімкнути КР температур в зоні випічки 1 та в зоні випічки 2. Далі вмикаємо подачу пару відкривши КЛ4 та ввімкнувши М4 . Після того як температури в зоні зволоження досягнуть мінімально потрібного значення, потрібно запустити подачу продукту транспортером (М6).

Якщо розпалювання пройшло невдало (рис. 4.7), то необхідно припинити подачу газу в топку. Для цього закрити запірний (КЛ3) та створити в топці максимальну тягу, для цього потрібно провести вентиляювання та відкрити на 100% КЛ1/2 для продування топки, Вентилятори М1 та М3 у нас на даному етапі залишилися ввімкненими. Потім повторити розпалювання. Аналогічно, за появою факелу, а потім його зриву (погасання) необхідно таким же чином, без втручання оператора продути топку та зупинити процес. Якщо повторний розпал виявився неуспішним, тоді слід припинити роботу інших ВМ. Вимкнути М3, М1, М2 та КЛ1/2.

Для нормальної зупинки процесу (рис. 4.5) необхідно спочатку припинити подачу заготовок, для цього вимкнути транспортер (М6). Після чого закрити КЛ4 та КЛ3 та провести вентиляювання топки. Після вентиляювання котла необхідно вимкнути вентилятори (М1, М2, М3, М4) та закрити КЛ1/2. І в кінці припинити роботу конвеєру. Це робиться для того, щоб він встиг рівномірно охолонути.

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

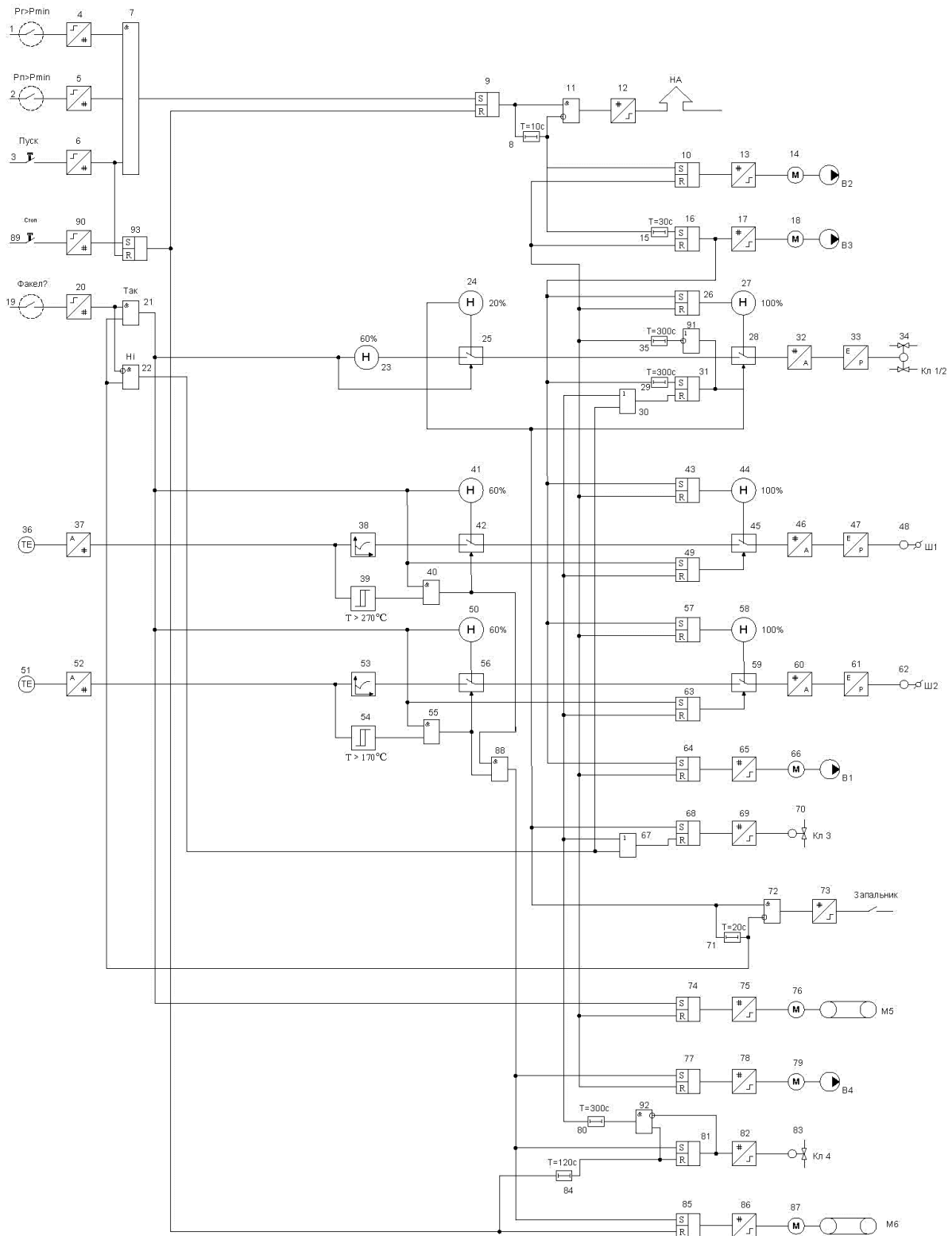


Рисунок 4.8 – Функціонально логічна схема керування процесом

Функціонально логічну схему керування процесом наведено на рис. 4.8. Формування умов необхідних для запуску здійснюється елементом 7 за сигналами від датчиків реле тиску газу 1, датчику реле тиску пару 2, а також від кнопки ПУСК 3, які приходять у схему через ДЦП 4-6. Підхоплення сигналу пуску здійснює RS-тригер 9. Після появи логічної «1» на виході RS-тригера включиться передпускова сигналізація (ППЗС). Витримку часу забезпечує таймер 8 (10 с). Формує сигнал на ППЗС елемент НА через ЦДП 12. По завершенні дії ППЗС від таймера 8 починає свою роботу програма керування котлом.

Сигнали «1» надходять на входи «S» RS-тригерів 10 та через таймер 15 на 30 секунд до 16, які через ЦДП (13,17) вмикають вентилятор подачі повітря В2 з ВМ 14 та циркуляції В3 з ВМ 18.

З виходу тригеру 16 логічна 1 надходить на задатчик 27. Що задає відкриття клапану 32 регулювання факелу на 100%. Із задатчика сигнал потрапляє на перемикач 28 в 0 положенні. Далі сигнал потрапляє до перетворювачів 32, 33 і вже до самого Кл1/2 34. Через 300 секунд на таймері 29 перемикач 28 має перемкнутися. Щоб перемкнути на малий вогонь. В свою чергу сигнал потрапляє до задатчика 24 на 20%. Через перемикач 25 сигнал потрапляє до клапану.

З виходу тригеру 16 логічна 1 надходить на задатчики 44 та 58. Які мають задати степінь відкриття шиберів Ш1 48 та Ш2 62 на 100%. Їх сигнали проходять через перемикачі 45 та 59 відповідно. Потім через перетворювачі 46,47 та 60,61 відповідно.

З виходу тригеру 16 логічна 1 надходить на тригер 64. Через перетворювач 65 вмикається ВМ 66 В1 вентилятору 1 для утворення тяги в атмосферу.

З виходу тригеру 31 приходять на тригер 68 для збереження стану «сет». З нього переходить ЦДП 69. Та відкривається клапан 70 подачі газу до системи Кл3. Сигнал з тригеру 31 також приходять на таймер 71 на 20 секунд. Котрий повинен буде при подачі сигналу 1 вимкнути запальник через 20 секунд.

Потім сигнал з таймеру 71 переходить до логічним елементів 21 та 22. Де у нас формується сигнал про успішність проведення розпалу. На елементи 21 та 22 також приходять сигнал з дискретного датчику наявності факелу.

При успішному процесі запалу факелу. Логічна одиниця йде з елемента 21 на задатчик 23 на 60% Кл1/2 та на задатчики 41,50 відкриття Ш1 та Ш2 на 60%. Також логічна 1 від елемента 21 приходять на перемикач 25. Так ми отримуємо стабільну роботу факелу. А температуру в камерах будемо регулювати шиберами. Логічний елемент 21 передає 1 на перемикачі 45, 59. Так у нас подача тепла в зону випічки 1 та 2 формується постійною. Доки температура не досягне конкретних зон для вмикання контурів регулювання. Після досягнення цих температур сигнал від реле 39, 53 прийде на перемикачі 42, 56 відповідно. Та вмикаються контури регулювання подачею тепла Ш1 та Ш2. Тобто сигнал подається вже від регуляторів 39,53 на Ш1 48 та Ш2 62 відповідно.

Коли контури регулювання ввімкнулися, сигнал з тригерів 40, 55 під дією логічного елемента «І» сигнали множаться. Логічна одиниця потрапляє до тригерів 71, 81, 85. Після проходять сигнали ЦДП 78, 82,86 та вмикаються виконавчі механізми 79, 83, 87. Тобто вмикається клапан подачі пару Кл4, вентилятор В4 відводу пари та конвеєр подачі продукту М6.

Щоб здійснити штатну зупинку технологічного процесу необхідно СИГНАЛ 1 від кнопки «Стоп» 89 через ДЦП 90 подати на вхід «R» RS-тригера 93. Сигнал йде на ресет тригеру 9 та на ресет тригеру 85. Далі відповідно регламенту нормальної зупинки в оберненому порядку. Аналогічним чином працює аварійна зупинка в ситуаціях коли при запалюванні малим факелом запалення не сталось, або коли при роботі котла факел зник.

4.5 Імітаційне моделювання системи логічного керування

Моделювання роботи САК здійснюється в середовищі MATLAB, використані характеристики ОК та параметри налаштування регуляторів повинні бути ідентичними здобутим у попередніх КП (курс «ТАК»). На рисунку 4.9 наведена схема моделювання роботи САК, реалізована в MATLAB.

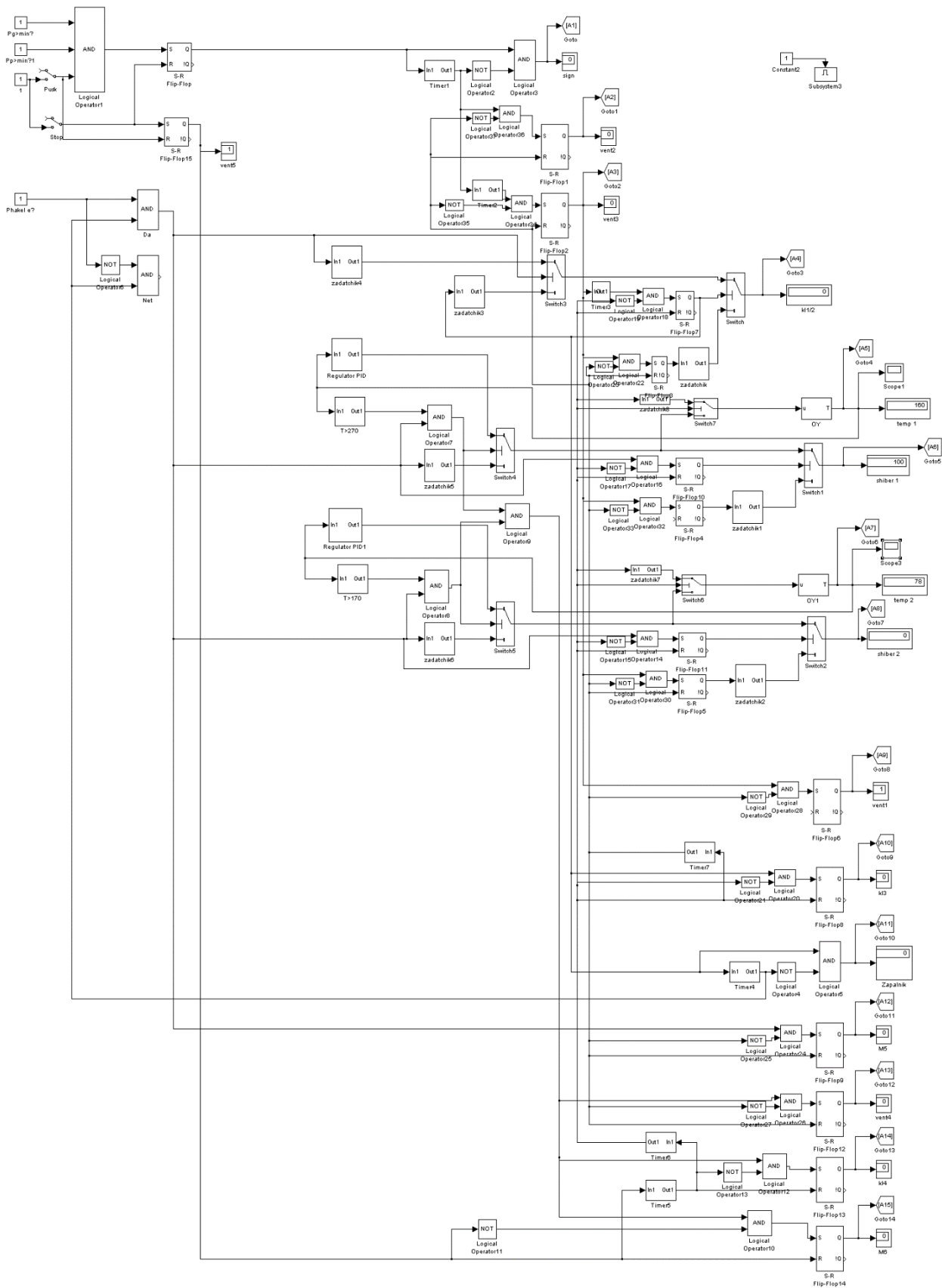


Рисунок 4.9– Схема моделювання роботи алгоритму запуску, технологічної та аварійної зупинки процесу випічки хліба, яка реалізована в MATLAB

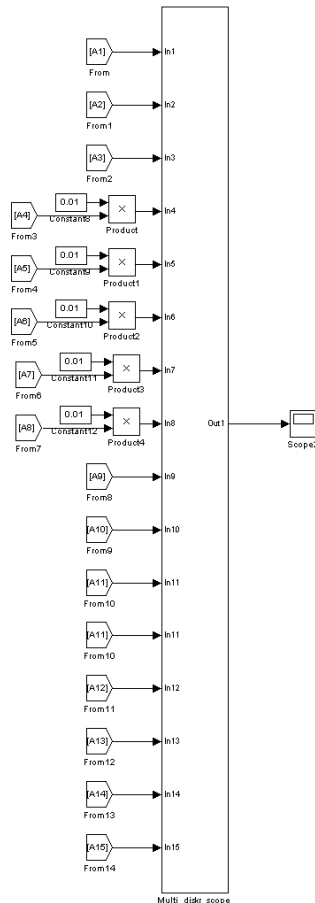


Рисунок 4.10 – Схема моделювання з Multi_diskr_score , що реалізована в MATLAB

Усі сигнали контрольованих змінних, а також ті, що керують клапанами, двигунами та сигнали «START», «STOP», наявності факелу подаються на Score через Multi_diskr_score, схема якого наведена на рисунку 4.10.

Формування умов, необхідних для запуску котла виконує логічний елемент AND за сигналами від датчиків-реле тиску в магістралях газу P_g та тиску в магістралях пару P_p , а також пускової кнопки (Push). Далі сигнал надходить у тригер SR Flip-Flop, котрий зводиться, і через AND3 починає працювати передпускова звукова сигналізація (ППЗС). Витримку часу на ППЗС забезпечує таймер 10s Timer, сигнал від якого через інвертор (NOT), потрапляє в логічний елемент AND3, вихідний сигнал із котрого, формує сигнал на ППЗС.

По закінченню роботи таймера 10s Timer, ППЗС вимикається, а сигнал 1 потрапляє на S вхід SR1, що призводить до його взведення і ввімкнення vent2. Також сигнал потрапляє на timer 2. Після витримки часу на 30 секунд вмикається vent 3.

Далі сигнал *I* надходить до логічного елементів AND (22, 32, 30, 28, 20) через котрі потрапляє на S вхід SR тригерів – 3, 4, 5, 6, 8 відповідно. З тригерів 3, 4, 5 потрапляє на задатчики. Далі проходить на перемикачі, котрі в 0 положенні. Завдяки цьому відкривається клапан m1/2, shiber 1, shiber 2 на 100%. 1 сигнал на тригерах 6, 8 приводить до ввімкнення vent 1 та m3. Триває продувка/вентильовання камер.

В той час приходить сигнал на timer 3. Та приходить на вхід елементу AND (18). Після сигнал потрапляє на S тригеру SR7. Після цього перемикач switch змінює положення. З SR7 сигнал потрапляє на zadatchik 3. Що задає сигнал відкриття на 20 %. Сигнал проходить перемикач 3 в 0 положенні та перемикач в 1 положенні. Далі сигнал потрапляє до m1/2. З SR7 сигнал потрапляє на вхід елементу AND (20) та фіксується сигнал тригером SR8. Внаслідок вмикається подача газу клапаном k13.

Сигнал з SR7 також йде на вхід елементу AND (6). Внаслідок виникає запал на 20 секунд запальника. Після цього маємо впевнитися чи розпал пройшов успішно. Якщо ні, то буде виконана аварійна зупинка. Факел може зникнути і під час експлуатації тунельної печі.

Для перевірки наявності факелу використовується фотодатчик. На схемі даний сигнал позначений як «Phakel e?». Від нього сигнали потрапляють до елементів AND (Da, Net). Але до «Net» сигнал інверсується. З timer 4 та з датчику наявності факелу сигнал потрапляє до елементів AND (Da, Net). Тобто так ми перевіряємо, щоб виконувалися обидві умови. Прихід сигналу від таймеру, що свідчить виконання минулих вимог технологічного процесу та наявність факелу.

Якщо розпал пройшов успішно. То сигнал з AND (Da) йде на вхід AND (24) та фіксується сигнал тригером SR9. Запускається робота конвеєру M5 всередині тунельної печі для рівномірного розігріву поверхні. Також сигнал від AND (Da) йде на задатчики (4,5,6). Що задає відкриття шибєрів 1,2 та клапану відношення палива/повітря на 60%. В той час сигнал також прийшов на перемикач 3 для проходу сигналу до k11/2. А із задатчиків 5,6 на перемикачі в 0 положенні (4,5) та відповідно до шибєрів. Задатчики 60% забезпечують створення великого факелу. Контури регулювання будуть ввімкнені при конкретних вказаних в регламентних зонах температурах. Канали регулювання ОК «U1 - Θзв1», «U2 – Θзв2» та їх відповідні

регулятори налагоджені відповідно до характеристик з частини дослідження («ТАК»).

Вихідний сигнал з ОК подається на входи Регуляторів PID та PID1. Також сигнали проходять відповідно на елементи порівняння порогового елемента $T > 270$ та $T > 170$. Котрі разом з AND (7,8) реалізують стандартні схеми регулювання (температури в зоні випічки 1 та в зоні випічки 2). Переключення Switch4 та Switch5 ввімкне контури регулювання. Сигнал на них приходять з AND (7,8). Коли всі вимоги виконалися та ввімкнулися КР Тзв1 та КР Тзв2 може продовжуватися далі робота технологічного процесу.

Для цього сигнали з AND (7,8) приходять на AND (9). Сигнал з AND (9) приходить на входи AND (26, 12, 10) та фіксуються SR тригерами – 12, 13, 14 відповідно. Це дозволяє ввімкнути подачу пару k14, відвід пари vent4 та подачу заготівок конвеєром М6. На цьому нормальний пуск завершено.

Нормальна зупинка (технологічна) ділянки починається з натискання кнопки "STOP" сигнал, від якої спершу скидається тригер SR Flip-Flop та на тригері SR Flip-Flop 15 формується 1. Далі сигнал буде приходити на R контакт скидати SR тригери відповідно блок-схеми алгоритму.

На рисунку 4.11 та рисунку 4.12 можемо побачити графіки ввімкнення та роботи контурів регулювання температури за нашими каналами ОК.

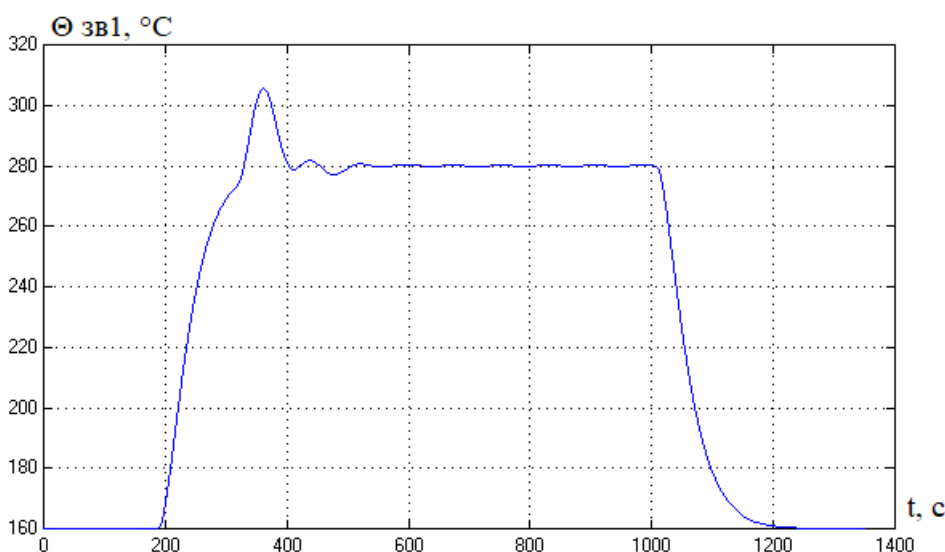


Рисунок 4.11 – Перехідні процеси пуску та зупинки в контурі регулювання температури «U1 - Θзв1»

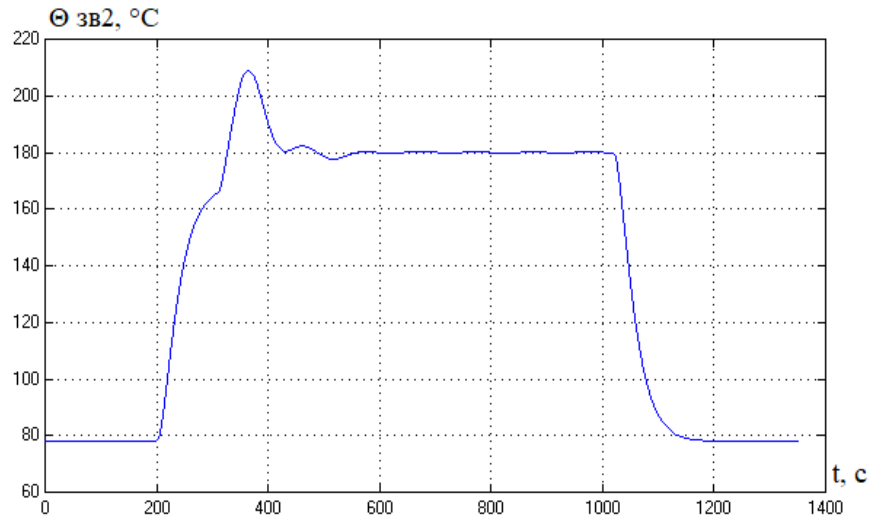


Рисунок 4.12 – Перехідні процеси пуску та зупинки в контурі регулювання температури «U2 – $\Theta_{зв2}$ »

На рисунку 4.13 наведені часові графіки змінних (Діаграма роботи системи керування), що відображають реальну послідовність керування пристроями (запірними вентилями, приводами конвеєрів, вентиляторів, запальником та ін.). Нижче розписані позначення сигналів з рисунку.

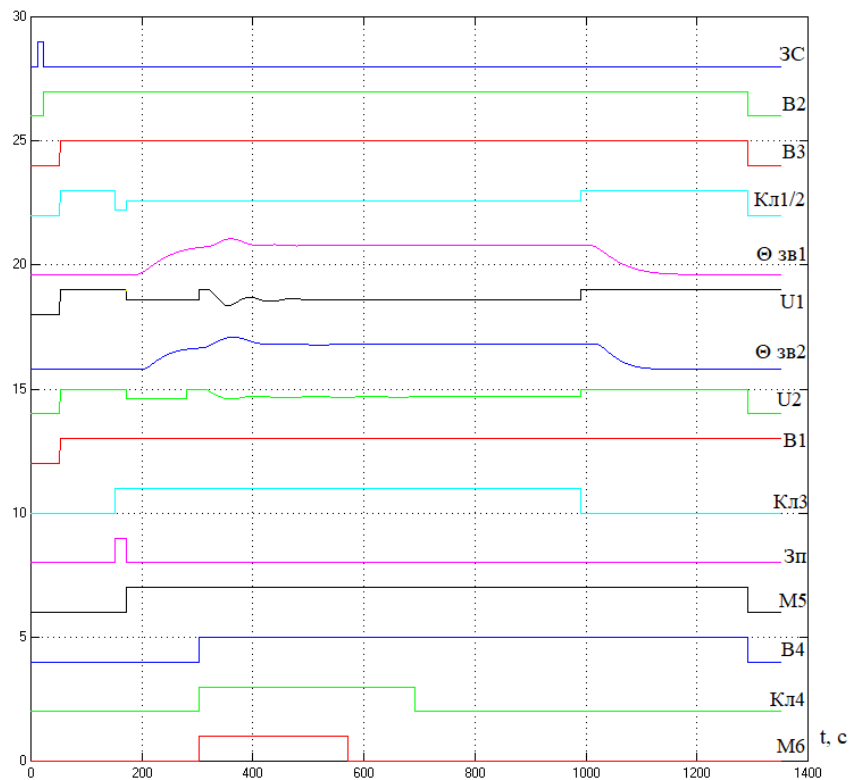


Рисунок 4.13 – Діаграма роботи системи керування в штатному режимі

- ЗС – Звукова сигналізація;
- В2 – Рециркуляційний вентилятор;
- В3 – Вентилятор подачі повітря до топки;
- Кл1/2 – Клапан співвідношення повітря/паливо;
- Θзв1 – Температура в зоні випічки 1;
- U1- Положення регулюючого шибєру для зв1;
- Θзв2 – Температура в зоні випічки 2;
- U2 - Положення регулюючого шибєру для зв2;
- В1 – Вентиляційний вентилятор;
- Кл3 – Клапан подачі газу;
- Зп – Запалювальний пристрій;
- М5 – Транспортуючий конвеєр в печі;
- В4 – Вентилятор відводу пари;
- Кл4 – Клапан подачі пари;
- М6 – Конвеєр подачі продукту;

Таким чином, робота ФЛС, що розроблена, повністю відображена в роботі програми в середовище MATLAB.

4.6 Висновки за розділом

В результаті виконання розділу для технологічного процесу керування випіканням хлібобулочних виробів у тунельній печі були складені регламенти функціонування та алгоритми пуску-зупинки процесу випічки хліба в штатному та аварійному режимах, розроблена функціональна логічна схема, побудована її реалізація в середовищі MATLAB.

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

У результаті моделювання ми вдосконалися, що складені алгоритми автоматичного логічного керування та функціонально логічна схема керування процесу випічки хліба виконані правильно.

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

5.1 Характеристики середовища для вибору технічних засобів автоматизації та місць їх розміщення

При аналізі середовищ, з якими взаємодіє тунельна піч на базі ППЦ 1, визначено ряд ключових параметрів, які потребують контролю, вимірювання та регулювання для забезпечення ефективності та безпеки процесу випікання хлібобулочних виробів. У контексті взаємодії засобів автоматизації та обслуговуючого персоналу важливо враховувати характеристики середовища та умови розміщення технічних засобів.

Піч стрічкова циклотермічна ППЦ-1 розташована у спекотному та закритому від дощу та снігу приміщенні. З урахуванням можливих витоків природного газу, це приміщення класифікується як пожежо- та вибухонебезпечне.

Датчики та виконавці механізмів розміщені безпосередньо на трубопроводах. Решта технічного обладнання системи керування та АРМ оператора-технолога знаходиться в окремому приміщенні, яке не класифікується як пожежо- та вибухонебезпечне, з температурою 20 - 25 °С та вологістю 50 - 60%. Датчики температури контактують з гарячим вологим повітрям. Датчики тиску контактують з паром та газом. Датчики і виконавчі механізми треба вибирати у вибухонебезпечному виконанні.

Згідно з "Правилами улаштування електроустановок" [15]:

- Відкрита, або зовнішня, електроустановка - електроустановка, не захищена будівлею від атмосферного впливу. Електроустановки, захищені тільки навісами, сітчастими огорожами тощо, розглядаються як зовнішні.

- Внутрішня електроустановка - електроустановка, розміщена всередині будівлі, що захищає її від атмосферного впливу.

Щодо безпеки ураження людей електричним струмом розрізняють:

- Приміщення без підвищеної небезпеки, в яких відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку.

- Приміщення з підвищеною небезпекою, які характеризуються наявністю умов, що створюють підвищену небезпеку: вологості або струмопровідного пилю; струмопровідної підлоги; високої температури; можливості одночасного дотику людини до металоконструкцій будівель тощо.

- Особливо небезпечні приміщення, які характеризуються наявністю умов, що створюють особливу небезпеку: особливої вологості; хімічно активного або органічного середовища; одночасно двох або більше умов підвищеної небезпеки.

Згідно з цією класифікацією, електрообладнання печі стрічкової циклотермічної відноситься до закритої електроустановки, а приміщення, де вона розташована, відноситься до місця з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом.

Відповідно до "Правил будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01" [16], класифікація вибухонебезпечних зон та характеристика вибухонебезпечних сумішей повинні бути чітко відображені в технологічному проекті або відповідних галузевих стандартах (табл. 5.1 та табл. 5.2).

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

Вибухонебезпечна зона класу 0 — це простір, де вибухонебезпечне середовище присутнє постійно або тривалий час. Згідно з вимогами даного документу, вибухонебезпечна зона класу 0 може існувати лише в межах корпусів технологічного обладнання.

Вибухонебезпечна зона класу 1 — це простір, де вибухонебезпечне середовище може утворитися під час нормальної роботи.

Вибухонебезпечна зона класу 2 — це простір, де вибухонебезпечне середовище за нормальних умов експлуатації відсутнє, але може з'являтися рідко і тривати недовго. У таких випадках аварії катастрофічних розмірів не розглядаються під час проектування електроустановок.

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

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

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

Відповідно до цієї класифікації, приміщення, де знаходиться піч стрічкова циклотермічна, належить до вибухонебезпечної зони класу 2.

Таблиця 5.1 - Допустимий рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних машин у залежності від класу вибухонебезпечної зони

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

"Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01" встановлюють вимоги до рівня вибухозахисту та ступеня

захисту оболонки електричних машин в залежності від класу вибухонебезпечної зони.

Таблиця 5.2 - Допустимий рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів у залежності від класу вибухонебезпечної зони

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

Для печі стрічкової циклотермічної вибирається ступінь захисту оболонки електричних машин та електричних апаратів і приладів - "Підвищеної надійності проти вибуху".

Згідно з "Правилами будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01", визначаються наступні пожежонебезпечні зони:

- Пожежонебезпечна зона класу П-I: це простір у приміщенні, де знаходиться горюча рідина, що має температуру спалаху більше +61° С.

- Пожежонебезпечна зона класу П-II: це простір у приміщенні, де можуть накопичуватися і виділятися горючий пил або волокна.

- Пожежонебезпечна зона класу П-IIa: це простір у приміщенні, де знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.

- Пожежонебезпечна зона класу П-III: це простір поза приміщенням, де знаходиться горюча рідина, яка має температуру спалаху понад $+61^{\circ}\text{C}$ або тверді горючі речовини.

Згідно з цією класифікацією, приміщення, де знаходиться піч стрічкова циклотермічна, відноситься до пожежонебезпечної зони класу П-III.

Відповідно до "Правил будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01" встановлюють наведені в таблицях 5.3 та 5.4 мінімальні ступені захисту.

Таблиця 5.3 - Мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин у залежності від класу пожежонебезпечної зони

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

Таблиця 5.4 - Мінімальний ступінь захисту оболонок електричних апаратів, приладів, шаф та наборів затискачів у залежності від класу пожежонебезпечної зони

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

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

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

В контексті автоматизації процесу випікання хлібобулочних виробів у тунельній печі, вибір технічних засобів для збору інформації про хід технологічного процесу та стан обладнання є ключовим етапом. Цей вибір визначає ефективність контролю, якість продукції та загальну продуктивність виробництва.

В даній частині проводиться аналіз вимог до технічних засобів збору інформації, виходячи з особливостей технологічного процесу випікання, вимог до точності вимірювань та урахування специфіки виробничого середовища. Прийняття обґрунтованого рішення щодо вибору технічних засобів дозволить оптимізувати виробничий процес та забезпечити високу якість продукції. Розглянемо перелік параметрів, які підлягають вимірюванню, контролю, реєстрації та регулюванню в контексті автоматизації процесу керування випіканням хлібобулочних виробів у тунельній печі [17].

Під час вимірювання температури в зоні випічки 1 та зоні випічки 2 використовуються конструктиви датчиків температури українського виробництва Тера моделі 1-43 (рис. 5.1) [18]. Один з найпоширеніших конструктивів датчиків температури з рухомим штуцером і клемною головкою. Виконання "вибухонепроникна оболонка" Exd або "іскробезпечний ланцюг" Exia. Застосовується для вимірювання температури у вибухонебезпечних середовищах. Може постачатися у комплекті з зовнішньою гільзою і бобишкою. В клемну головку може вбудовуватися перетворювач сигналу в 4-20 мА або 4-20 мА з протоколом HART. Технічні характеристики конструктиву датчика температури Тера наведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Технічні характеристики конструктиву датчика температури Тера моделі 1-43

Тип моделі	Занурювальний
Види вибухозахисту	Іскробезпечний електричний ланцюг "i" Вибухонепроникна оболонка "d"
Маркування вибухозахисту	II 1G Exia IIC T6...T1 Ga (повністю в зонах 0 (20), 1 (21), 2 (22)) II 1/2G Ex db IIC T6...T1 Ga/Gb (повністю в зонах 1 (21), 2 (22), в зоні 0 (20) тільки монтажна частина)
Тип і НСХ	ТСМ (50М, 100М) ТСП (50П, 100П, Pt100, Pt1000) ТХА (К), ТХК (L), ТЖК (J)
Кількість ЧЕ	1 чи 2
Клас допуску	В (для ТСМ) АА, А, В (для ТСП) 1, 2 (для ТЖК, ТХА) 2 (для ТХК)
Схема з'єднання ЧЕ для ТС	2-,3-,4-х дротова, 2-х дротова з двома ЧЕ
Тип спаю для термопар	Ізольований
Кріплення	Стандартно - M20x1,5 під замовлення - G1/2
Тип головки	АХ
Різьба під кабельне введення в головку	M20x1,5
Матеріал захисної арматури	Стандартно - н/ж сталь 12Х18Н10Т (АІSІ 321), під замовлення - н/ж сталь 10НХ17Н13М2Т (АІSІ 316 Ті)
Діапазон температури, °С	-50...150 (для ТСМ) -50...250, -50...500, -50...600 (для ТСП) -40...250, -40...500, -40...800 (для ТХА) -40...250, -40...600 (для ТХК) -40...250, -40...500 (для ТЖК)
Робочий тиск, МПа	6,3
Сертифікат по техрегламенту	Пост. КМУ №1055 від 28.12.16 Пост. КМУ №163 від 24.02.16 (для ТСП, ТСП HART)
Довжина монтажної частини, L, мм	60, 80, 100, 120, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 630, 800, 1000, 1500, 2000
Довжина зовнішньої частини, мм*	70, 120
Діаметр монтажної частини, мм	Ø6, Ø8, Ø10

Виходячи з цього, для вимірювання температури в зоні випічки 1 (діапазон 200-300°С) обираємо в каталозі термометр опору за формулю запису ТСП-У-1-43-Pt100-В-3-500-10-M20x1,5-120-АХ-А12-/-50...500/ - Exi.

Для зони випічки 2 (діапазон 130-200°C) обираємо ТСП-У-1-43-Pt100-А-3-500-10-М20х1,5-120-АХ-А12-/-50...250/ - Ехі.



Рисунок 5.1 – Зовнішній вигляд датчика температури Тера 1-43 ТСП Pt100

Для даних термометрів опору використовується вбудований перетворювач 4-20 мА або RS485 в клемну головку термоперетворювач стандарту Ехіа (рис. 5.2). Технічні характеристики наведено на рис. 5.3.



Рисунок 5.2 – Нормуючий перетворювач 4-20мА

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ				
Тип	Вхідний сигнал	Вихідний сигнал	Діапазон перетворення, °C	Клас точності, %
ТСПУ	50П, 100П, Pt100	4-20 мА	0...150, -50...250, -50...650	0,2 або 0,5
ТХАУ	ХА (К)		0...500, 0...850, 0...1300	
ТННУ	НН (N)		0...1300	
ТППУ	S, R		0...1700	
ТПРУ	В		600...1700	
ТСП RS	50П, 100П, Pt100	RS485	0...150, -50...250, -50...650	0,5
ТХА RS	ХА (К)		0...500, 0...850, 0...1300	
ТНН RS	НН (N)		0...1700	
ТПП RS	S, R		600...1700	
ТПР RS	В		600...1700	
Протокол обміну RS485			Корпус перетворювача	
Modbus RTU або Tbus (TEPA)			Клемна головка В, ВХ, А1, АХ, АІХ (для вбудованого), Z67 (для виносного)	
Живлення	Схема з'єднання з датчиком		Температура навколишнього середовища, °C	
12-36 В DC, 12-30 В DC ²	2-х або 3-х дротова для ТС, 2-х дротова (1 спай) для ТП		-40...70	
Техрегламент				
Техрегламент обладнання та захисних систем, призначених для застосування в потенційно вибухонебезпечному середовищі (постанова КМУ від 28.12.2016р. №1055) - Exia - іскробезпечне коло (тільки для вбудованого перетворювача ТСПУ)				

Рисунок 5.3 – Технічні характеристики нормуючого перетворювача 4-20мА для термометра опору

Технологічний процес випічки хліба в хлібопекарській печі доцільно реалізовувати, якщо є достатній для ведення процесу тиск газу на колекторі (42кПа/0,42бар). Для зволоження тістових заготовок у пекарню камеру подається пара з магістралі підприємства. При цьому тиск пари в паропроводі не повинне бути нижчим від 150 кПа (1,5 бар). Тому для контролю даних параметрів використовуються датчики реле з дискретним типом сигналу виробника Danfoss типу RT (рис. 5.4). Це датська компанія, що є світовим лідером у постачанні технологій для цілої низки галузей у різних сферах діяльності [19].

Реле тиску типу RT призначені для регулювання, поточного контролю та аварійної сигналізації у промисловості та морському секторі. Встановлюються в системах з рідкими та газоподібними середовищами, а також парою. Реле RT забезпечені однополюсними вимикачами, які замикають або розмикають електричний ланцюг при зміні тиску в системі порівняно із заданим. Ця серія реле відрізняється високим ступенем захисту, надійністю та міцністю. Технічні характеристики реле тиску Danfoss RT наведено на рис. 5.5.

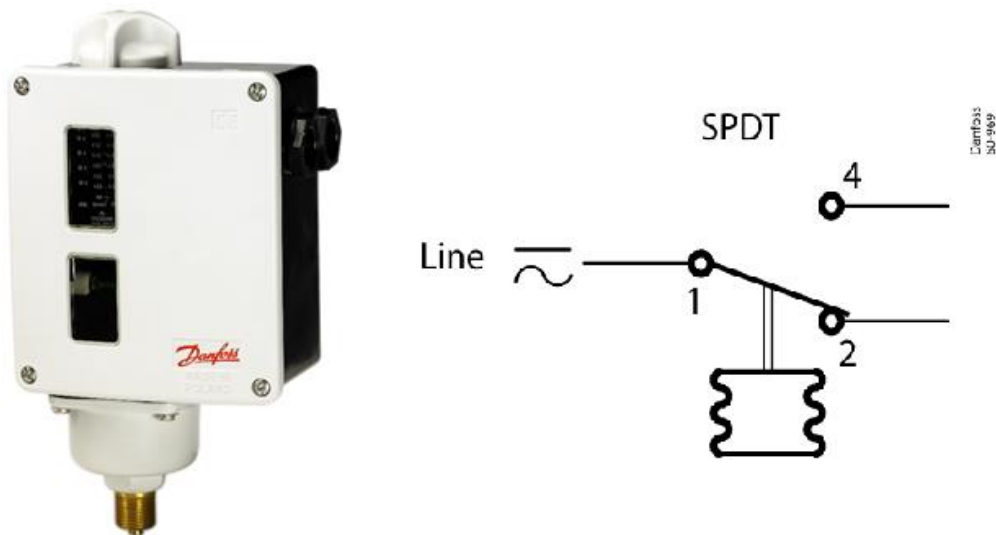


Рисунок 5.4 – Зовнішній вигляд та схема реле тиску Danfoss RT

Назва	Реле тиску RT
Температура навколишнього середовища	В загальному -50 – 70 °C Версія з діафрагмою -10 – 70 °C Схвалено TÜV -40 – 70 °C
Температура середовища	В загальному -50 – 100 °C Версія з діафрагмою -10 – 90 °C Схвалено TÜV -40 – 150 °C
Система контактів	Однополюсний перемикач (SPDT), див. Малюнок 22
Навантаження на контакти	Змінний струм: AC-1: 10A, 400 ВA C-3: 4A ^{II} , 400 ВAC -15: 3A ^{II} , 400 В
Матеріал контактів: AgCdO	Постійний струм: DC-13: 12 Вт, 220 В (див. Малюнок 23)
Спеціальна контактна система	див. Запчастини та аксесуари
Кабельний ввід	2 PG 13.5 для 6 – 14 мм діаметр кабеля
Твердий / багатожильний	0.2 – 2.5 мм ²
Гнучкий, без наконечників	0.2 – 2.5 мм ²
Гнучкий, з наконечниками	0.2 – 1.5 мм ²
Момент затягування	макс. 1.5 Нм
Корпус	IP66 відповідно до IEC 529 і EN 60529. Блоки постачаються із зовнішнім скиданням IP54. Корпус термостата виготовлений з бакеліту відповідно до DIN 53470. Кришка виготовлена з поліаміду.

Рисунок 5.5 – Технічні характеристики реле тиску Danfoss RT

Обираємо реле тиску Danfoss RT110 017-140966, що підходить для двох випадків. Основні характеристики даних датчиків: Діапазон: 0.2 - 3 бар, диференціал [бар]: 0.08 - 0.25, функція контакту: SPDT, функція скидання: автоматично, тип підключення тиску: G, розмір підключення тиску: 3/8, клас захисту корпусу IP: IP66, максимальний робочий тиск [бар]: 7.0.

Для контролю наявності факелу у системі випікання хлібобулочних виробів у тунельній печі було обрано датчик полум'я Siemens QRA2 (рис. 5.6) разом із блоком управління полум'ям Siemens LFE10 (рис. 5.8) [20]. Ця комбінація забезпечує

надійний та ефективний контроль за процесом горіння, що є критичним для безпеки та ефективності технологічного процесу. Технічні характеристики фотодатчика Siemens QRA2 наведено на рис. 5.7.



Рисунок 5.6 – Зовнішній вигляд фотодатчика Siemens QRA2

Параметр	Значення
Назва виробу, виробник	Siemens QRA2(1)
Режим роботи	Періодичний
Чутливість	Нормальна
Колір клемної кришки	Чорний
Тип застосованого автомата горіння	LGB2... / LGB4... з AGQ1... / LFL... / LFE1... / LFE10... / LMG... з AGQ2... / LME21... / LME22... / LME39... з AGQ3... / LMV2... / LMV3... / LMV5... з AGQ1... / AGR 502 1131 0
Тип запасного УФ-елемента	AGR4 502 1131 0
Клас захисту	IP40
Кліматичні умови роботи	Клас 3К3
Механічні умови роботи	ЗМ3
Діапазон температур	-20°C до +60°C
Монтажне положення	Опціонально
Приналежності для Siemens QRA2(1)	Фланець скруглений (номер деталі 4 241 8855 0) і зажим (номер деталі 4 199 8806 0)

Рисунок 5.7 – Технічні характеристики фотодатчика Siemens QRA2

Siemens QRA2 - ультрафіолетовий детектор полум'я, що забезпечує високу чутливість та точність у виявленні полум'я. Використовується для виявлення полум'я в газових пальниках. Потребує використання з блоком управління полум'ям для перетворення сигналу.

Siemens LFE10 - блок управління полум'ям, призначений для роботи з ультрафіолетовими датчиками полум'я. Перетворює сигнал від датчика QRA2 у дискретний сигнал 0/1, що підходить для використання в системах автоматизації.

Схема підключення фотодатчика та реле контролю горіння наведена на рис. 5.9.



Рисунок 5.8 – Зовнішній вигляд пристрою контролю горіння Siemens LFE10

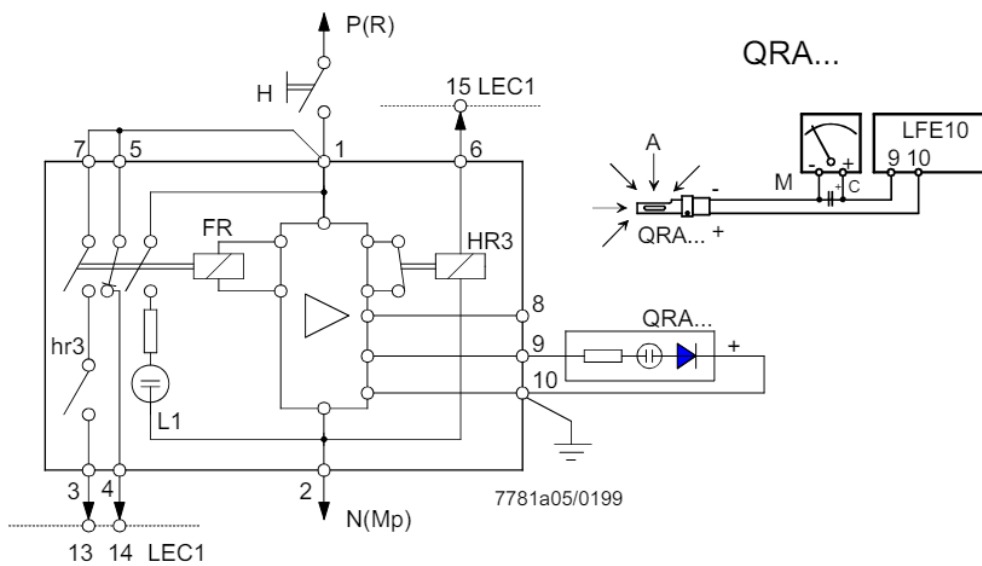


Рисунок 5.9 – Схема підключення фотодатчика та реле контролю горіння

Під час автоматизації процесу керування випіканням хлібобулочних виробів у тунельній печі, виникає необхідність у підвищенні точності та забезпеченні стабільності вимірювальних каналів для забезпечення якісного та ефективного випікання продукції.

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

Під час обґрунтування та вибору типів регулюючих органів та виконавчих механізмів для керування технологічним процесом випікання хлібобулочних виробів у тунельній печі враховувалися характеристики регульованих середовищ та вимоги до ефективного керування процесом.

Газовий пальник Weishaupt (Вайсхаупт) WG40N/1-A ZM-LN 3/4" (рис. 5.10.) працює на природному газі E/LL. Він приймає ключову роль в технологічному процесі випікання хлібобулочних виробів у тунельній печі. Робота з газом у пальнику відбувається наступним чином. Газовий кульовий кран дозволяє відкривати та припинити подачу газу. Мультиблок складається з газового фільтра, що служить для збереження розміщеної за ним арматури від попадання всіляких твердих частинок [21].



Рисунок 5.10 – Зовнішній вигляд газового пальника Weishaupt WG40

Технічні характеристики пальника WG40N/1-A ZM-LN 3/4" наведені в таблиці 5.6. Всі конструктивні елементи нового типу пальників зібрані в єдиний блок та займають мінімум місця.

Таблиця 5.6 – Технічні характеристики пальника Weishaupt

Країна	Німеччина
Вид палива	Газ
Число ступенів регулювання	2
Мін потужність, кВт	55
Мах потужність, кВт	550
Мін тиск, мБар	15
Мах тиск, мБар	300
Напруга/частота струму, В/Гц	220/50
Модуляція	Так
Потужність, Вт	786
вага, кг	35

Для регулювання подачі газу та пари у систему використовується клапан від компанії Honeywell типу V5011A (рис. 5.11) у комплекті з електроприводом Honeywell ML7420A (рис. 5.12) [22].

Для регулювання подачі повітря використовується повітряна заслінка Honeywell V5421B1066 (рис. 5.13) з електроприводом Honeywell ML7420A (рис. 5.12). В залежності від підключення електроприводу, клапан буде працювати в режимі регулювання або мати два положення (відкрито-закрито). Клапани призначені для трубопроводу DN100 і забезпечують точний контроль подачі середовища, що є важливим для підтримання стабільних умов у системі.

Технічні характеристики клапана Honeywell V5011A:

- Тип клапана: Одинарний сідловий клапан
- Діаметр номінальний (DN): Від DN15 до DN150
- Максимальний робочий тиск: 1600 кПа (16 бар)
- Температурний діапазон робочого середовища: Від -10°C до +150°C
- Матеріал корпусу: Чавун або бронза (залежно від моделі)
- Тип підключення: Різьбове або фланцеве
- Тип керування: Прямий або зворотній хід
- Сумісність з приводами: Сумісний з приводами Honeywell серій ML7420, ML6420, і іншими електроприводами Honeywell



Рисунок 5.11 – Зовнішній вигляд клапана Honeywell V5011A

Основні характеристики електропривода ВМ Honeywell ML7420A:

- Напруга живлення: 24 В змінного/постійного струму
- Вихідний сигнал: 0/2 до 10 В постійного струму або 0/4 до 20 мА
- Хід штока: 20 мм
- Сила: 450 Н
- Швидкість: 0.8 мм/с
- Робочий температурний діапазон: -5°C до 60°C

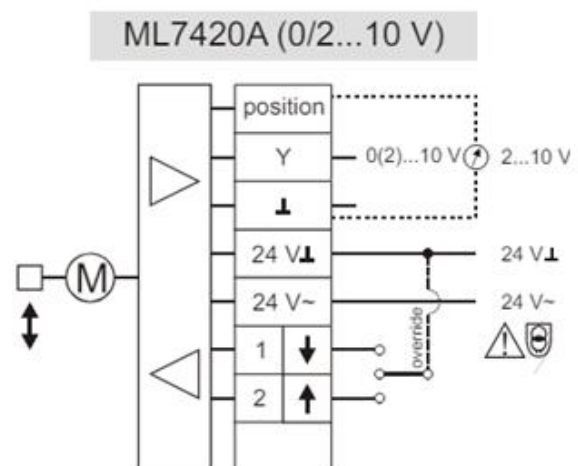


Рисунок 5.12 – Зовнішній вигляд та схема підключення електропривода ВМ Honeywell ML7420A

Клапан Honeywell V5421B1066 забезпечує високу прохідність і підходить для використання з газами, такими як повітря.

Характеристики повітряної заслінки:

- Номінальний діаметр: DN100
- Тип: Поворотний затвор
- Робочий тиск: PN16
- Прокідність (Kvs): 745 м³/год
- Температурний діапазон: від -10 до 130 °С
- Матеріал корпусу: Чавун
- Призначення: Подача повітря та інших газів



Рисунок 5.13 – Зовнішній вигляд повітряної заслінки Honeywell V5421B1066

Для регулювання подачі тепла в зони випікання підходить заслінка/шибер від Honeywell ZD24X16TZ/U (рис. 5.14). Вона підходить для систем з високою температурою, таких як печі для випікання.

Основні характеристики:

- Номінальний діаметр: Відповідний до вимог конкретної системи
- Матеріал: Нержавіюча сталь або спеціальні високотемпературні сплави
- Тип приводу: Моторизований або ручний
- Робочий температурний діапазон: -40°С до 300°С
- Максимальний робочий тиск: Залежить від типу застосування



Рисунок 5.14 – Заслінка з паралельними лопатями Honeywell ZD24X16TZ/U

Вибір технічних засобів сполучення ПЗО (програмно-здаткового обладнання) контролера з виконавчими механізмами здійснюється з урахуванням характеристик контролера та вимог до ефективності та надійності керування обладнанням.

Для безпосереднього запуску електроприводів вентиляторів використовуються такі пристрої: контактор Schneider Electric LC1K0901M7 (рис. 5.15) та автоматичний вимикач Schneider GV2ME143 (рис. 5.16), що слугує також для захисту двигунів від перевантажень [23]. Усі двигуни, що використовуються у технологічному процесі випікання хліба, мають живлення 380В, 50 Гц та потужність 4 кВт.

Контактор має характеристики:

- Тип контактора: LC1К
- Номінальний струм: 9 А
- Номінальна напруга котушки: 230 В АС
- Кількість полюсів: 3
- Додаткові контакти: 1 NO (нормально відкритий)
- Робоча напруга: до 690 В АС
- Механічна витривалість: 10 мільйонів циклів
- Робоча температура: -25°C до +50°C

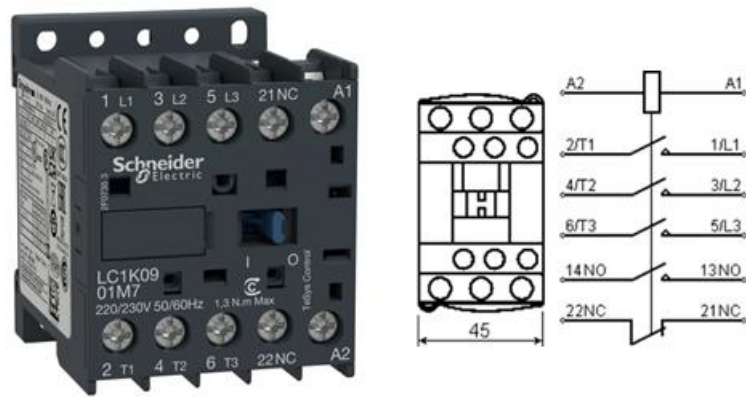


Рисунок 5.15 – Зовнішній вигляд та схема підключення контактора Schneider Electric LC1K0901M7

Автоматичний вимикач Schneider Electric GV2ME143 має характеристики:

- Тип автоматичного вимикача: GV2ME
- Номінальний струм: 9-14 А (регульований)
- Міцність струму короткого замикання: 100 кА при 400 В
- Тип розчіплювача: Тепловий/електромагнітний
- Клас захисту: IP20
- Монтаж: На DIN-рейку
- Робоча температура: -20°C до $+60^{\circ}\text{C}$



Рисунок 5.16 – Зовнішній вигляд та схема підключення автоматичного вимикача Schneider GV2ME143

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

Проведемо порівняльний аналіз і попередній вибір принципів побудови технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі. Під час аналізу розглядалися два основних підходи:

Централізована структура:

- У централізованій структурі системи контролер виконує функції програмно-задаткового обладнання (ПЗО) та реалізує алгоритми керування.

- Реалізація апаратно-програмного забезпечення ведеться на панелі оператора або на промисловому комп'ютері (ПК).

Розподілена структура:

- У розподіленій структурі контролер також відповідає за реалізацію алгоритмів керування, але декілька станцій розподіленого вводу/виводу виконують функції віддалених програмно-задаткових обладнань.

- Реалізація апаратно-програмного забезпечення здійснюється на персональному комп'ютері (ПК).

Після проведення аналізу можемо сказати, що дана система відноситься до централізованої структури. Контролер виконує функції програмно-задаткового обладнання та реалізує алгоритми керування, а керування здійснюється з панельного комп'ютера на базі операційної системи Windows, який буде вмонтований на щиті. Така архітектура передбачає централізований доступ до контролера зі зручного інтерфейсу панелі оператора.

Виконав аналіз технологічної схеми та функцій, які повинна реалізовувати система керування, складемо таблицю 5.7 зі списком параметрів, які повинні вводитись і виводитись з контролера.

Таблиця 5.7 - Список параметрів які вводяться і виводяться із контролера

№	Найменування параметру	Умовне позначення	Вид сигналу A/D	Тип сигналу I/O	Діапазон сигналу на вході/виході контролеру	Позначення на схемі
1	Температура в зоні випічки 1	Tzv1	A	I	(4-20 мА)	1AI
2	Температура в зоні випічки 2	Tzv2	A	I	(4-20 мА)	2AI
3	Сигнал з додаткового контакту пускача KM1	KM1	D	I	24 V DC	1DI
4	Сигнал з додаткового контакту пускача KM2	KM2	D	I	24 V DC	2DI
5	Сигнал з додаткового контакту пускача KM3	KM3	D	I	24 V DC	3DI
6	Сигнал з додаткового контакту пускача KM4	KM4	D	I	24 V DC	4DI
7	Сигнал з додаткового контакту пускача KM5	KM5	D	I	24 V DC	5DI
8	Сигнал з додаткового контакту пускача KM6	KM6	D	I	24 V DC	6DI
9	Аварійний стоп M5	SB1	D	I	24 V DC	7DI
10	Аварійний стоп M6	SB2	D	I	24 V DC	8DI
11	Автоматичний вимикач M1	QF1	D	I	24 V DC	9DI
12	Автоматичний вимикач M2	QF2	D	I	24 V DC	10DI
13	Автоматичний вимикач M3	QF3	D	I	24 V DC	11DI
14	Автоматичний вимикач M4	QF4	D	I	24 V DC	12DI
15	Автоматичний вимикач M5	QF5	D	I	24 V DC	13DI
16	Автоматичний вимикач M6	QF6	D	I	24 V DC	14DI
17	Локальний режим M1	SL1	D	I	24 V DC	15DI
18	Локальний режим M2	SL2	D	I	24 V DC	16DI
19	Локальний режим M3	SL3	D	I	24 V DC	17DI
20	Локальний режим M4	SL4	D	I	24 V DC	18DI
21	Локальний режим M5	SL5	D	I	24 V DC	19DI
22	Локальний режим M6	SL6	D	I	24 V DC	20DI
23	Пуск вентилятора B1(M1)	M1	D	O	«Відкритий колектор»	1DO
24	Пуск вентилятора B2(M2)	M2	D	O	«Відкритий колектор»	2DO

25	Пуск вентилятора В3(М3)	М3	D	O	«Відкритий колектор»	3DO
26	Пуск вентилятора В4(М4)	М4	D	O	«Відкритий колектор»	4DO
27	Пуск транспортера (М5)	М5	D	O	«Відкритий колектор»	5DO
28	Пуск транспортера (М6)	М6	D	O	«Відкритий колектор»	6DO
29	Керування запальним пристроєм	Zp	D	O	«Відкритий колектор»	7DO
30	Керування клапаном подачі газу	K1	D	O	«Відкритий колектор»	8DO
31	Керування клапаном подачі пари	K2	D	O	«Відкритий колектор»	9DO
32	Керування клапаном повітря/паливо	K3	A	O	«Відкрити колектор»	1AO
33	Датчик наявності полум'я	BE	D	I	24 V DC	21DI
34	Тиск пари в паропроводі	P_par	D	I	24 V DC	22DI
35	Тиск газу в газопроводі	P_gaz	D	I	24 V DC	23DI
36	Керуюча дія клапану подачі тепла в зону випічки 1	U1	A	O	(0-10 V)	2AO
37	Керуюча дія клапану подачі тепла в зону випічки 2	U2	A	O	(0-10 V)	3AO
38	Автоматичний пуск лінії	Pusk	D	I	24 V DC	24DI
39	Автоматичний стоп лінії	Stop	D	I	24 V DC	25DI
40	Звукова сигналізація	HA	D	O	«Відкритий колектор»	10DO

Кількість каналів вводу/виводу:

AI – 2 , AO – 3, DI – 25, DO – 10

Технічну структуру системи управління розробимо на базі розподіленої системи WAGO I/O [24].

Для реалізації алгоритмів управління в модулях УСО контролера повинні бути передбачені 2 - аналогових входів, 3 - аналогових виходи, 25 - дискретних входів і 10 - дискретних виходів.

Обираючи контролер для системи автоматизованого керування процесом випікання хлібобулочних виробів, було звернено увагу на кілька ключових переваг контролера WAGO PFC200 750-8212. По-перше, цей контролер відзначається

гнучкістю в конфігурації, завдяки різноманітним модулям вводу/виводу, що дозволяє налаштувати систему відповідно до потреб конкретного технологічного процесу.

Другою важливою перевагою є широкий функціонал контролера. WAGO PFC200 750-8212 підтримує різні протоколи зв'язку та може легко інтегруватися з різними промисловими пристроями та сенсорами, що робить його універсальним рішенням для різноманітних завдань автоматизації.

Третя перевага полягає в надійності контролера. Виробництво WAGO відоме своєю високою якістю та надійністю, що забезпечує безперебійну роботу системи в умовах виробничого середовища.

Додатково, контролер WAGO PFC200 750-8212 підтримує середовище програмування CODESYS, що дозволяє розробляти складні програми керування та мати доступ до великої кількості функціональних можливостей для оптимізації технологічного процесу.

Зазначена масштабованість системи дозволяє легко розширювати функціонал і потужність контролера відповідно до зростаючих потреб в керуванні та автоматизації. Загалом, обрання контролера WAGO PFC200 750-8212 становить оптимальний вибір для ефективного управління технологічним процесом випікання хлібобулочних виробів.

Виходячи із сформованої таблиці 5.7, для реалізації алгоритмів управління скористаємося контролером WAGO PFC200 750-8212 з модулями ПЗО: AI WAGO 750-455, AO WAGO 750-559, DI WAGO 750-1400, DI WAGO 750-1400, DO WAGO 750-1504.

Центральний процесор WAGO PFC200 750-8212 характеризується наступними показниками: мікропроцесор Cortex A8 1 ГГц, програмна сумісність з WAGO-I/OPRO V2.3 (based on CODESYS V2.3) та з CODESYS V3.5, годинник реального часу, Основна пам'ять (RAM) 512 Мб, Внутрішня пам'ять (флеш) 4096 Мб, інтегрований Web-інтерфейс.

Загальний вид контролера та схема його підключення наведені на рис. 5.17 та рис. 5.18.

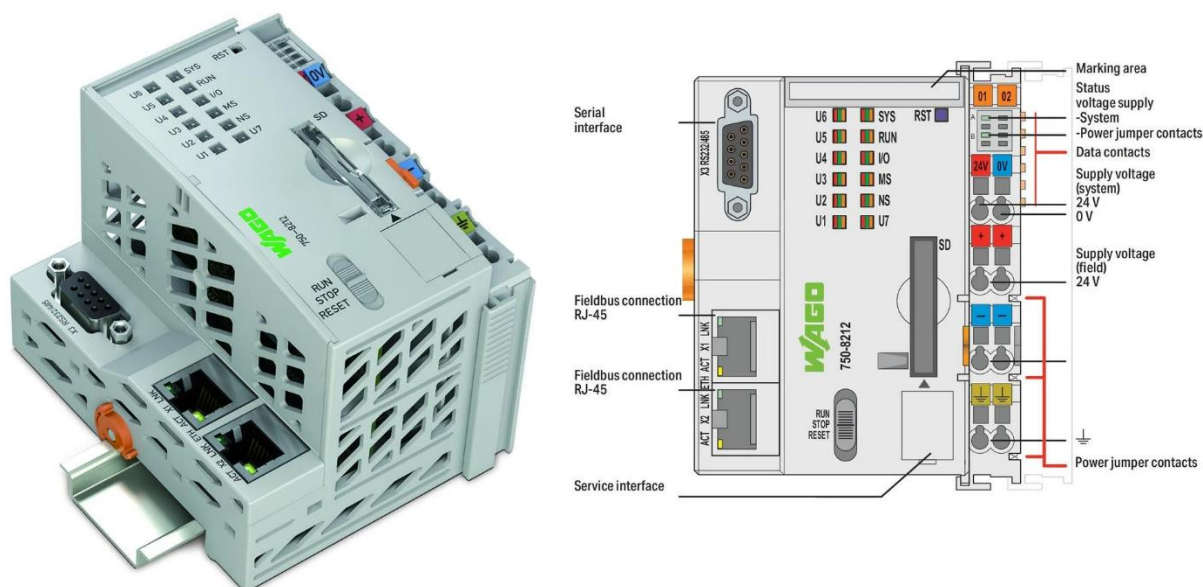


Рисунок 5.17 – Контролер WAGO 750-8212 – загальний вигляд

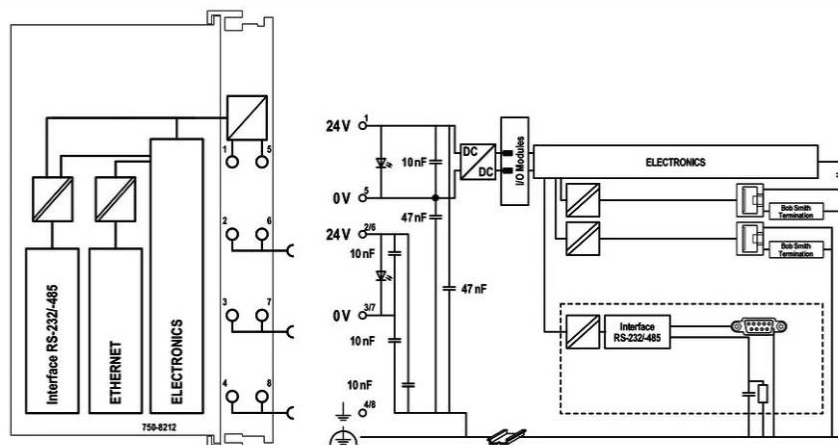


Рисунок 5.18 – Схема підключення контролера WAGO 750-8212

Для введення аналогових сигналів у контролер будемо використовувати 4-канальний модуль аналогового введення WAGO 750-455 (рис. 5.19). Модуль аналогового введення обробляє сигнали зі стандартизованим розміром 4 ... 20 мА. Вхідний сигнал гальванічно відокремлений від системної шини та обробляється з роздільною здатністю 12 біт. Для живлення використовується напруга внутрішньої системної шини. Вхідні канали модуля мають спільний потенціал заземлення. Схема підключення ПЗО WAGO 750-455 наведена на рис. 5.20.

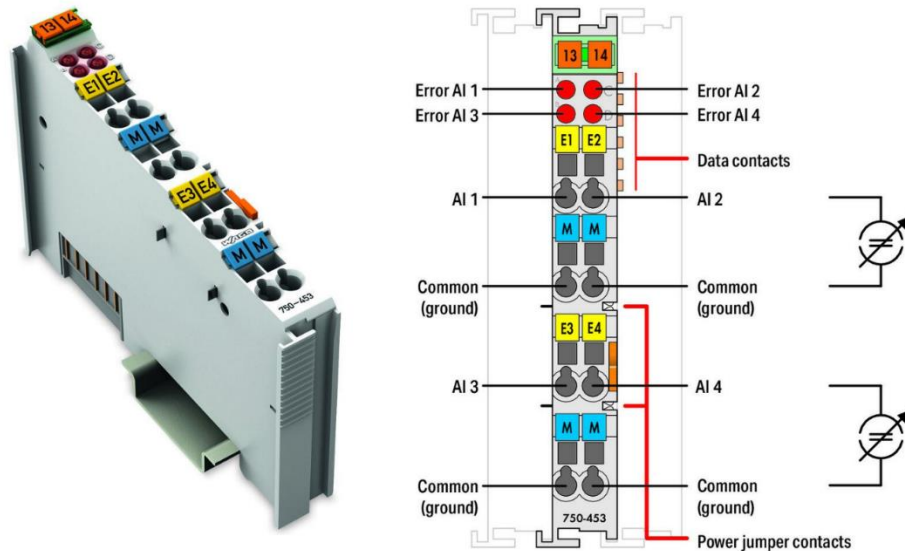


Рисунок 5.19 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-455

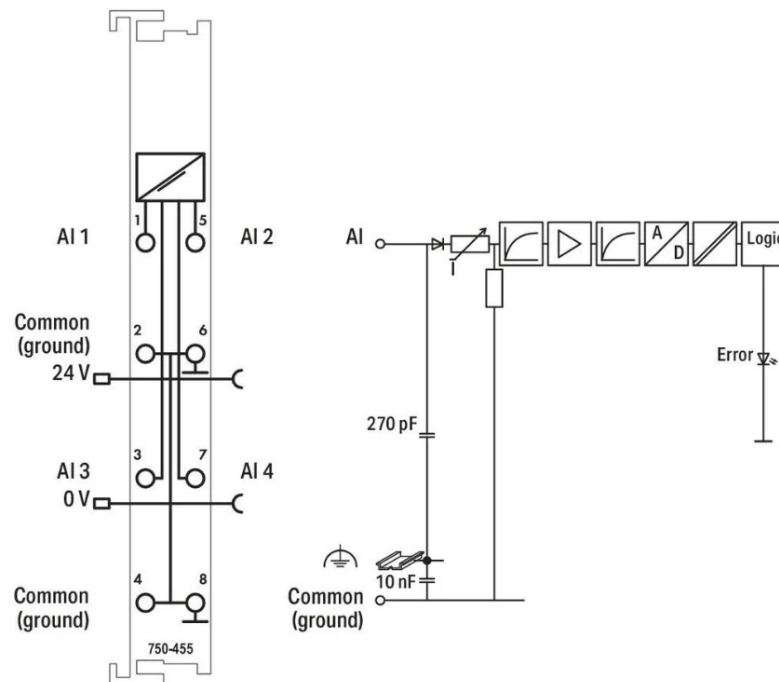


Рисунок 5.20 – Схема підключення ПЗО WAGO 750-455

Для виведення аналогових сигналів з контролера (формування аналогових керуючих дій) будемо використовувати 4-канальний модуль аналогового виводу WAGO 750-559 (рис. 5.21). Цей аналоговий вихідний модуль генерує стандартні сигнали 0–10 В. Вихідний сигнал електрично ізольований і передається з роздільною здатністю 12 біт. Живлення модуля здійснюється від внутрішнього джерела живлення. Вихідні канали модуля мають спільний потенціал заземлення. Схема підключення ПЗО WAGO 750-559 наведена на рис. 5.22.

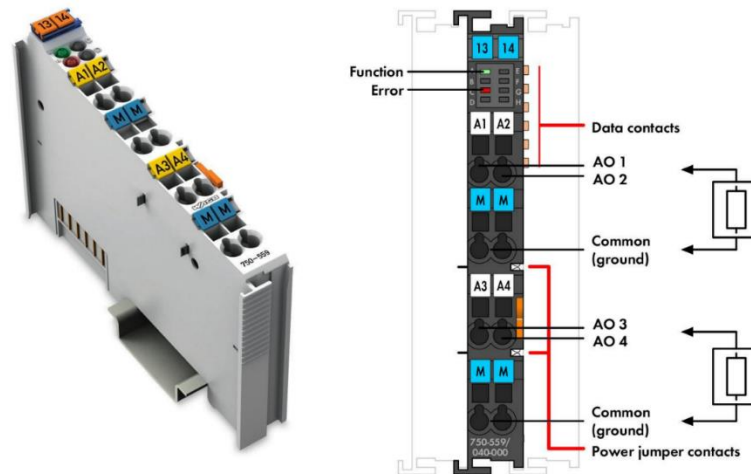


Рисунок 5.21 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-559

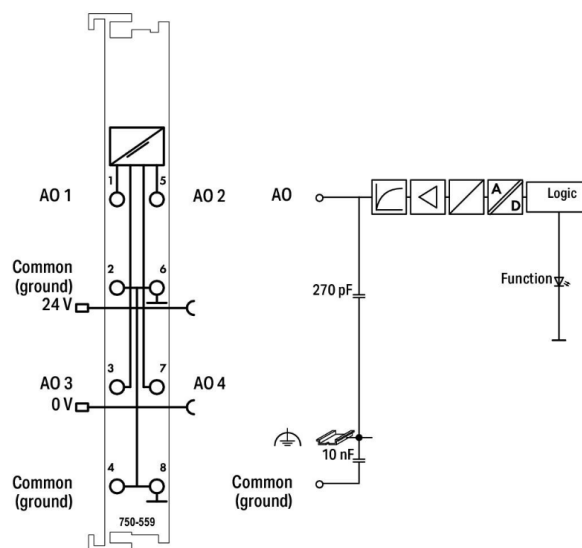


Рисунок 5.22 – Схема підключення ПЗО WAGO 750-559

Для вводу дискретних сигналів до контролеру будемо використовувати два 16-канальних модулі дискретного вводу WAGO 750-1400 (рис. 5.23). Цей цифровий вхідний модуль має 16 каналів завширшки всього 12 мм (0,47 дюйма). Він отримує двійкові сигнали керування від цифрових польових пристроїв (наприклад, датчиків, кодерів, перемикачів або датчиків наближення).

Модуль підключається до електронних модулів за допомогою 20-контактного стрічкового кабелю. Напряга 24 В подається на електронні модулі через два роз'єми CAGE CLAMP. Кожен вхідний канал має RC-фільтр шумозаглушення з постійною часу 3,0 мс. Зелений світлодіод вказує на стан сигналу кожного каналу. Польовий і системний рівні електрично ізольовані. Схема підключення наведена на рис. 5.24.

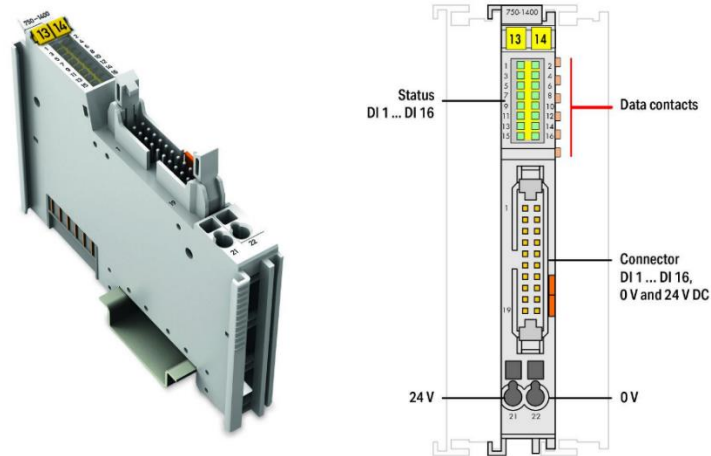


Рисунок 5.23 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-1400

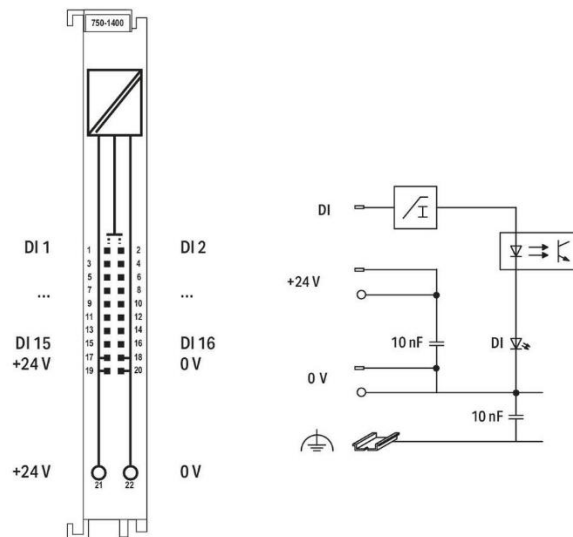


Рисунок 5.24 – Схема підключення ПЗО WAGO 750-1400

Для виводу дискретних сигналів до контролеру будемо використовувати 16 - канальний модуль дискретного виводу WAGO 750-1504 (рис. 5.25). Схема підключення наведена на рис. 5.26.

Цей цифровий вихідний модуль має 16 каналів шириною всього 12 мм (0,47 дюйма). Він передає двійкові керуючі сигнали від пристрою автоматизації до підключених виконавчих механізмів (наприклад, магнітних клапанів, контакторів, передавачів, реле або інших електричних навантажень). Модуль має з'єднання Push-in CAGE CLAMP[®], що дозволяє підключати суцільні провідники, просто просуваючи їх. Зелений світлодіод вказує на стан сигналу кожного каналу.

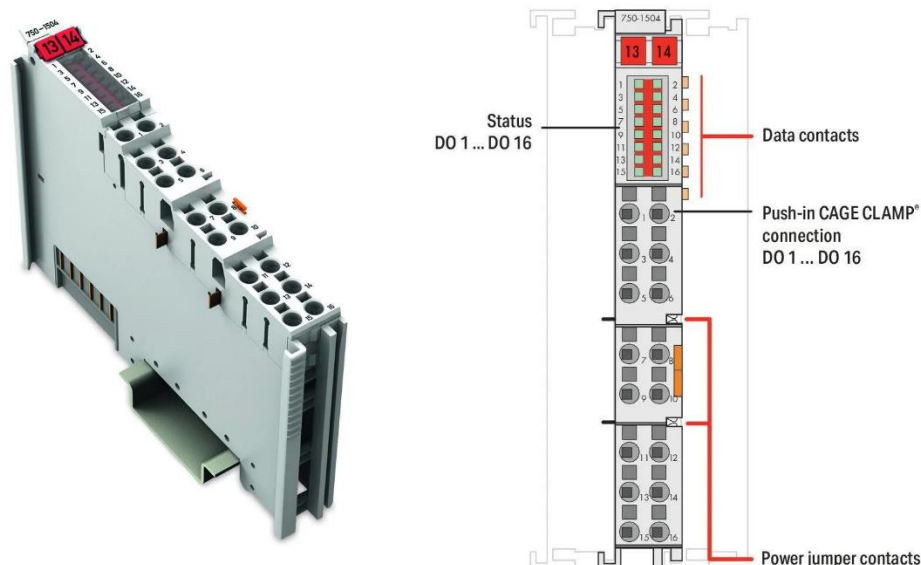


Рисунок 5.25 – Загальний вигляд модуля ПЗО WAGO 750-1504

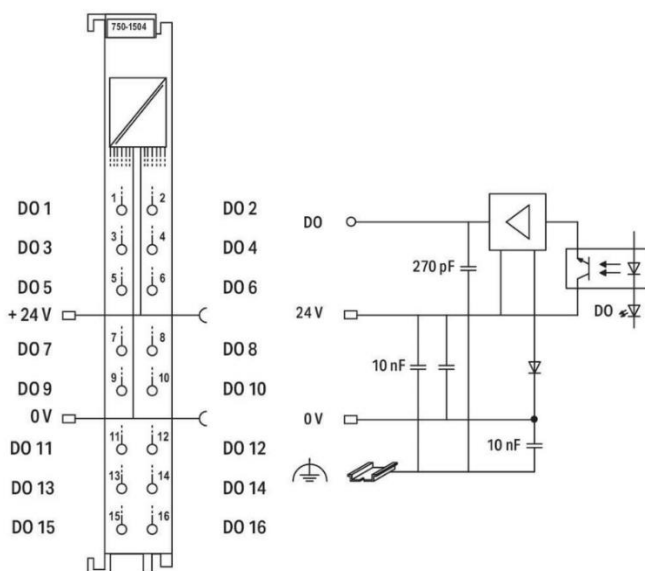


Рисунок 5.26 – Схема підключення ПЗО WAGO 750-1504

Додатково нам знадобляться кінцевий модуль шини WAGO 750-600. Він завершує внутрішній контур даних і забезпечує правильний потік даних. Зв'язок контролера з комп'ютером здійснюється за допомогою інтерфейсу Ethernet OPC UA [25].

Враховуючи обраний контролер, модулі ПЗО до нього, та список змінних, які необхідно вводити та виводити з контролера схема технічною структури мікропроцесорного ядра системи автоматичного керування прийме наступний вигляд. (рис. 5.27).

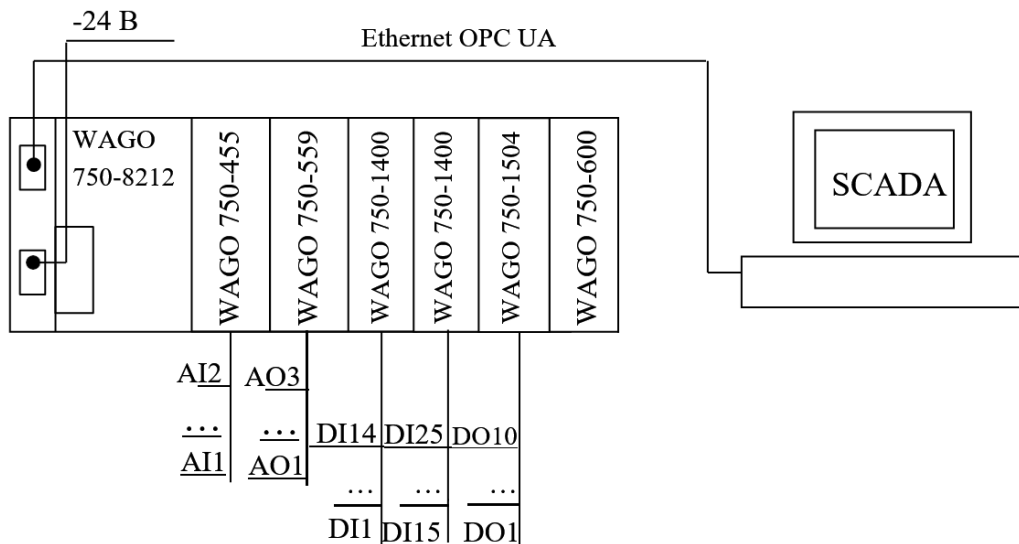


Рисунок 5.27 – Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи управління процесом випікання хлібобулочних виробів

Під час виконання даного розділу було виконано аналіз та вибір технічних засобів для автоматизації процесу керування випіканням хлібобулочних виробів у тунельній печі. Під час цього процесу були ретельно розглянуті та обґрунтовані параметри технологічного процесу, вибрані технічні засоби збору інформації, а також здійснено вибір технічних засобів реалізації керуючих дій та контролерно-комп'ютерної мережі.

Подальші перспективи включають розвиток системи шляхом можливого впровадження додаткових функцій моніторингу та оптимізації процесу, що дозволить підвищити продуктивність та якість виробництва. Загалом, п'ятий розділ визначає важливий крок у створенні ефективної та сучасної системи автоматизації виробництва хлібобулочних виробів.

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

6.1 Програмне конфігурування контролера та параметризація технічних засобів

В п'ятому розділі ми визначили склад технічних засобів для проекту автоматизації процесу випікання хлібобулочних виробів у тунельній печі. Для реалізації алгоритмів управління обрано контролер WAGO PFC200 750-8212. Для нашої задачі будуть використовуватися наступні модулі ПЗО: WAGO 750-455, WAGO 750-559, WAGO 750-1400, WAGO 750-1504, WAGO 750-600. Нам потрібно детально налаштувати програмне забезпечення та провести конфігурацію модулів вводу/виводу для оптимального функціонування системи.

В якості панелі оператора обрано панельний комп'ютер SIMATIC IPC677D з 15-ти дюймовим екраном від Siemens (рис. 6.1) [20]. Цей вибір обґрунтований високою надійністю та сумісністю з програмним забезпеченням WinCC, яке буде використовуватися для візуалізації та управління процесом. Панельний комп'ютер дозволяє оператору зручно контролювати та керувати процесом випікання, забезпечуючи зворотний зв'язок в режимі реального часу. Ще можливий варіант дублювання відображення на інший монітор через hdmi кабель. Що додає безліч додаткових можливостей.



Рисунок 6.1 – Зовнішній вигляд панельного комп'ютера Siemens IPC677D

Під наші вимоги підходить модель 6AV7260-3DM42-0XX6, що має характеристики: 2x10/100/1000 Мбіт/с Ethernet; 4x USB V3.0, один послідовний порт (COM1); Watchdog, моніторинг температури та вентилятора; RAID-контролер на платі; 15" Multitouch (1366x 768) Core I3-4330TE (2 ядра/4 потоки, 2.4 ГГц, 4 МБ кеш, VT-X) твердотільний накопичувач 240 ГБ 16 ГБ DDR3 1600 DIMM; 1x PCIE (X16); 1x PCIE (X4) без розширень (HW); живиться від блоку живлення 24 В постійного струму.

Для забезпечення обміну інформацією між контролером, панеллю оператора та іншими компонентами системи буде використовуватися Ethernet OPC UA. Цей стандарт забезпечує надійну передачу даних та високу швидкість обміну інформацією [25].

Першим етапом проведено програмне конфігурування контролера та його модулів ПЗО у середовищі CoDeSys. На рис. 6.2 – 6.4 розкрита процедура конфігурування CPU контролера та його модулів ПЗО. Подальша програма буде реалізована на мові CFC [26].

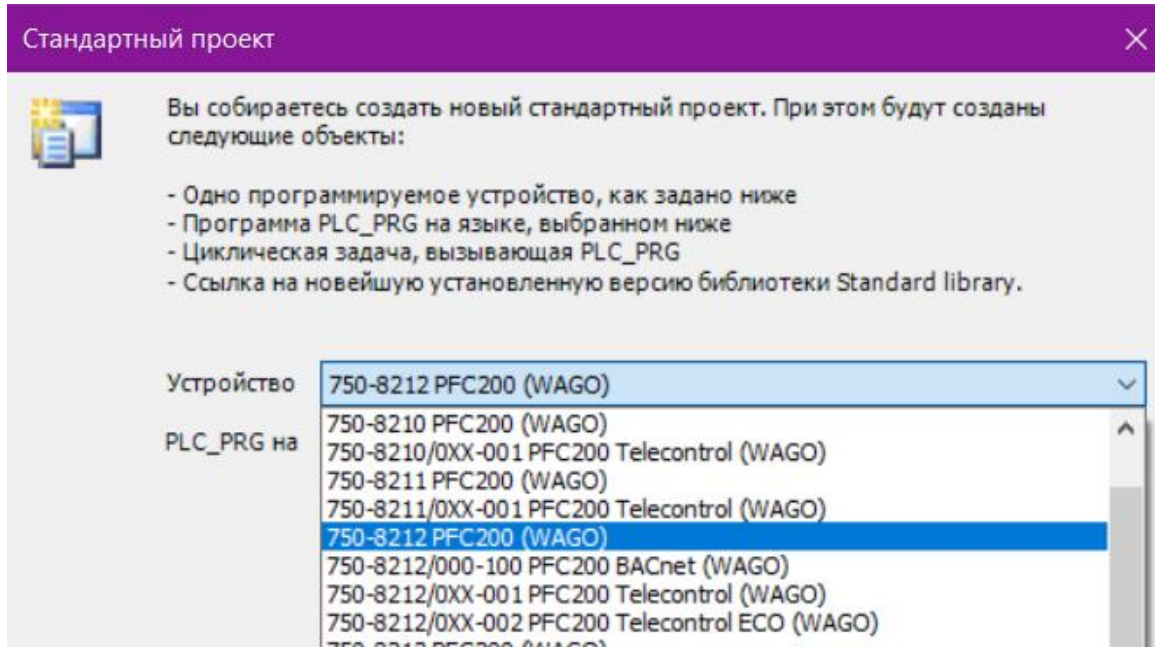


Рисунок 6.2 – Вікно вибору контролера у середовищі CoDeSys

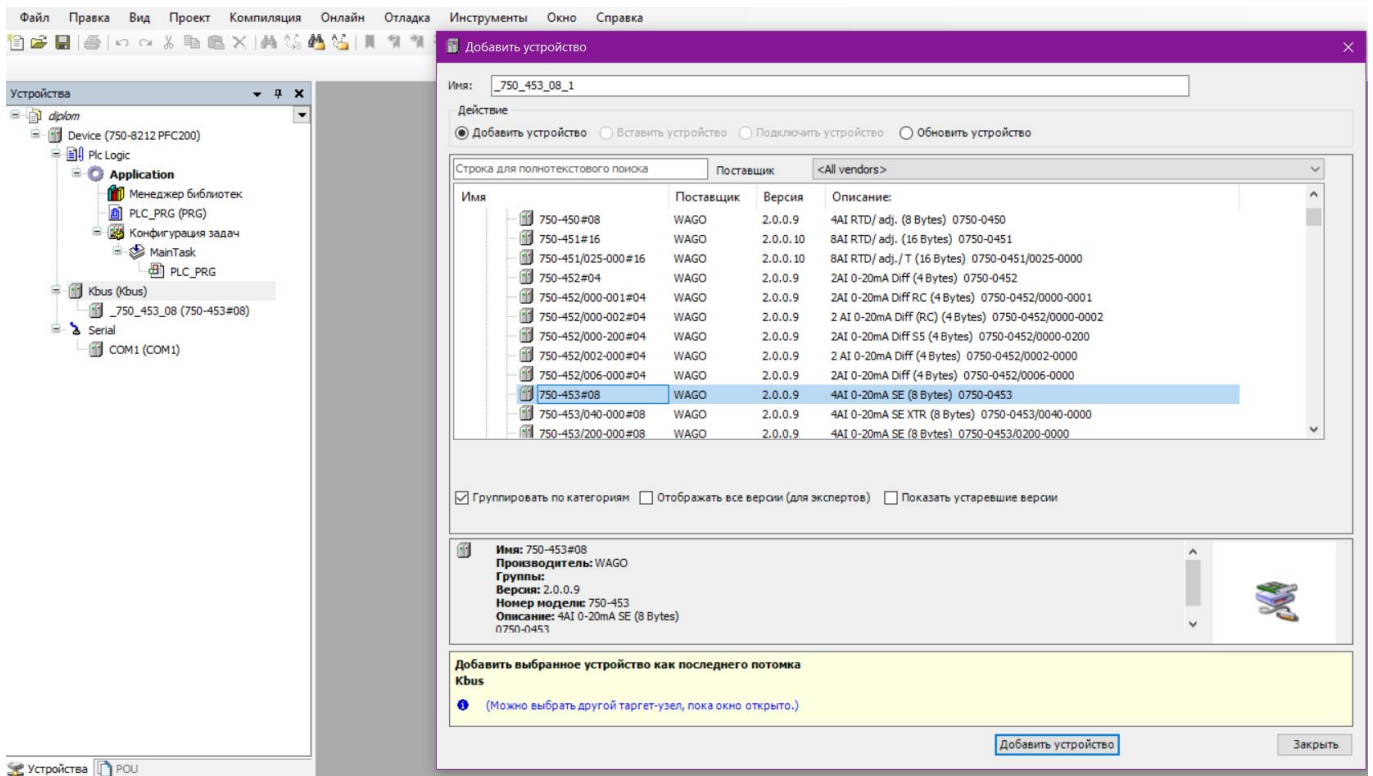


Рисунок 6.3 – Фрагмент вікна вибору модулів ПЗО WAGO

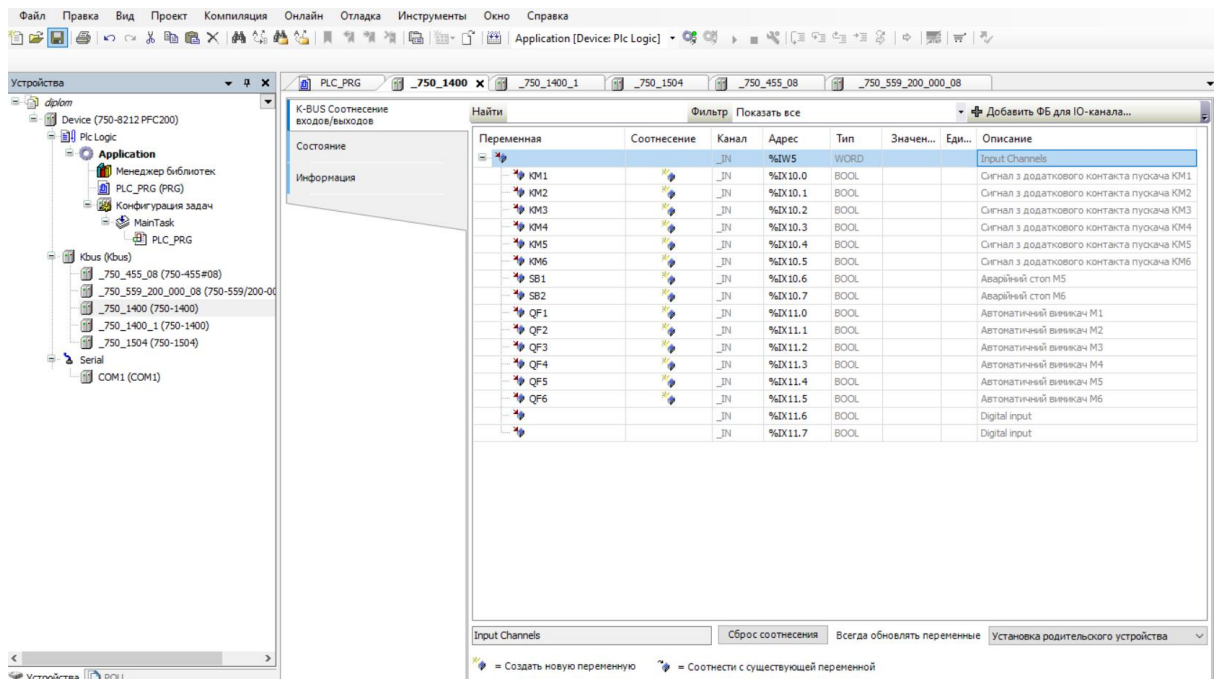


Рис. 6.4 – Фрагмент вікна конфігурування модулю ПЗО у CodeSys .

Завершив конфігурацію переходимо до програмної реалізації алгоритмів керування.

6.2 Програмна реалізація алгоритмів регулювання та їх тестування на моделі ОК

Модель САК розраховується у програмному модулі POU_100ms, який обчислюється кожену 0.1 секунди. Час обчислення задається при конфігуруванні контролера у розділі «Конфігурація задач» (рис.6.5).

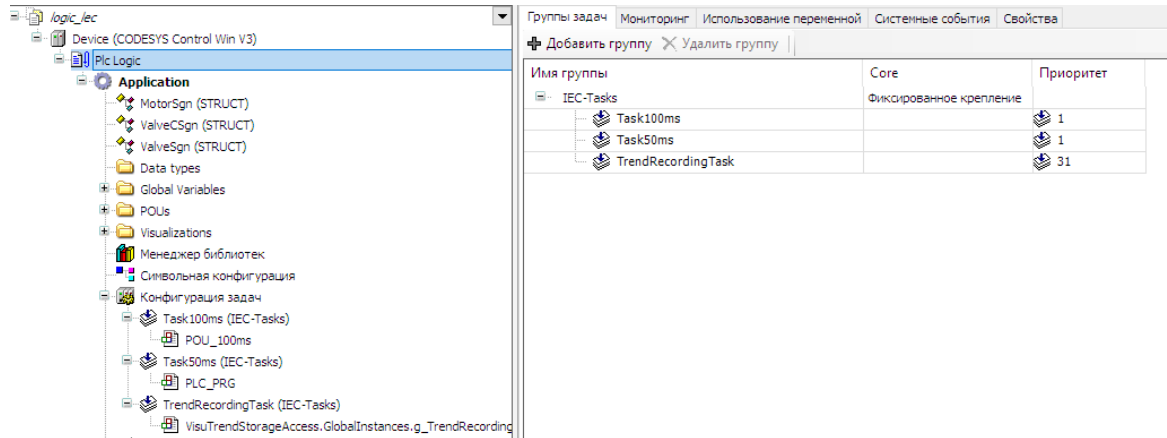


Рисунок 6.5 – Загальний вигляд вікна проекту при конфігуруванні задач

На рис. 6.6 представлені фрагменти програм, які реалізують модель об'єкта керування та регулювання.

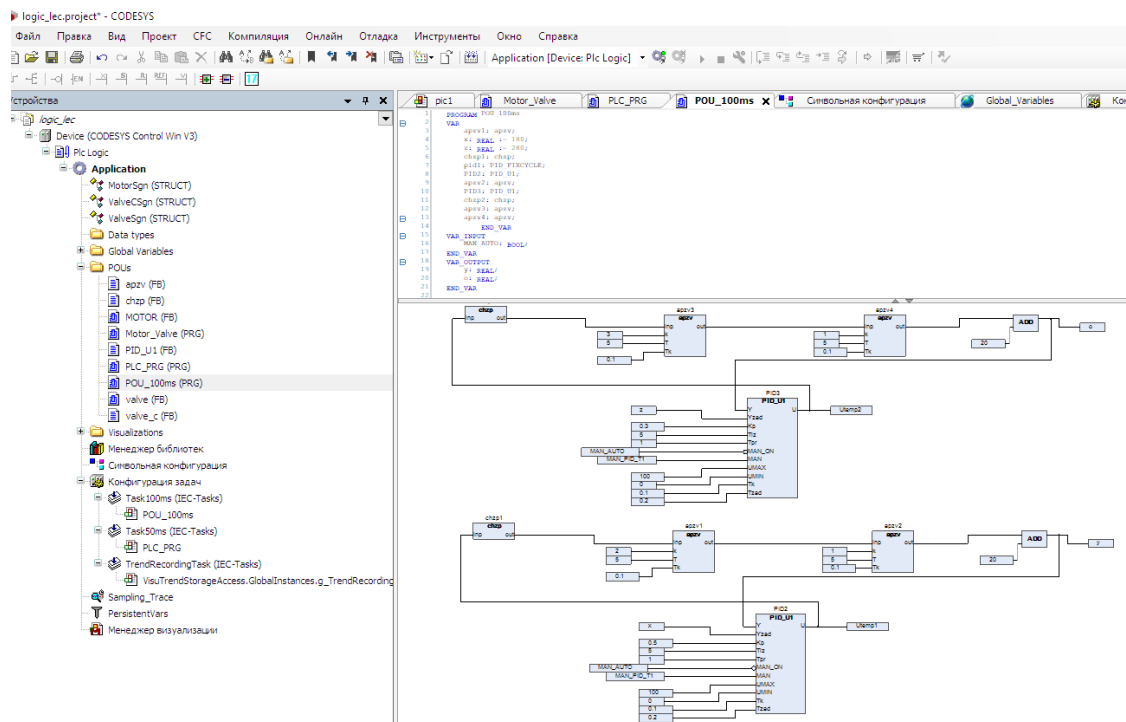


Рисунок 6.6 – Фрагмент програми, який реалізує модель об'єкта керування та регулювання

Для реалізації моделі об'єкта керування використовувались спеціально розроблені функціональні блоки динамічних ланок: ланки запізнення та статичної аперіодичної інерційної ланки першого порядку. На рис. 6.7 та 6.8 представлені фрагменти програм реалізації цих ланок мовою ST.

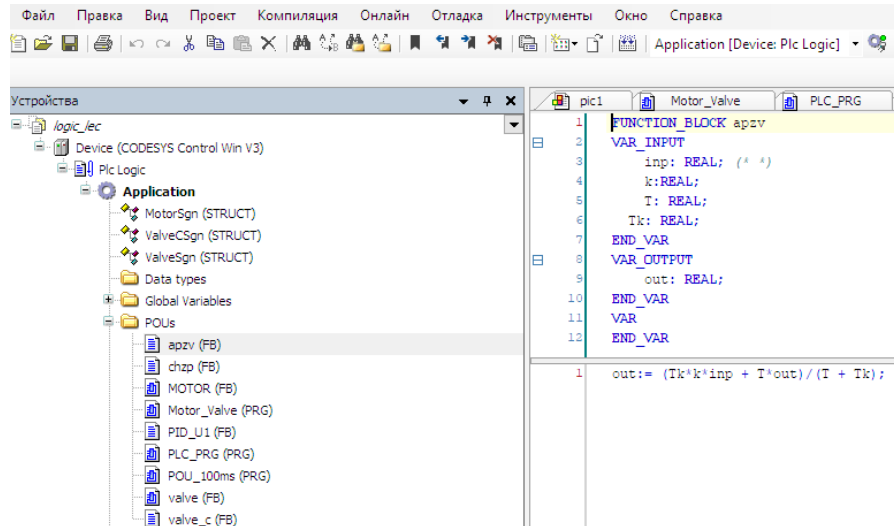


Рисунок 6.7 – Фрагмент програми, який реалізує статичну аперіодичну інерційну ланку першого порядку

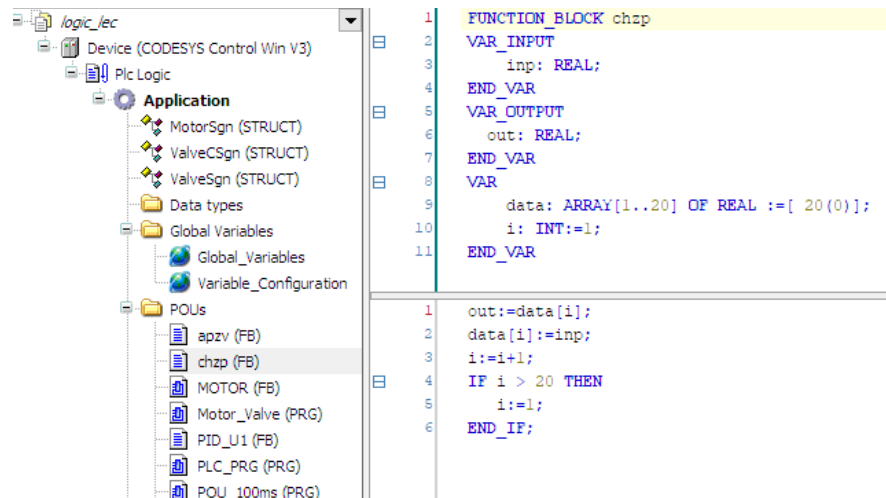


Рисунок 6.8 – Фрагмент програми, який реалізує ланку запізнення

Для реалізації алгоритмів регулювання використовувались спеціально розроблений функціональний блок ПІД – регулятору з інерційним задатчиком та переключенням режиму РУЧ/АВТ. Цей блок розроблений мовою ST . На рис. 6.9 представлена внутрішня структура регулятора.

```

1  (*Ручной режим управления*)
2  IF MAN_ON = TRUE THEN
3      U:=MAN;
4      Ui:= 0;
5      Ydadd:= Y;
6      Ud:=0;
7      Up_1:=0;
8  ELSE
9      (**PID- алгоритм управления **)
10     (*Расчет инерционного задатчика*)
11     Ydadd:= (Tk*Yd + Td*Ydadd)/(Tk+Td);
12     (*Расчет ошибки регулирования*)
13     DY:= Ydadd - Y;
14     (*Расчет P-составляющей*)
15     Up:= Kp*DY;
16     (*Расчет I-составляющей*)
17     Ui:= (Tk/Ti)*Up + Ui;
18     (*Реализация ограничения I-составляющей*)
19     IF Ui > UMAX THEN
20         Ui:= UMAX;
21     ELSIF Ui < UMIN THEN
22         Ui:= UMIN;
23     END_IF;
24     (*Расчет D-составляющей*)
25     Ud:= (Tpr*(Up-Up_1)+0.2*Tpr*Ud)/(Tk+0.2*Tpr);
26     Up_1:=Up; (*Переопределение промежуточной переменной для расчета D-сост. *)
27     (** Расчет управляющего воздействия **)
28     U:= Up + Ui + Ud;
29 END_IF;
30 (*Реализация ограничения управляющего воздействия*)
31 IF U > UMAX THEN
32     U:= 100;
33 ELSIF U < UMIN THEN
34     U:= 0;
35 END_IF;

```

Рисунок 6.9 – Код программы ПД - регулятора

На рис. 6.10 наведені перехідна характеристика, що отримана при тестуванні програм ПД – регулювання на моделі об'єкту керування.

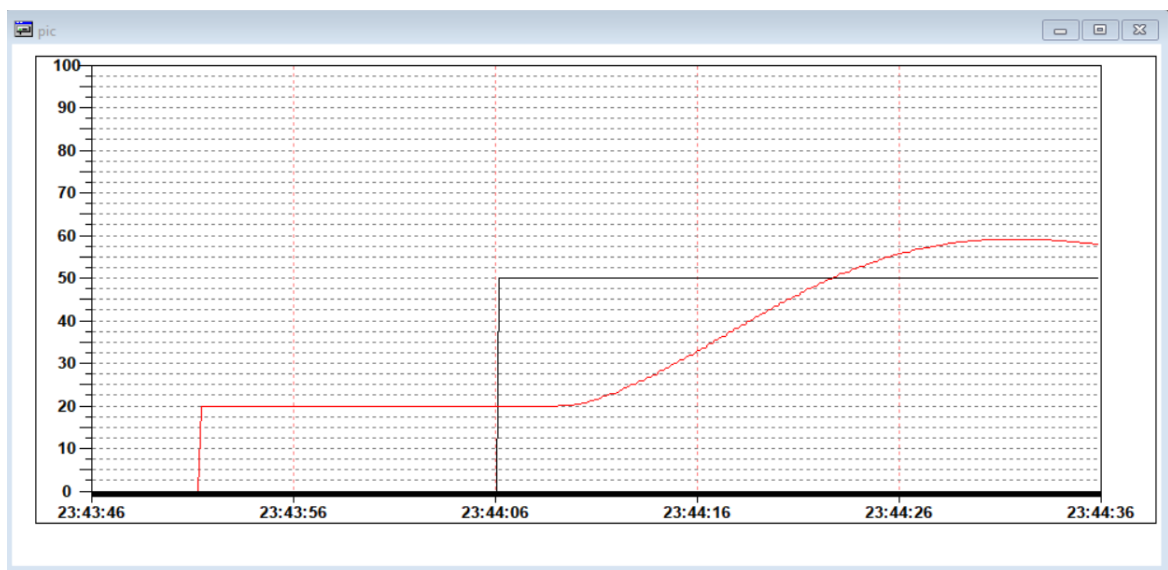


Рисунок 6.10 – Перехідна характеристика, отримана при тестуванні ПД-регулювання

6.3 Програмна реалізація алгоритмів логічного керування

Програмна реалізація алгоритмів логічного керування виконана в програмному модулі PLC_PRG який обчислюється з кроком 0.05с. Фрагмент програми що реалізує алгоритми автоматичного пуску та зупинки наведено на рис. 6.11 та 6.12.

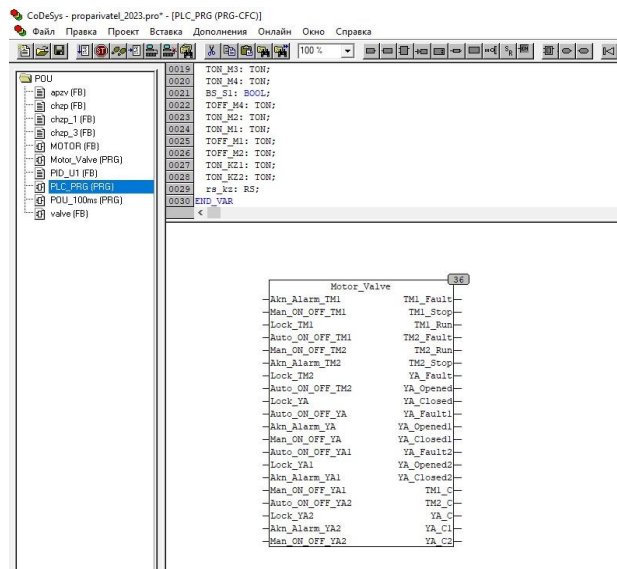


Рисунок 6.13 – Фрагмент програми PLC_PRG з викликом модуля Motor Valve

Внутрішня структура програмного модуля Motor_Valve наведена на рис. 6.14.

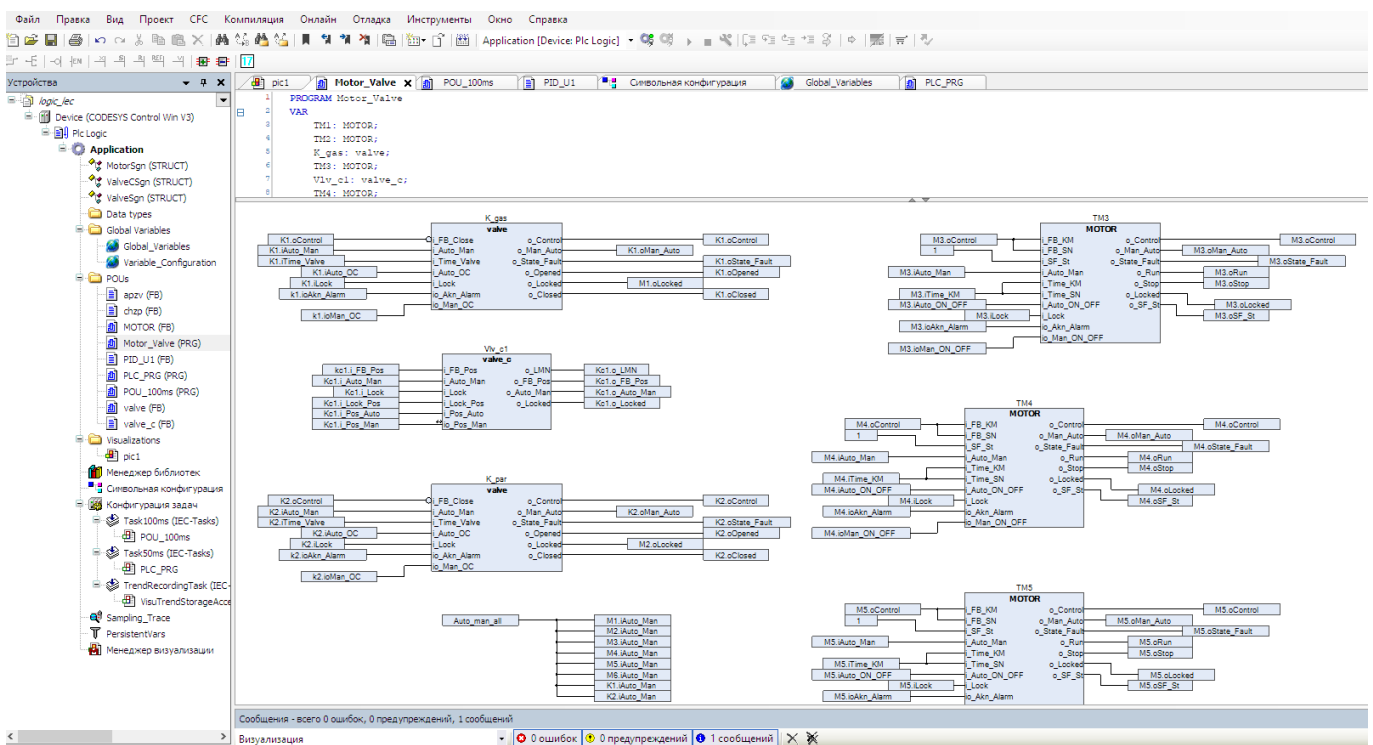


Рисунок 6.14 – Фрагмент внутрішньої структури програмного модуля Motor_Valve

Деякі входи та виходи функціональних блоків управління двигунами та клапанами з'єднуються з входами та виходами контролера для управління та аналізу стану двигуна. Внутрішня структура функціональних блоків керування двигуном на рис. 6.15 та 6.16.

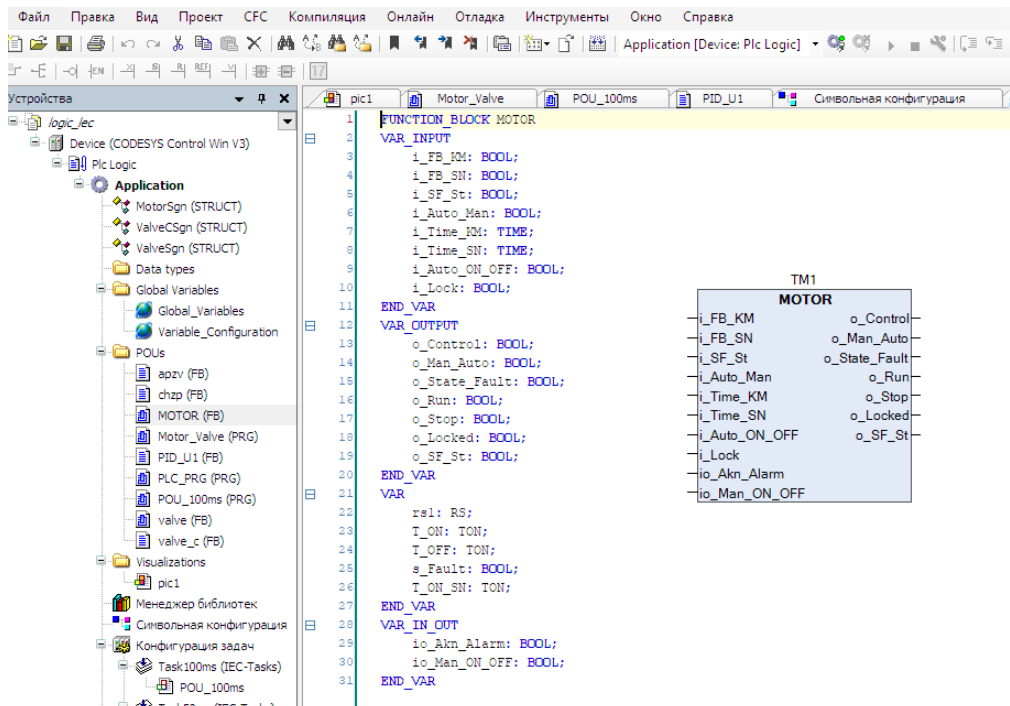


Рисунок 6.15 – Загальний вигляд блоку керування двигуном та список змінних підпрограми, що його реалізує

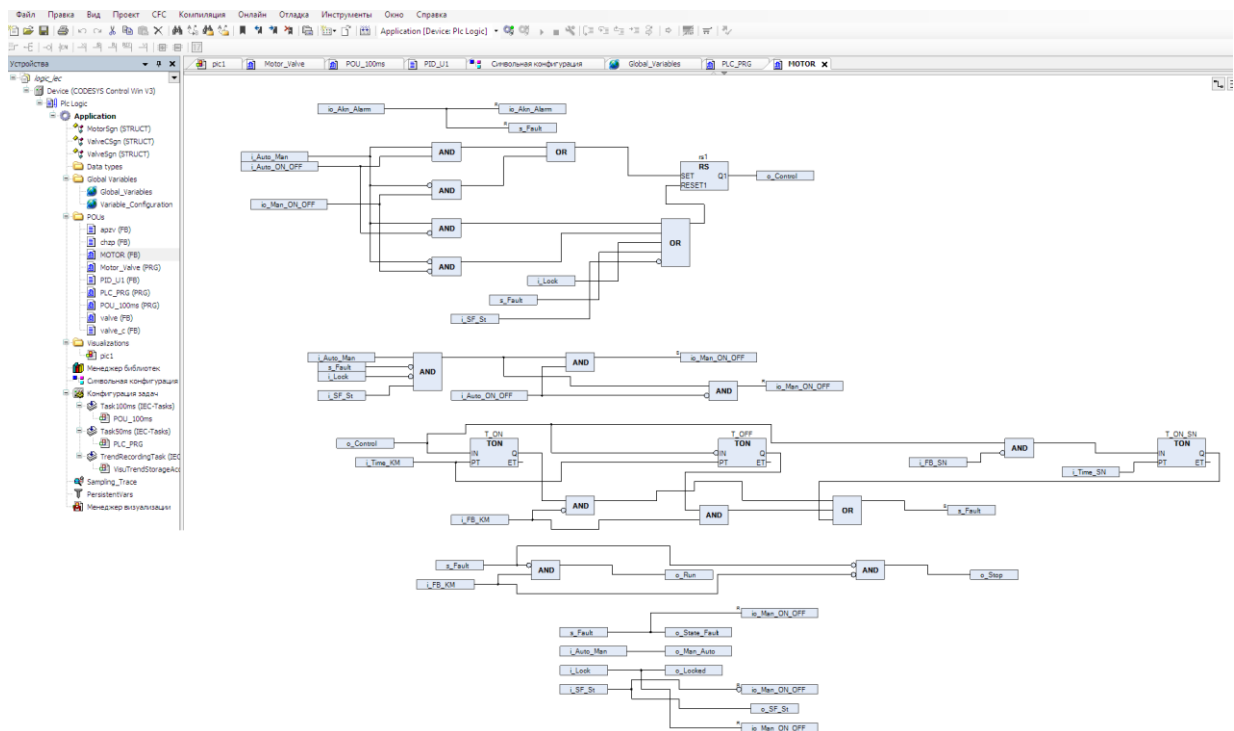


Рисунок 6.16 – Фрагмент підпрограми що реалізує блоку керування двигуном

Результати тестування програми при виконанні алгоритмів пуску та зупинки підтвердили правильність реалізації. Фрагмент програми та графічний інтерфейс при тестуванні алгоритму пуску наведено на рис. 6.17 та 6.18.

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

Взаємодія автоматизованого робочого місця (АРМ) та мережі контролерів з допомогою OPC - сервер розглянемо на прикладі реалізації зв'язку засобами пакету CoDeSys 3.5, в якому розробляється програмне забезпечення контролера. В фізичній наявності контролера WAGO PFC200 750-8212 не має, тому для тестування в якості цільової платформи оберемо CODESYS Control Win V3 та відзначимо необхідність завантаження символічного файлу (рис. 6.19).

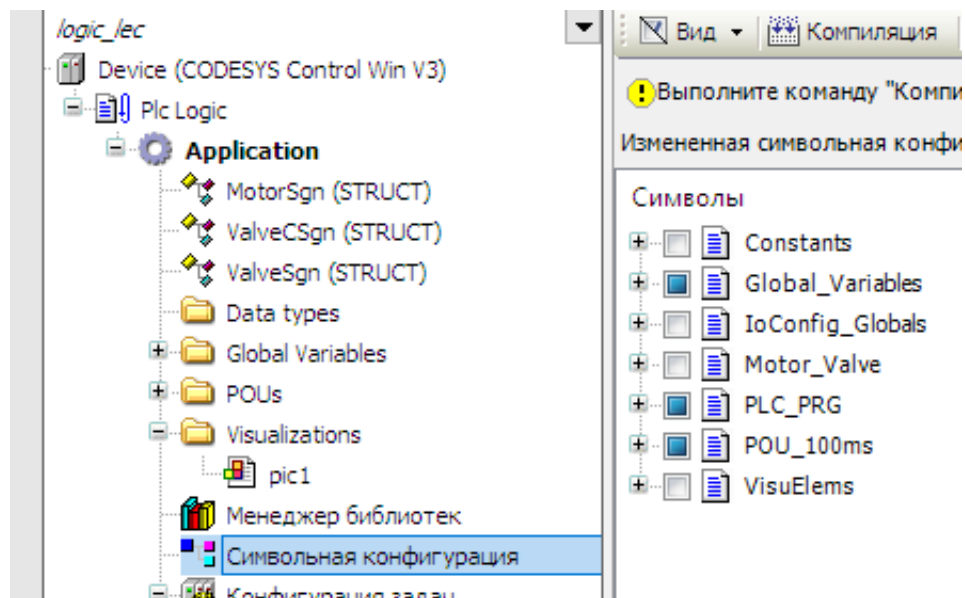


Рисунок 6.19 – Фрагмент налаштування символічного файлу та вибору даних

Проводимо конфігурацію OPC – серверу у пакеті CoDeSys 3.5, для обміну даними зі SCADA системою. Для цього вказуємо які змінні потрібно включити в мережевий обмін даними (рис. 6.20) та налаштовуємо параметри мережевого зв'язку. В мережевий обмін включаємо регульовані змінні та їхні задані значення.

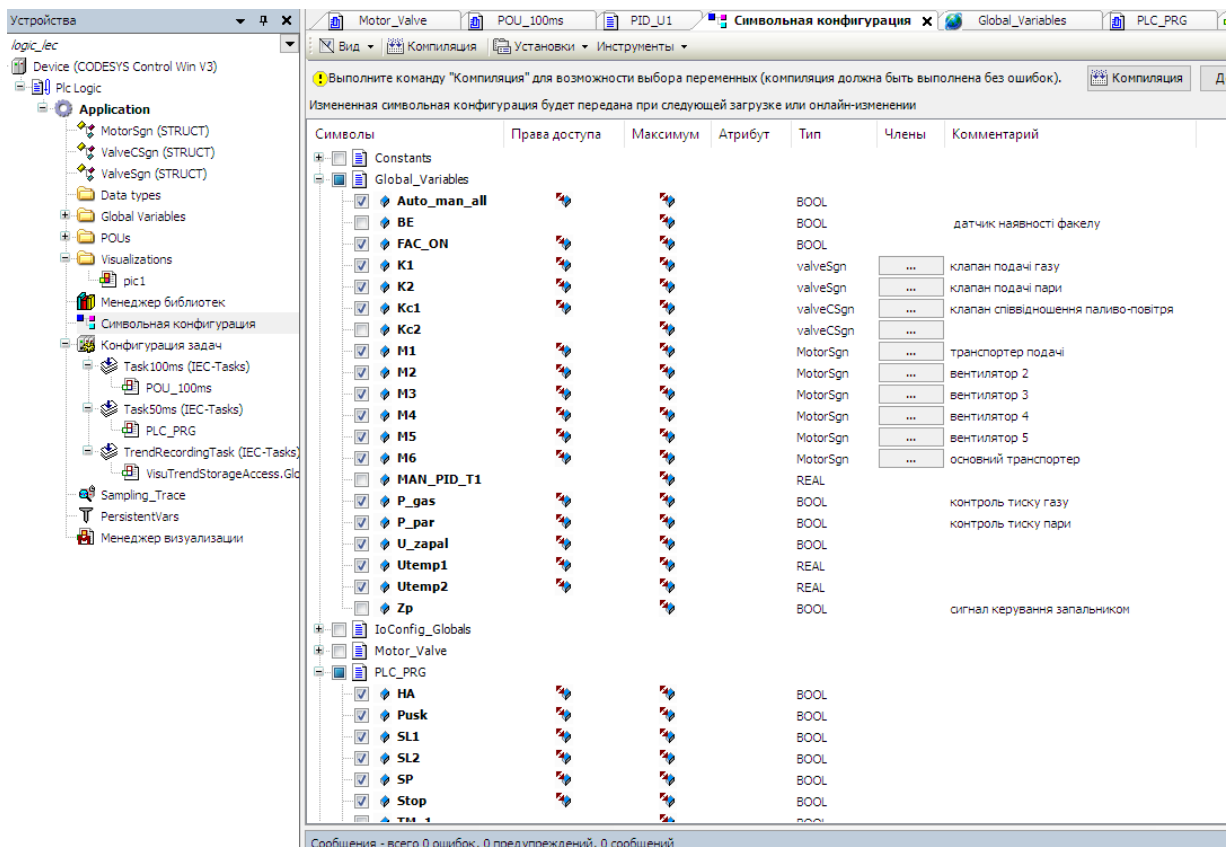


Рисунок 6.20 – Фрагмент налаштування символічної конфігурації для обміну даними з використанням OPC - сервера

Після конфігурації вибрані змінні будуть доступні OPC - клієнтам. Зокрема SCADA-системам. Проводимо підключення до OPC сервера CoDeSys 3.5 в середовищі WinCC та формуємо нові теги.

На рис. 6.21 та 6.22 представлені вікна налаштування мережевого підключення до OPC сервера CoDeSys та створення тегів пов'язаних з OPC сервером в SCADA системі WinCC.

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

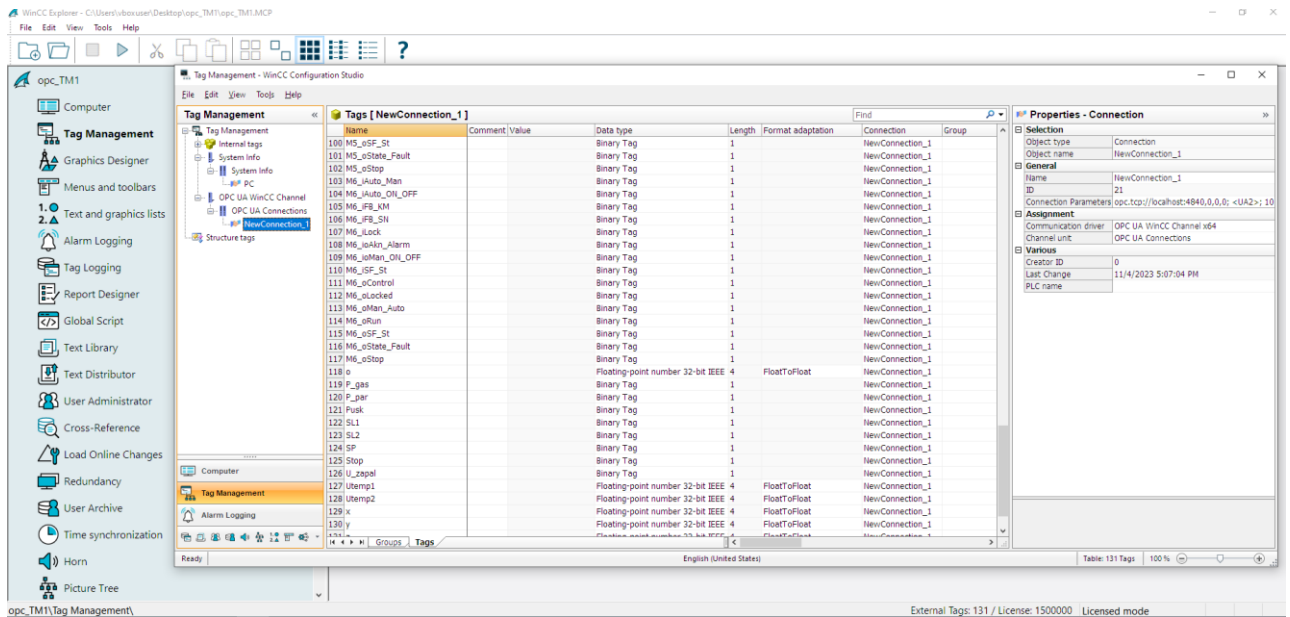


Рисунок 6.21 – Вікно створення тегів пов'язаних з OPC сервером CoDeSys в SCADA системі WinCC

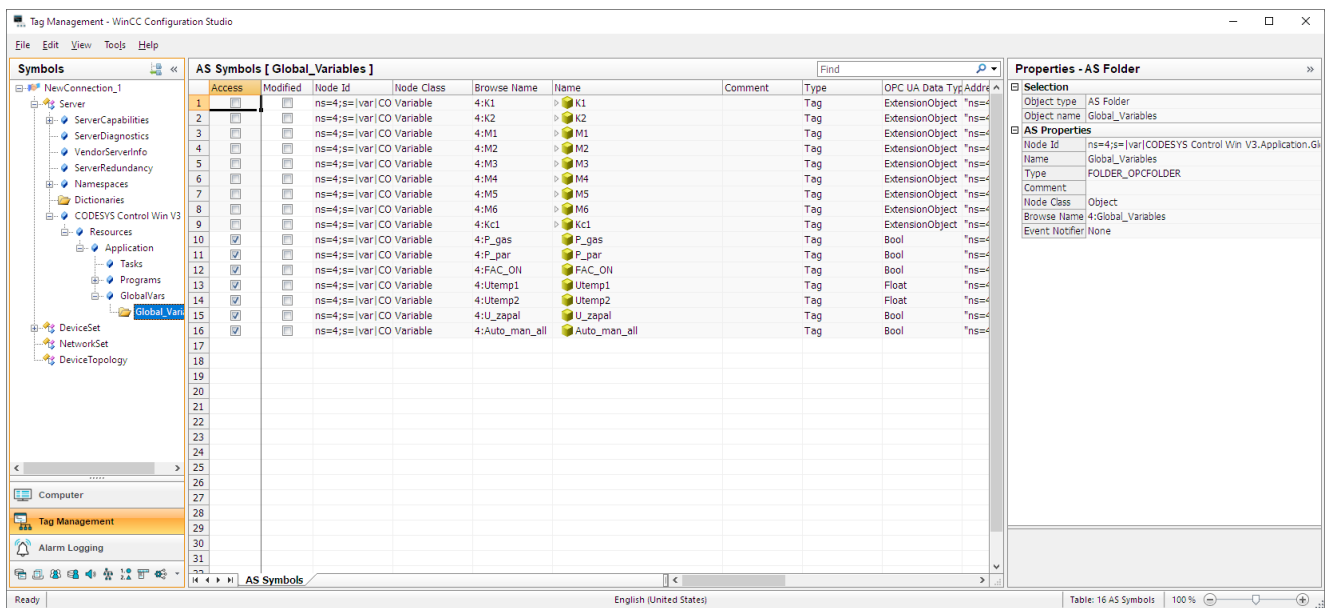


Рисунок 6.22 – Вибір тегів для WinCC 8 в CoDeSys UA сервері

В даному розділі була розроблена технічна структура мікропроцесорного ядра системи керування процесом випікання хлібобулочних виробів у тунельній печі, здійснений вибір промислового контролера та його блоків вводу/виводу, в середовищі CoDeSys 3.5 розроблені програми, які реалізують алгоритми логічного керування та регулювання, проведена їх перевірка, яка засвідчила працездатність програм та їх відповідність алгоритмам керування.

7 Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК

7.1 Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога

Робоче місце оператора-технолога процесу випікання хлібобулочних виробів у тунельній печі повинно передбачати наявність набору функцій, які максимально охоплюють і забезпечують виконання його професійних обов'язків. З урахуванням цього АРМ оператора-технолога має передбачати можливість виконання оператором наступних функцій [27]:

1. Контролювати значення технологічних параметрів процесу випікання хлібобулочних виробів і задавати режими роботи обладнання.
2. Контролювати стан обладнання процесу випікання хлібобулочних виробів (включено, вимкнений, знаходиться в аварії і т.д.) і значення експлуатаційних параметрів обладнання.
3. Керувати запуском і зупинкою обладнання в ручному та автоматичному режимах управління.
4. Керувати окремим обладнанням в ручному режимі.
5. Контролювати виникнення порушень в роботі обладнання і оперативно реагувати на них. Виходячи із викладеного раніше, в проекті для реалізації АРМ оператора-технолога передбачені наступні екрани:

-Головний екран. Перший екран, котрий побачить працівник для ознайомлення. Відображає основні дані про технологічний процес в цілому.

-Мнемосхема ділянки. Основний екран із зображенням мнемосхеми процесу випікання хлібобулочних виробів в тунельній печі дозволяє контролювати хід процесу, керувати обладнанням, змінювати режими роботи обладнання та контролювати виникнення порушень в роботі.

-Графіки. Екран, призначений для відображення графіку зміни температур в зонах випікання.

-Повідомлення. Екран, призначений для відображення діагностичних повідомлень різних класів. Включає в себе технічні повідомлення, буфер та архів.

-Допомога та адміністрування. Умовні позначення для нових недосвідчених користувачів. Адміністрування дозволяє отримати технічну інформацію та має додаткові налаштування.

Для того, щоб зробити інтерфейс зрозумілим для більшості людей, основні елементи керування підписані англійськими відповідниками.

7.2 Розробка екранів АРМ оператора-технолога

Шаблон екранів створюється в окремому вікні графічного редактора екранів SCADA-системи WinCC 8. Графічні елементи розташовані у вікні шаблону (рис.7.1) будуть присутні на всіх екранах що входять в проект.



Рисунок 7.1 – Загальний вигляд шаблону вікон

Шаблон екранів включає відомості про виконавця, меню перемикавання екранів АРМ та елементи відображення поточної дати і часу. Для зручності додано зменшене віконце повідомлень. Щоб оператор міг бачити основну інформацію на будь-якому екрані.

Меню переключення екранів складається з набору кнопок, що дозволяють виконувати перемикавання між різними графічними вікнами. Для перемикавання вікон використовуються спеціальні системні функції (рис. 7.2).

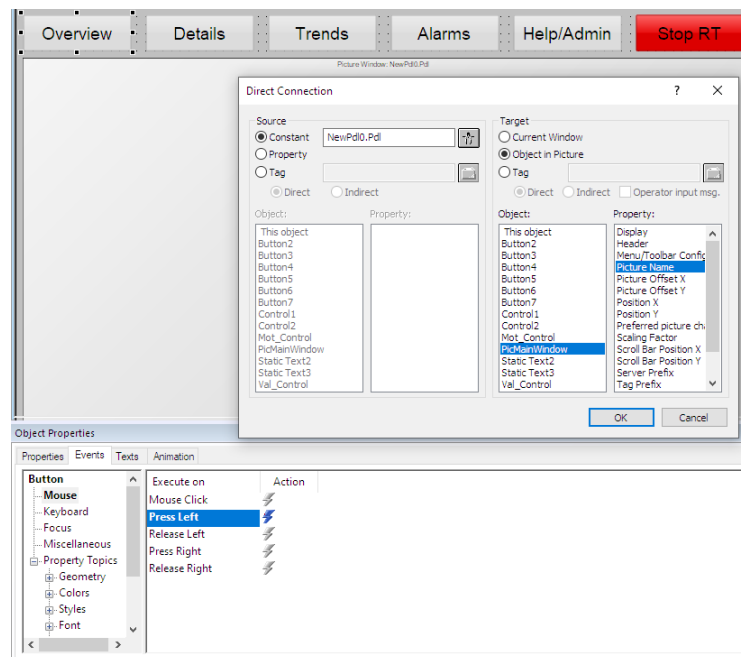


Рисунок 7.2 – Вікно налаштування функції перемикавання робочих вікон

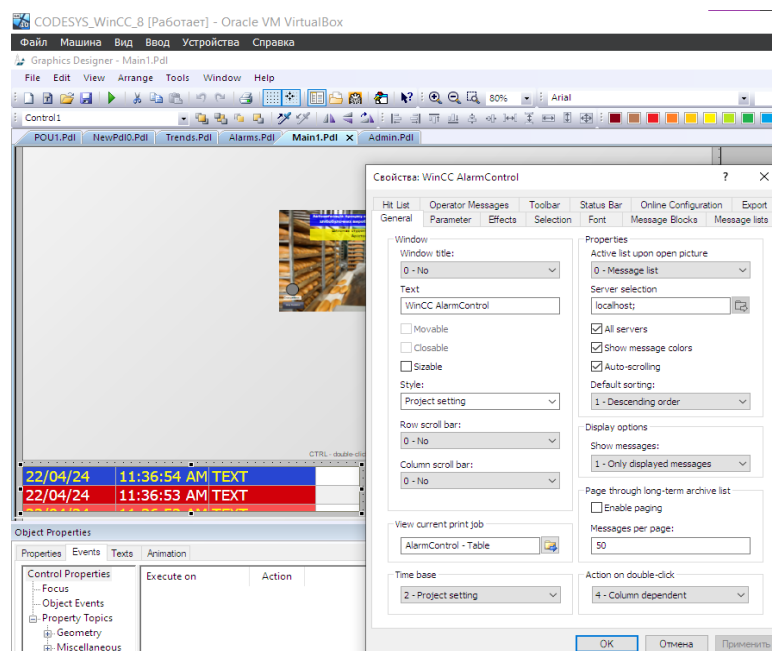


Рисунок 7.3 – Вікно налаштування конфігурацій елементу повідомлень

Головний екран (рис. 7.4) включає основні відомості проекту та відображення суті технологічного процесу. В інтерфейсі системи позначений як «Overview». Елементи екрану створені з використанням типових елементів графічного редактора системи WinCC 8. На екрані можна побачити логотип університету, дані про розробника проекту, загальну назву технологічного процесу та статус роботи технологічного процесу.

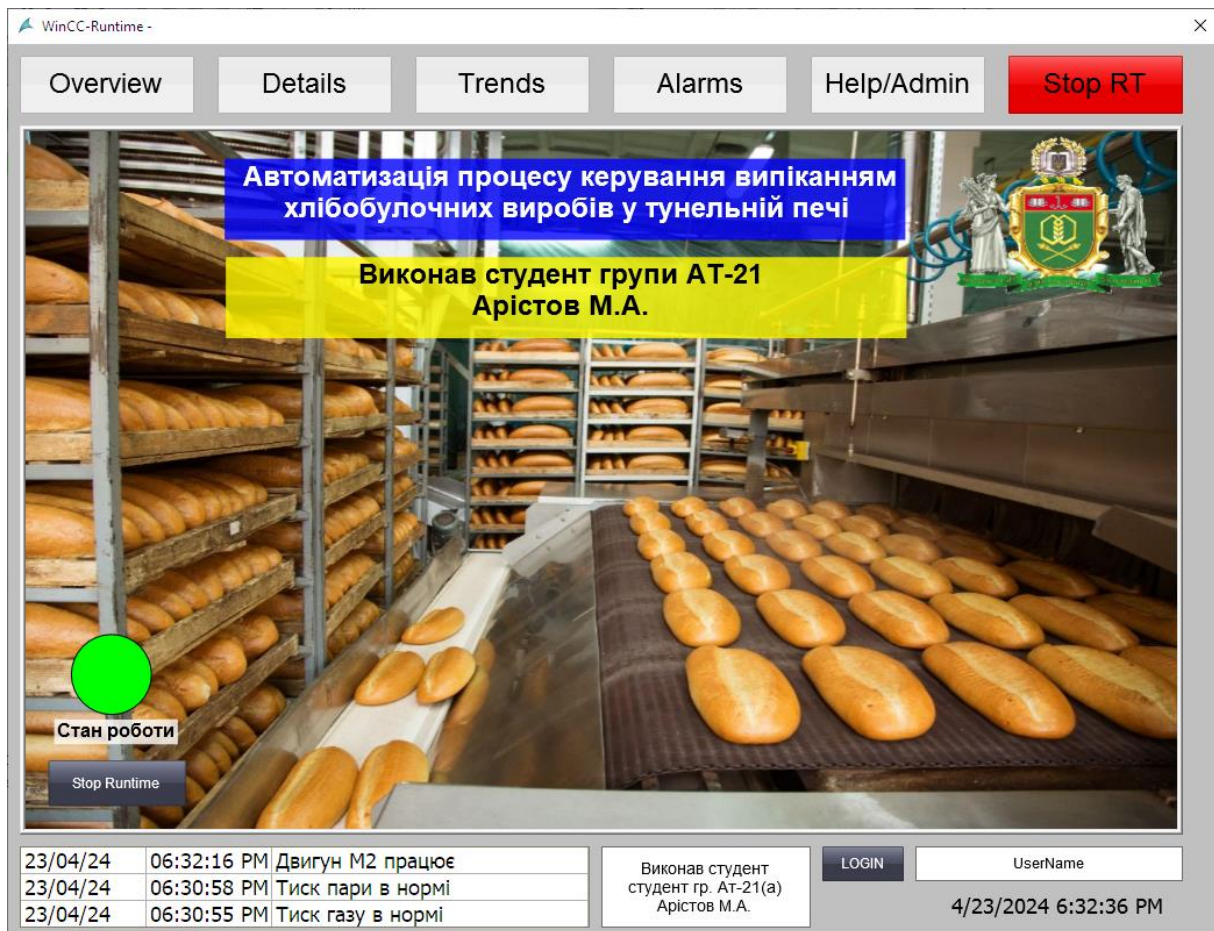


Рисунок 7.4 – Загальний вигляд вікна «Головний екран»

Основне вікно Мнемосхема ділянки (рис. 7.5) містить схематичне зображення технологічного процесу випікання хлібобулочних виробів у тунельній печі. В інтерфейсі системи екран позначений як «Details». Зображення агрегатів створено в графічному редактор SCADA - системи WinCC 8 з використанням стандартних елементів графічної бібліотеки цього редактора. Встановлені на мнемосхемі графічні елементи відображення і управління дозволяють оператору контролювати стан обладнання і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням.

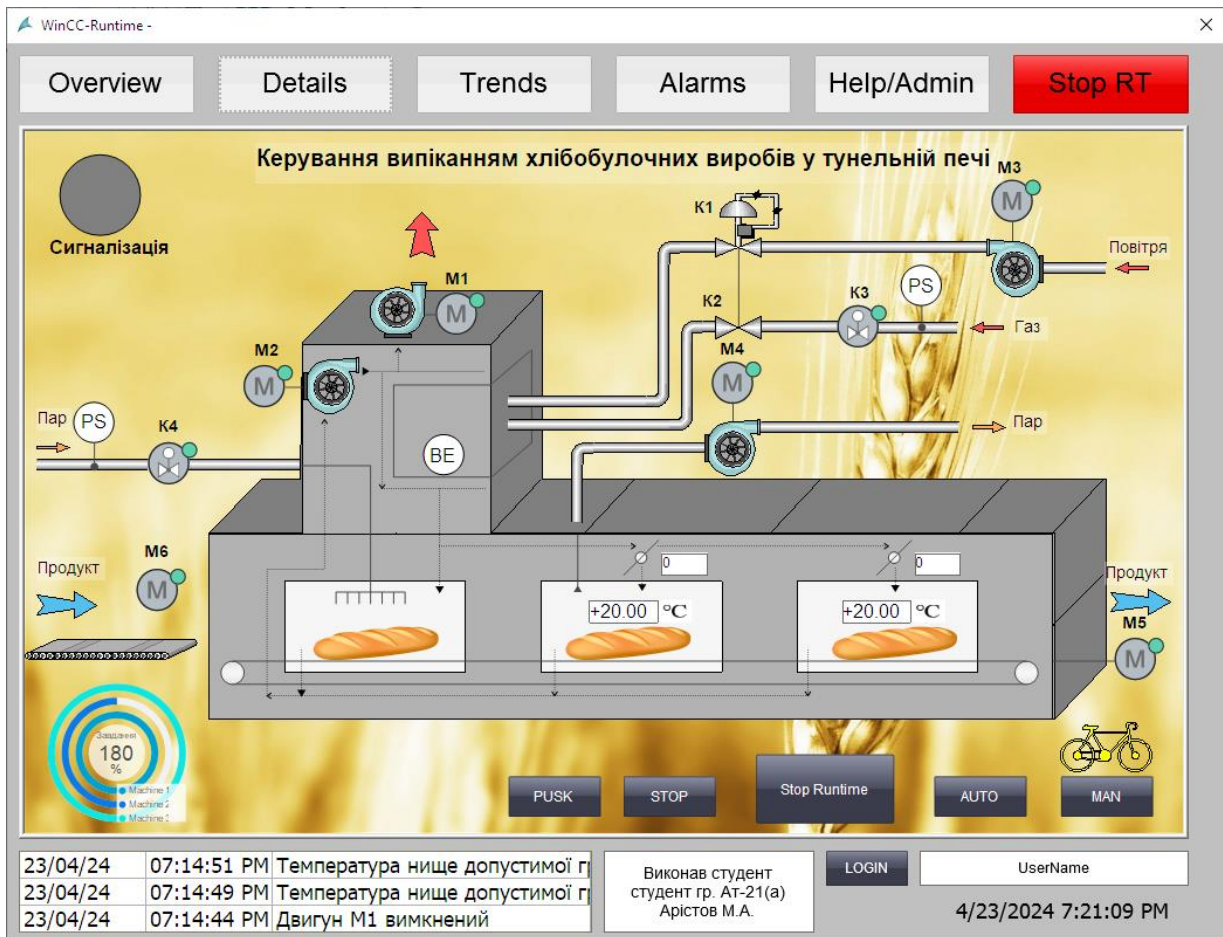


Рисунок 7.5 – Загальний вигляд вікна «Мнемосхема ділянки»

Відображення поточних значень і введення заданих значень технологічних параметрів виконується з використанням елементів «IO Field», які пов'язують з відповідними тегамі. Відображення дискретних сигналів з датчиків виконується за допомогою елементів «Circle» за рахунок зміни їх кольору. Також зміною кольору елементів мнемосхеми тунельної печі, трубопроводу відображається включення двигунів і відкриття клапанів.

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

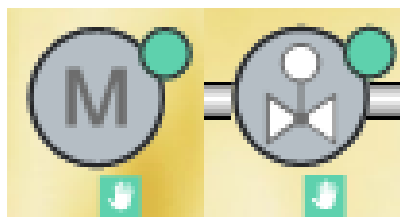


Рисунок 7.6 – Екранні форми для контролю стану двигунів та виконавчих пристроїв

Екранні форми підключаються до відповідних тегів у контролері і відображають стан і режим роботи обладнання. Керувати двигунами і клапанами оператор може з використанням спеціальних екранних форм керування (рис. 7.7).

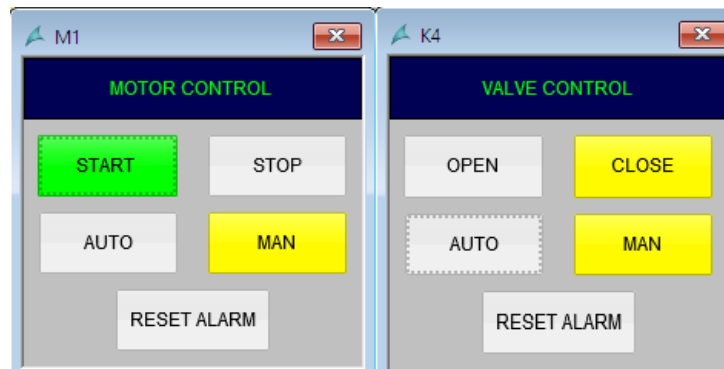


Рисунок 7.7 – Екранні форми для керування двигунами і клапанами.

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

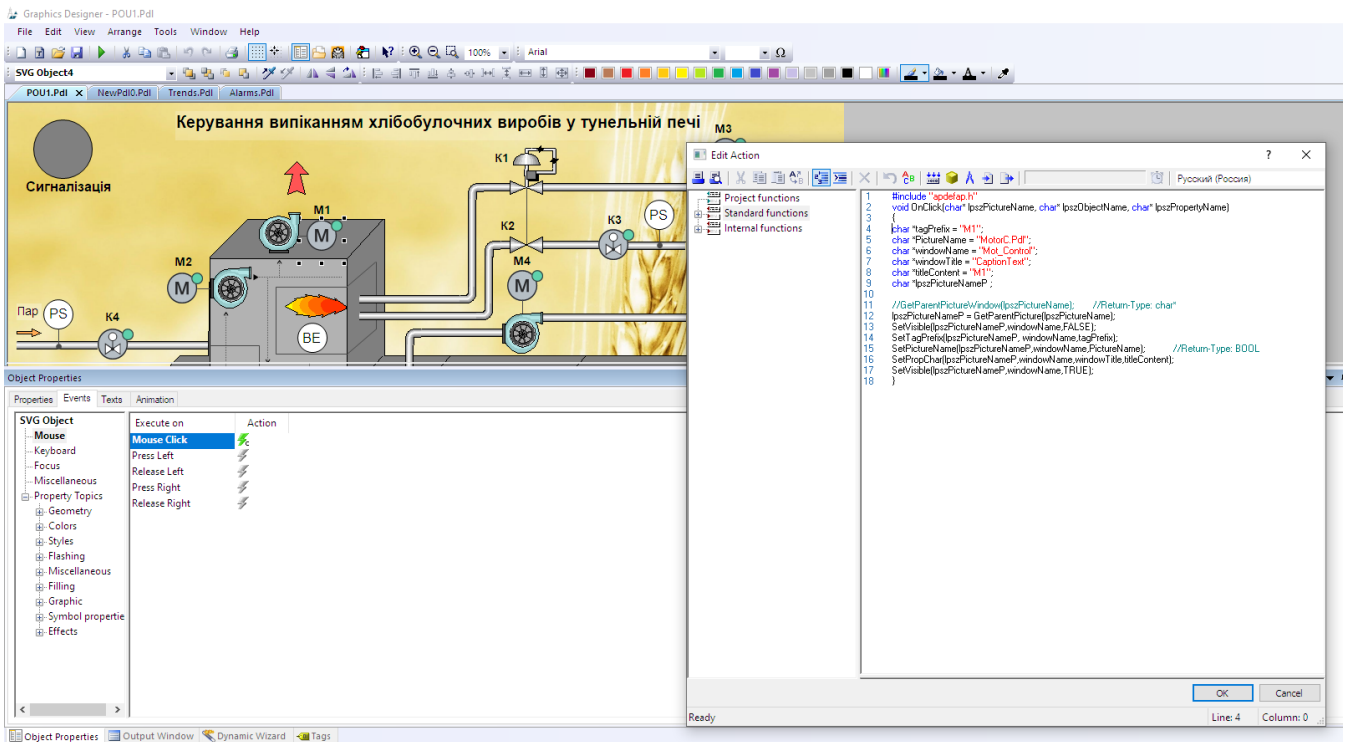


Рисунок 7.8 – Фрагмент вікна прив'язки тегів до екранної форми управління двигуном

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

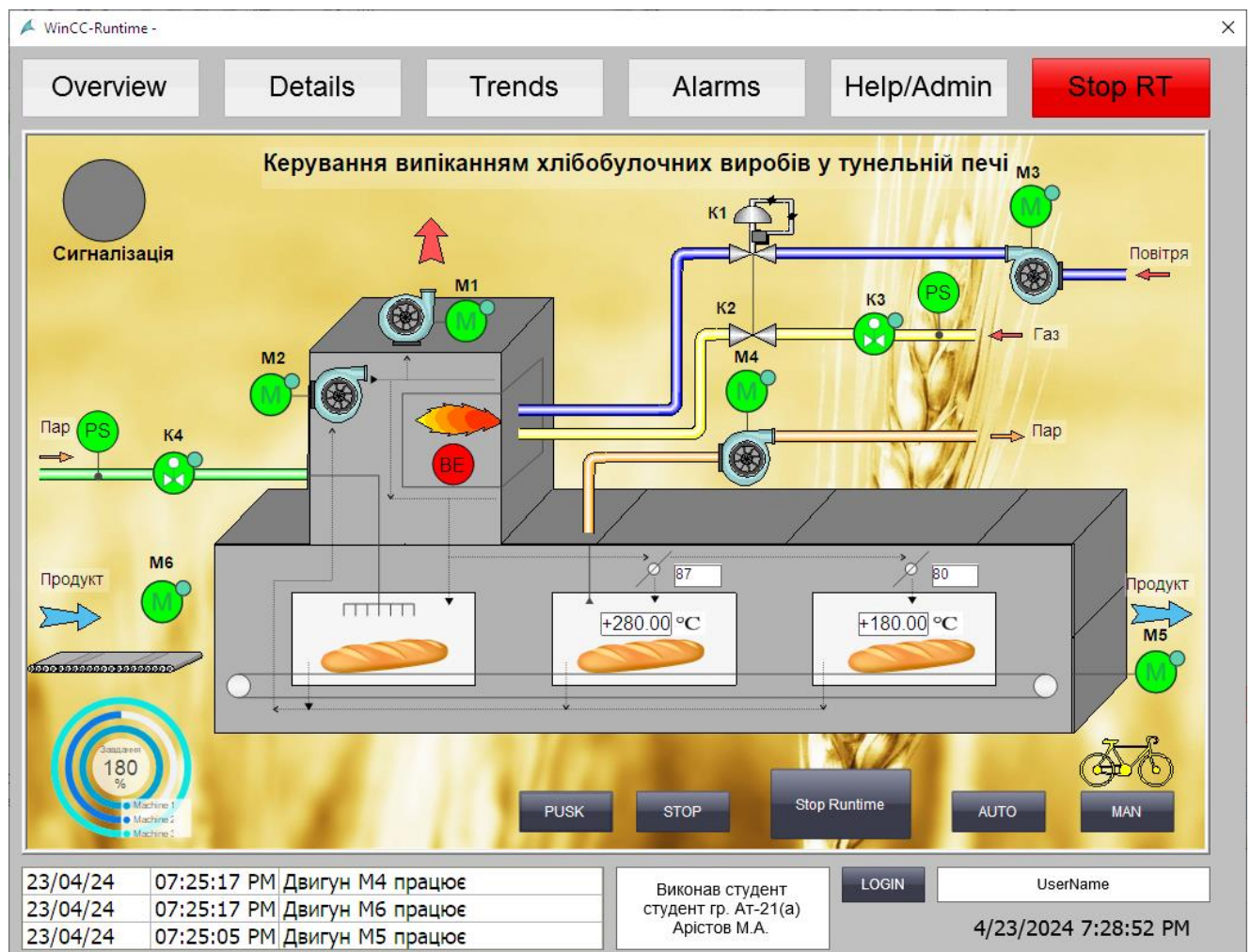


Рисунок 7.9 – Загальний вигляд екрану «Мнемосхема ділянки» при нормальній роботі

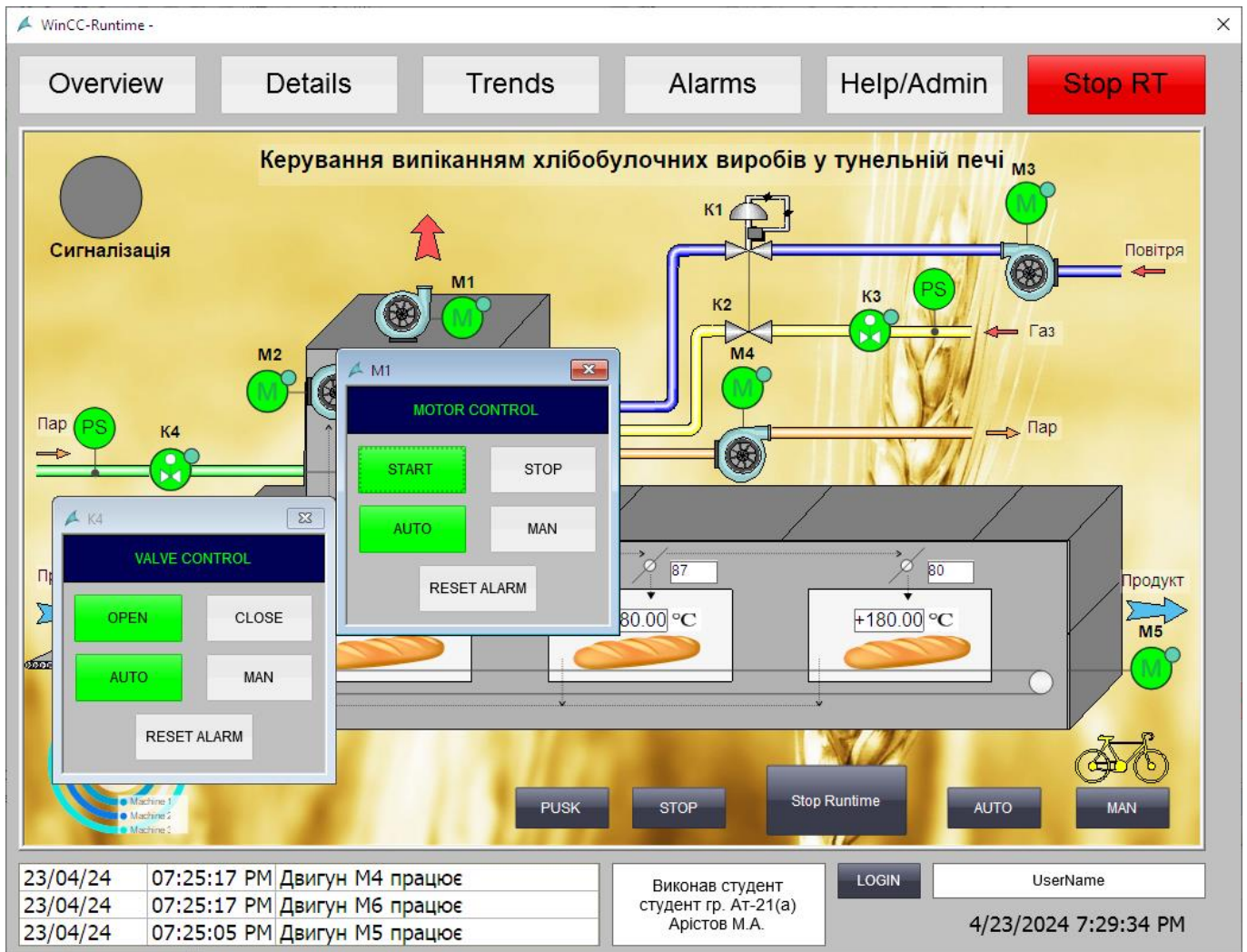


Рисунок 7.10 – Загальний вигляд екрану «Мнемосхема ділянки» при відкритих екранних формах управління двигунами і клапанами

Графіки зміни технологічних параметрів. В інтерфейсі системи екран позначений як «Trends». Для реєстрації змін основних технологічних параметрів в проекті передбачено вікна побудови графіків зміни температур в регульованих зонах випікання хлібобулочних виробів. Для побудови графіків використовується елемент «Trend View» із стандартної бібліотеки SCADA - системи WinCC 8. На рисунку 7.11 представлений вікно реєстрації температур, а на рисунку 7.12 приклад налаштування елемента «Trend View» і його прив'язки до тегів контролера.

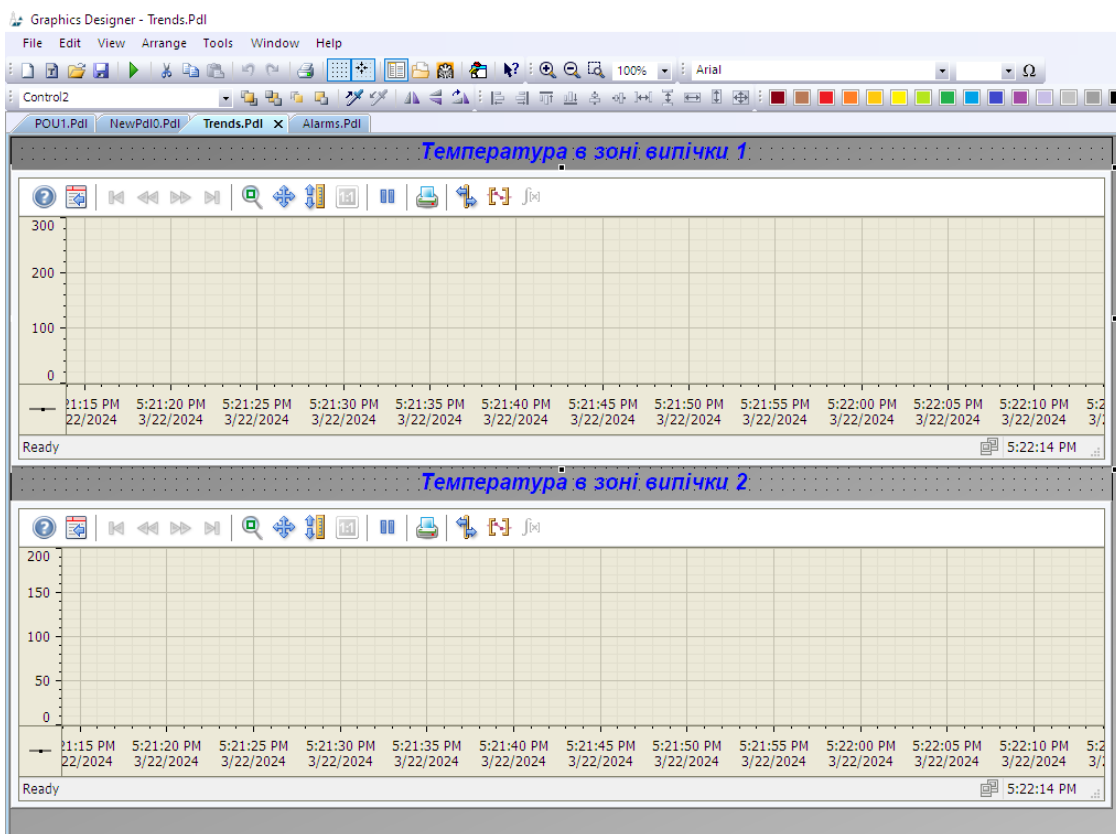


Рисунок 7.11 – Екран реєстрації температур по зонах випікання

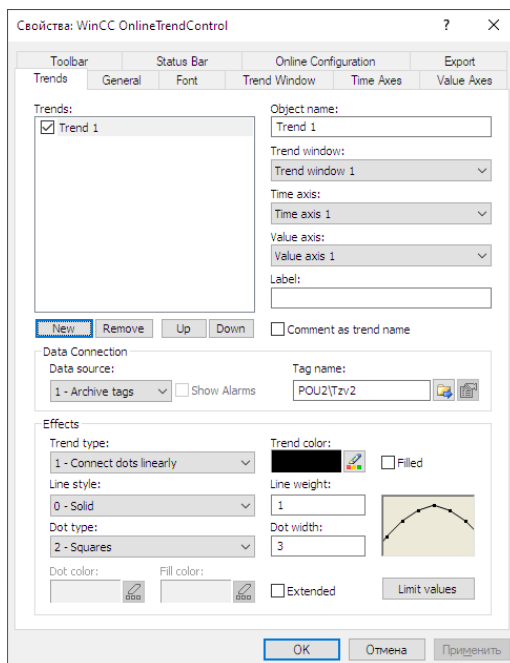


Рисунок 7.12 – Приклад налаштування елемента «Trend View»

На рис. 7.13 представлені графіки зміни температур в зонах випікання хлібобулочних виробів у печі.

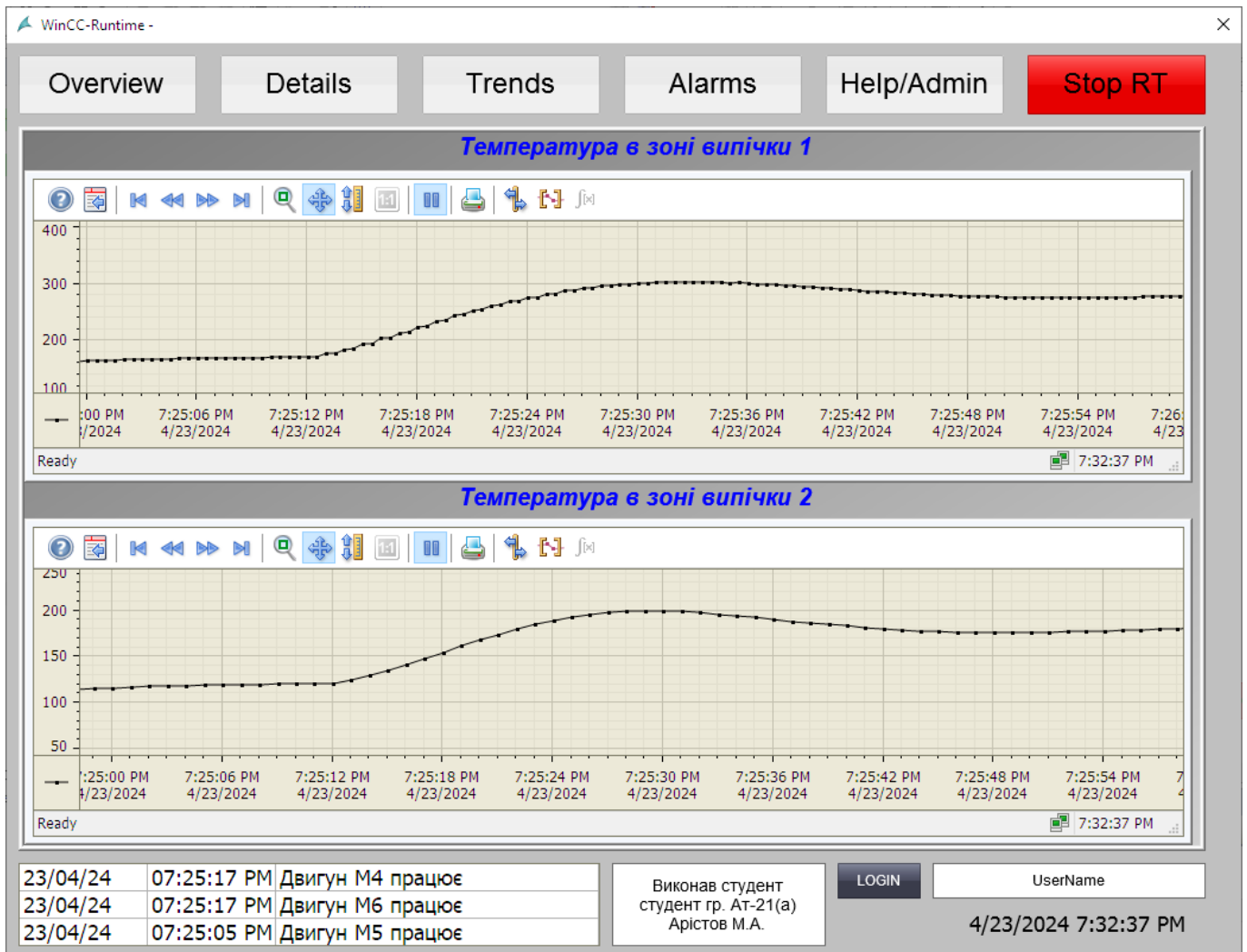


Рисунок 7.13 – Графіки зміни температур в зонах випікання печі

Діагностичні повідомлення призначені для інформування оператора про стан технологічного процесу і події, що виникають з обладнанням в процесі роботи. В проєкті створена система повідомлень з використанням відповідного редактора SCADA - системи WinCC 8. В інтерфейсі системи екран позначений як «Trends». Система повідомлень включає повідомлення обумовлені користувачем і системні повідомлення. Повідомлення, обумовлені користувачем, розділені на дискретні і аналогові. Фрагменти списків дискретних і аналогових повідомлень, класів повідомлень представлені на рисунках 7.14 - 7.16.

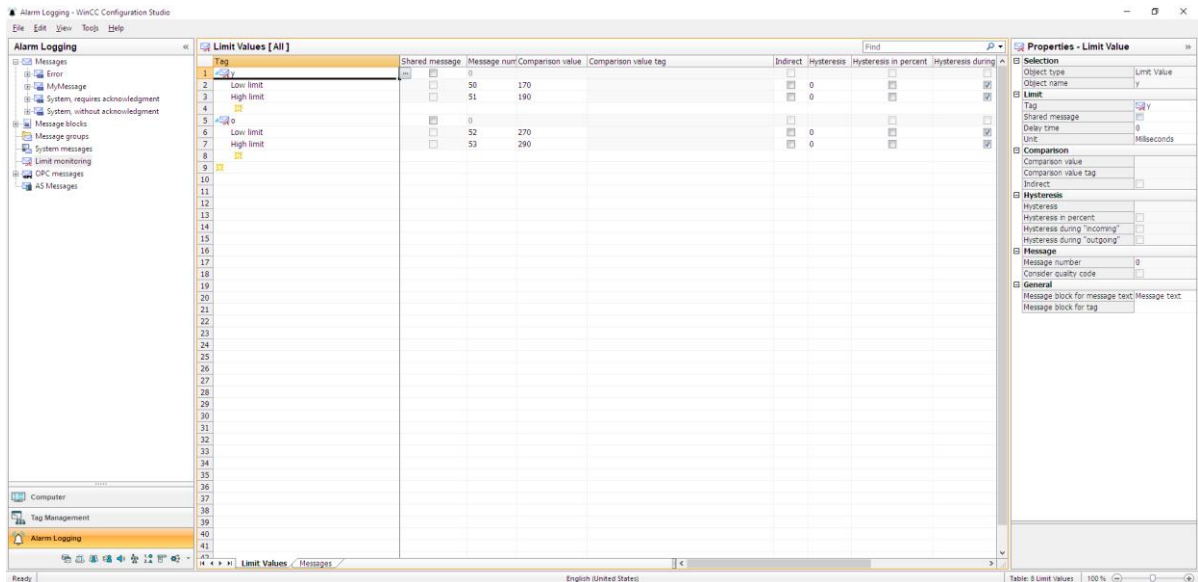


Рисунок 7.14 – Фрагмент вікна редактора аналогових повідомлень

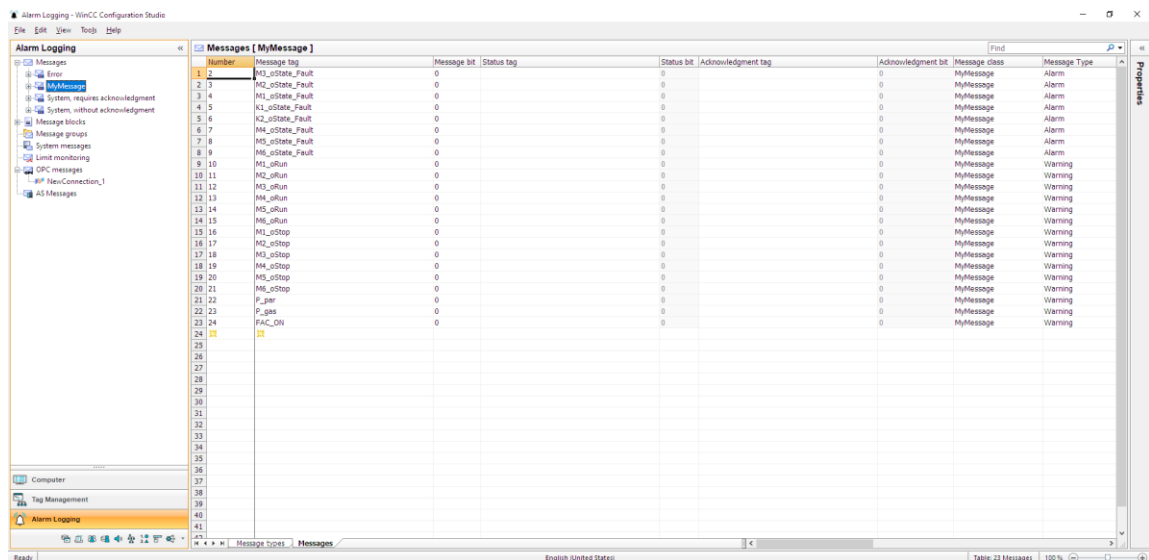


Рисунок 7.15 – Фрагмент вікна редактора дискретних повідомлень

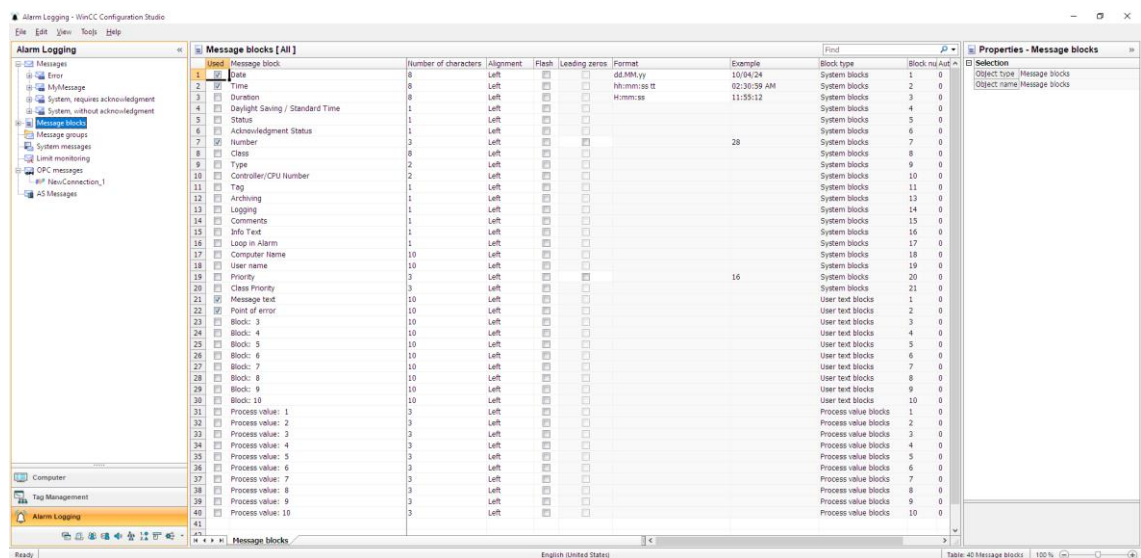


Рисунок 7.16 – Загальний вигляд вікна блоків повідомлень

Відображення повідомлень на екрані виконується за допомогою елемента «Alarm View», який може бути налаштований на виведення поточних активних повідомлень, вмісту буфера повідомлень, вмісту архіву повідомлень. При цьому можуть виводитися на екран повідомлення різних класів. На рисунку 7.17 представлений приклад екрану з елементами «Alarm View» налаштованими на виведення поточних активних робочих повідомлень і повідомлень про несправності та вікно властивостей елемента «Alarm View» налаштованого на виведення поточних активних повідомлень про стан виконавчих механізмів технологічного процесу.

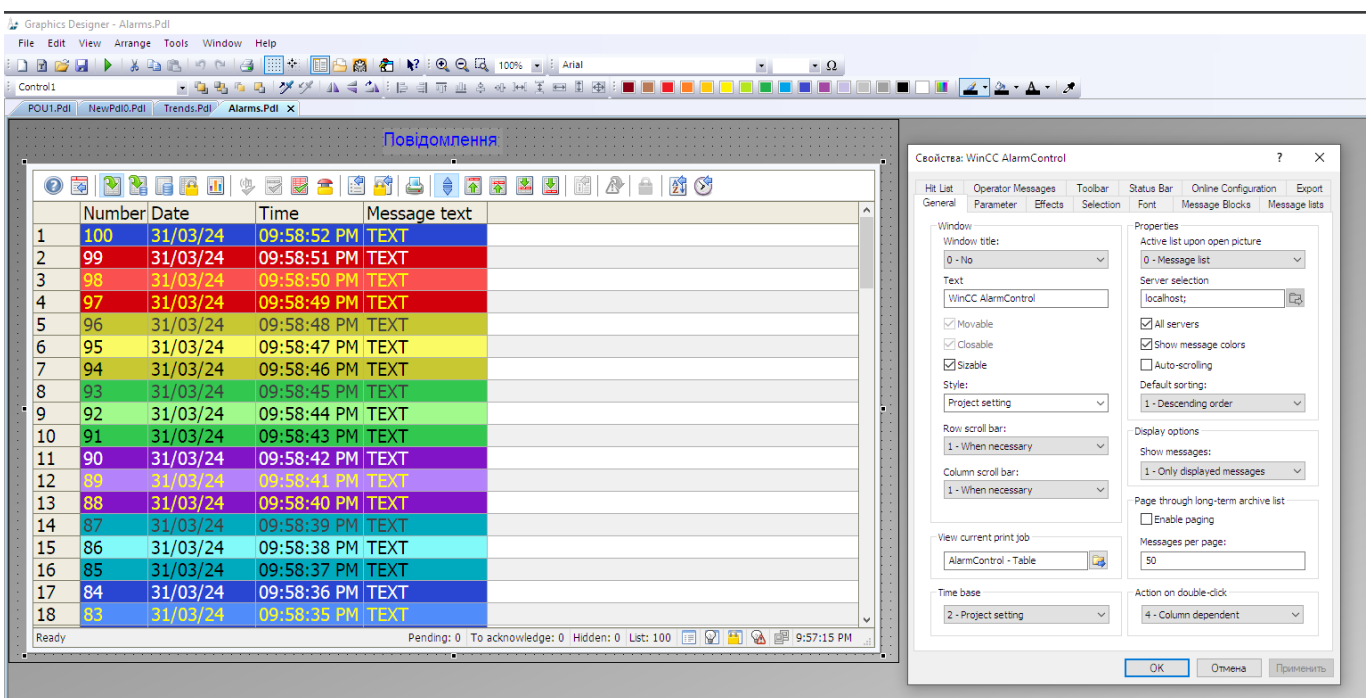


Рисунок 7.17 – Загальний вигляд екрану виведення діагностичних повідомлень та налаштування елемента виведення повідомлень «Alarm View»

На рисунках 7.18 - 7.20 представлені екрани, що демонструють роботу системи повідомлень для повідомлень, що визначаються користувачем. Приклади екранів призначені для виведення буфера повідомлень і вмісту архіву повідомлень.

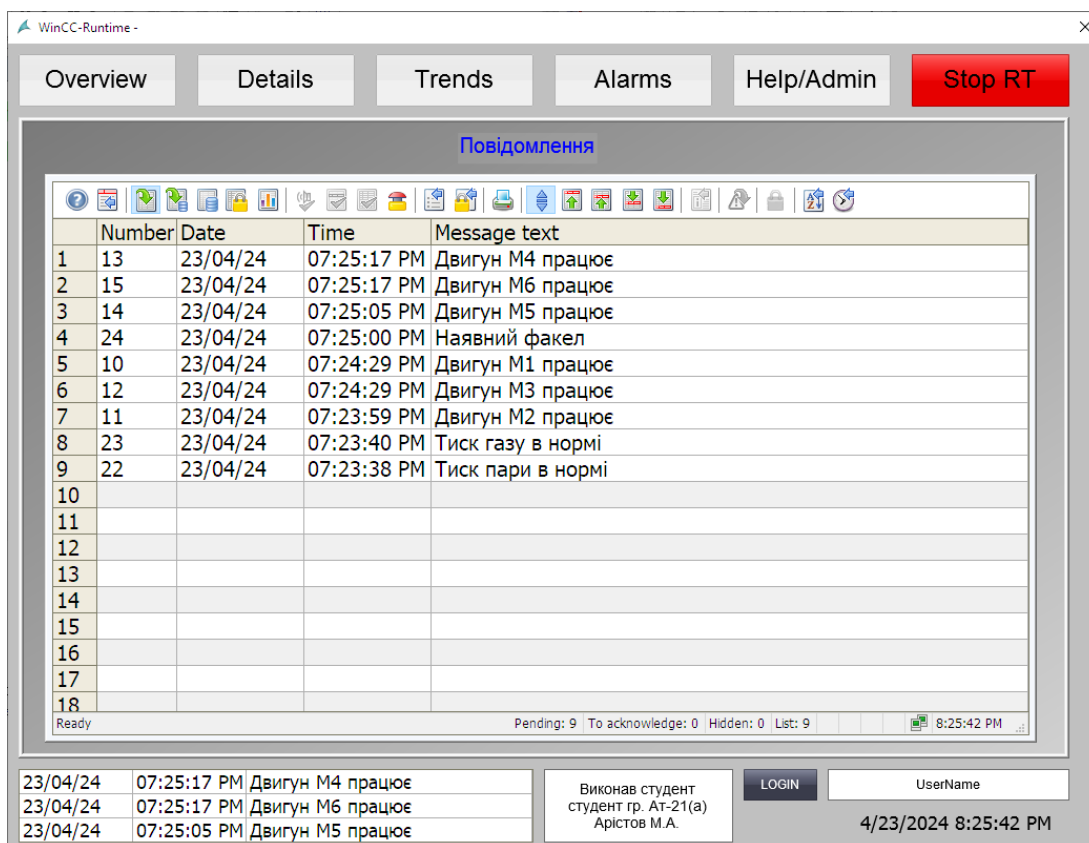


Рисунок 7.18 – Загальний вигляд екрану з поточними повідомленнями

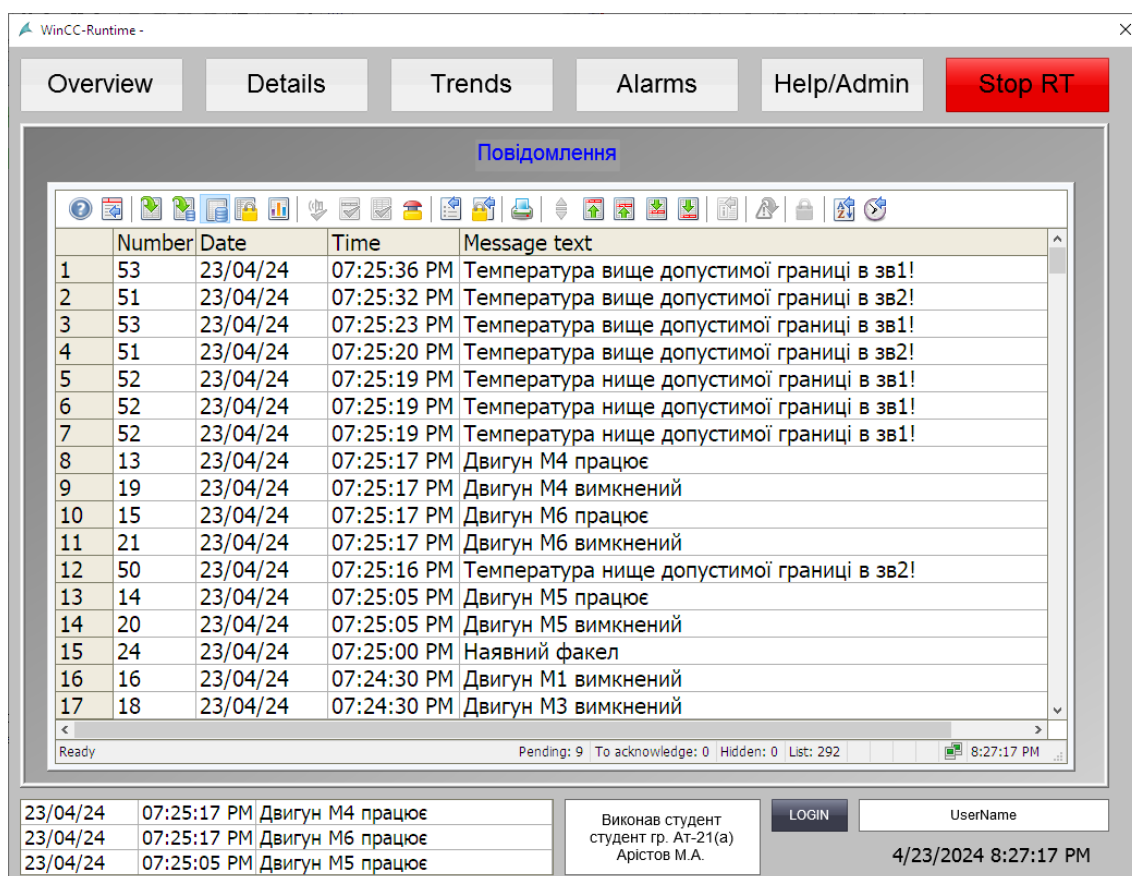


Рисунок 7.19 – Загальний вигляд екрану з відображенням архіву буфера повідомлень

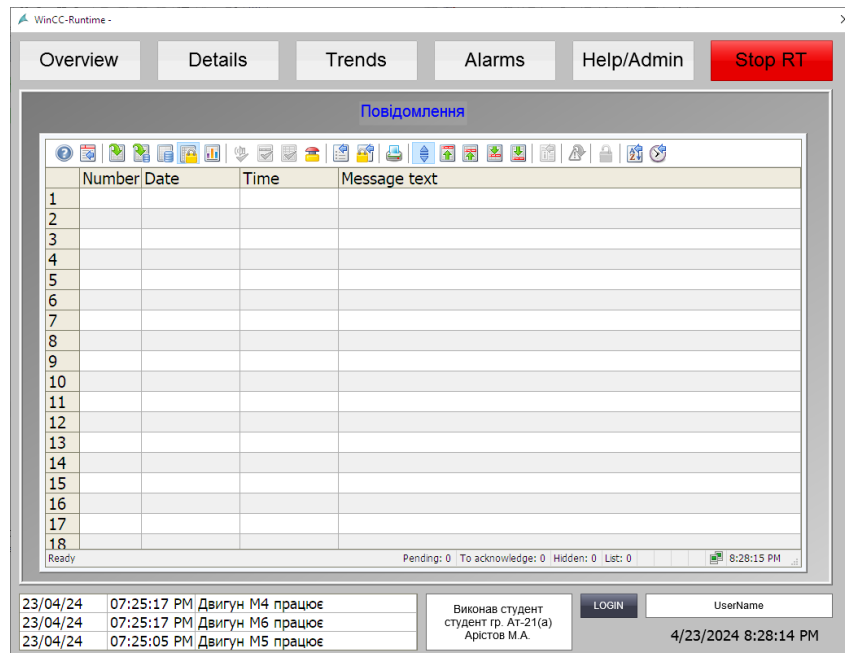


Рисунок 7.20 – Загальний вигляд екрану з відображенням архіву повідомлень про несправності

7.3 Конкретизація функцій і структури екранів АРМ наладчика САК

Для забезпечення належного виконання професійних обов'язків наладчика системи автоматичного управління необхідно мати на робочому місці набір функцій, що охоплюють усі потрібні можливості. Серед цих можливостей є:

1. Керування контурами регулювання та відображення поточних та заданих значень регульованих параметрів.
2. Відображення поточних значень керуючих впливів.
3. Зміна параметрів налаштування регуляторів.
4. Зміна заданих значень регульованих змінних.
5. Перемикання між режимами роботи регуляторів (автоматичний/ручний) та формування управляючих дій у ручному режимі.
6. Задавання значень затримок часу для таймерів, які використовуються в алгоритмах пуску і зупину.
7. Задавання значень затримок часу для спрацьовування датчиків положення клапанів та зворотного зв'язку стану двигунів.

8. Встановлення граничних значень технологічних параметрів.
9. Виконання адміністрування користувачів системи.
10. Аналіз системних повідомлень.

Для реалізації цих функцій передбачено створення спеціальних екранів у системі SCADA WinCC, зокрема:

- Екран налаштування системи автоматичного керування (САК).
- Екран реєстрації.

Ці екрани дозволять забезпечити зручний та ефективний контроль над процесом виробництва та управлінням налагодженням системи. Програмна реалізація цих екранів у SCADA - системі WinCC представлена в наступному розділі.

7.4 Розробка екранів АРМ наладчика САК

Екран допомога та адміністрування розроблені оператору для допомоги та можливості розширених налаштувань (рис. 7.21).

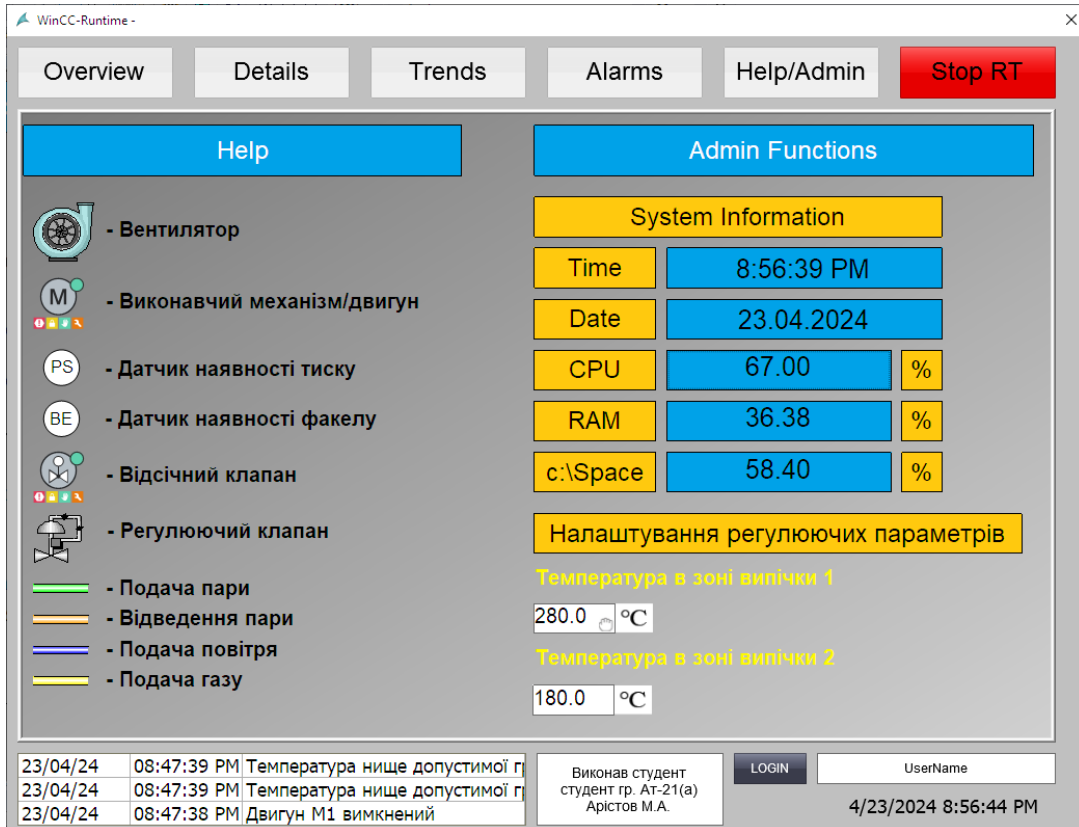


Рисунок 7.21 – Загальний вигляд екрану «Допомога та адміністрування»

В інтерфейсі системи екран позначений як «Help/Admin». В лівій частині екрану розшифровані умовні зображення, які використовуються в основному екрані «Мнемосхема ділянки». В правій частині екрану доступна системна інформація та можливість задавання заданих параметрів регулювання в печі.

Вивчивши умовні позначення, оператор зможе однозначно зрозуміти поточний стан двигуна або клапана по його екранній формі. Вивчення даної інформації особливо актуально для нових операторів. Що тільки приступили до роботи.

Є можливість виконувати роботу зі списком користувачів. Змінювати імена, паролі, групи існуючих користувачів. Додавати і видаляти користувачів системи. Але в нашому випадку це не є необхідним. SCADA система має можливість адміністрування користувачів та організації відповідного доступу до екранних функцій. А також під паролем знаходиться доступ до програмного забезпечення контролера. На багатьох сучасних контролерах неможливо зайти та щось зробити без паролю (рис. 7.22).

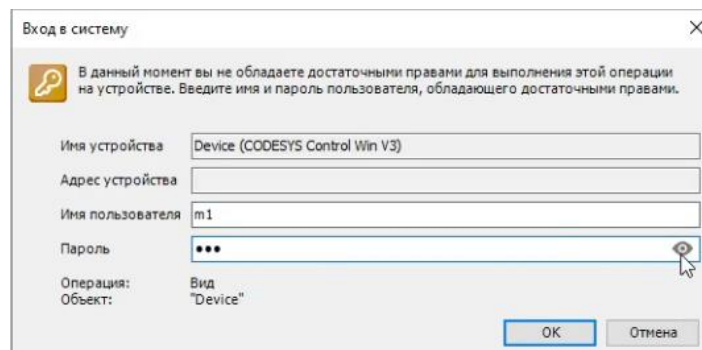


Рисунок 7.22 – Загальний вигляд входу в систему контролеру для отримання прав доступу

При виконанні розділу в середовищі SCADA - системи WinCC розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САК процесу випікання хлібобулочних виробів у тунельній печі. АРМ дозволяє контролювати хід технологічного процесу, задавати режими роботи, здійснювати перемикання режимів управління обладнанням (АВТ / РУЧ) та керувати в ручному режимі окремим обладнанням, проводити налаштування САК. Відображати динаміку зміни технологічних параметрів, вести журнали подій, проводити адміністрування користувачів програмного забезпечення.

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

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

Розглянемо остаточні рішення щодо структури та побудови системи автоматичного контролю (САК) для технологічного процесу випікання хлібобулочних виробів. Основна увага зосереджена на використанні двох контурів регулювання температури, які реалізуються на базі контролерів WAGO. Алгоритми керування та ТЗА забезпечують автоматичний пуск та зупинку технологічного процесу.

Контури регулювання розроблені з використанням контролерів WAGO, зокрема моделі PFC200 750-8212. Цей контролер має вбудовані функції логічного програмування та регулювання, що дозволяє ефективно керувати технологічним процесом. Для збору та обробки аналогових і дискретних сигналів використовуються модулі розширення. Для зв'язку контролера з комп'ютером використовується інтерфейс Ethernet з протоколом OPC UA, що забезпечує надійну і швидку передачу даних.

В якості панелі оператора обрано панельний комп'ютер SIMATIC IPC677D з діагоналлю екрану 15 дюймів. Цей комп'ютер забезпечує високий рівень інтеграції з програмним забезпеченням WINCC8, що використовується для створення інтерфейсу користувача та реалізації алгоритмів керування. У процесі розробки системи автоматичного контролю було створено наступну технічну документацію [28]:

1. Схема автоматизації.
2. Принципова електрична схема електроприводу.
3. Принципова електрична схема вводу/виводу сигналів
4. Принципова електрична схема живлення.
5. Схема компонування технічних засобів у щиті.
6. Таблиця зовнішніх проводок.

8.2 Розробка схеми автоматизації та специфікацій на технічні засоби системи

Схема автоматизації для системи керування тунельною піччю використовується для випікання хлібобулочних виробів. Вона включає в себе основні елементи системи, такі як датчики, контролери, виконавчі механізми, та описує їх функціональні взаємозв'язки.

Креслення автоматизації технологічного процесу є ключовим документом, який визначає функціональну структуру та обсяг автоматизації, а також пояснює конкретні процеси, що відбуваються у функціональних ланцюгах. Цей документ складено відповідно до ДСТУ Б.А. 2.4-16:2008 "Система проектної документації для будівництва" [29].

Розглянемо схему технологічного процесу з кінця. Подача продукту здійснюється в останній момент по алгоритму пуску технологічного процесу. В конвеєрі подачі продукту встановлений електропривід М6. ПЛК - центральний елемент системи автоматизації, який отримує дані від датчиків, керує всіма виконавчими механізмами та виконує алгоритми регулювання.

В основному конвеєрі, який транспортує хлібобулочні вироби всередині тунельної печі, встановлений електропривід М5. Контур 10 відповідає за регулювання температури в зоні випічки 2. Встановлений виконавчий механізм 12 (10б) шибер, що регулює подачу тепла для камери. Інформацію про стан температури отримуємо за допомогою аналогового датчику ТЕУ 11 (10а). В зоні випікання 1 використовується контур 9, що працює за аналогічним принципом.

За керування електроприводами відповідають контури 1-6. Керування приводними механізмами здійснюється через програмований логічний контролер (ПЛК). Вимоги пуску забезпечують сигнали з датчиків тиску пари PS 15 (13а) та тиску газу PS 16 (14а). Вони забезпечують безпеку роботи, сигналізуючи про будь-які відхилення від норми. Контури 7-8 керують відсічними клапанами пари 7а та газу 8а. Регулювання співвідношення суміші повітря/паливо забезпечується контуром 11. В ньому виконавчий механізм 13 та клапани 11б та 11в.

Вентилятор В4 контуру 4 з електроприводом М4 відповідає за відвід пари. Подачу повітря до топки забезпечує відповідно вентилятор В3. За відвід надлишкових топкових газів відповідає вентилятор В1. Вентилятор В2 відповідає за рециркуляцію топкових газів.

Контроль роботи пальника контролює 12 контур з фотодатчиком наявності факела ВЕ 14. У контурі 15 реалізована функція передпускової сигналізації, а в контурі 16 реалізована функція перетворення інтерфейсних зв'язків між ПК та МПК.

У додатку А наведено перелік приладів та засобів (табл. А.1), що використані в схемі автоматизації, а сама схема наведена на рис. Д1.1. у додатку Д.

Автоматизація технологічного процесу випічки хлібобулочних виробів у тунельній печі забезпечує високий рівень контролю над усіма параметрами процесу, що дозволяє досягти стабільної якості продукції. Використання сучасних датчиків та програмованих логічних контролерів забезпечує точність регулювання температури, вологості та інших параметрів, необхідних для оптимального випікання. Завдяки автоматизації виробництво стає більш ефективним, економічним та безпечним для працівників.

8.3 Розробка принципів схем

У процесі розробки принципів схем для автоматизації тунельної печі, були створені креслення, що деталізують різні аспекти системи управління. Ці креслення включають схеми підключення датчиків, виконавчих механізмів та інших компонентів до програмованого логічного контролера (ПЛК) та схему підключення нереверсивним приводом. Модулі розширення входів та виходів контролеру використовувалися виробника WAGO. Перелік обладнання, яке відображено на схемах наведено в додатку Б (табл. Б.1).

Принципові схеми складені відповідно до вимог Держстандартів (ДСТУ):

- ДЕРЖСТАНДАРТ 2.701. ЄСКД. Схеми. Види й типи. Загальні вимоги до виконання [30].

- ДЕРЖСТАНДАРТ 2.702. ЄСКД. Правила виконання електричних схем [31].

- ДЕРЖСТАНДАРТ 2.709. ЄСКД. Система маркування ланцюгів в електричних схемах [32].

- ДЕРЖСТАНДАРТ 2.710. ЄСКД. Позначення умовні, буквено-цифрові, які вжиті на електричних схемах [33].

На рисунку Д1.2 в додатку Д представлена типова схема керування нереверсивним приводом. Принципова електрична схема забезпечує коректну роботу електроприводу в автоматичному та аварійному режимах. На схемі зображено основні елементи електричного кола, такі як автомати захисту, контактори, блоки живлення та з'єднувальні лінії, що забезпечують функціонування системи.

Основні компоненти та їх функції:

Автоматичні вимикачі (SS-Q1, SS-Q2, SS-Q3) використовуються для захисту електричного кола від перевантажень та коротких замикань. Забезпечують можливість відключення окремих ділянок схеми для проведення ремонтних робіт або технічного обслуговування.

Контактори (SS-K1, SS-K2, SS-K3) здійснюють комутацію силових ланцюгів, дозволяючи підключення або відключення навантаження.

Блоки живлення забезпечують стабільне живлення електронних компонентів схеми, таких як реле, контактори та інші пристрої. Підключаються до мережі живлення через відповідні автомати захисту.

Перемикачі та кнопки керування (OB-S1, SS-S3, SS-S4) використовуються для ручного управління системою, включаючи режим автоматичного або аварійного відключення. Лінії L1, L2, L3 відповідають за фазну напругу, N - нейтраль, PE - захисне заземлення.

Схеми вводу дискретних сигналів зображені в додатку Д на рис. Д1.4 та рис. Д1.5 демонструють, як різні датчики та компоненти для роботи електроприводів підключені до модулів ПЗО для моніторингу стану печі. Ця схема включає елементи захисту, такі як автоматичні вимикачі і контактори, що забезпечують аварійне вимкнення системи у разі небезпечних умов. Важливими компонентами тут є реле тиску та фотодатчик наявності факелу в топці, що забезпечують контроль критичних параметрів процесу.

На Рис. Д1.6 у додатку Д зображена схема виводу дискретних сигналів, яка відповідає за управління виконавчими механізмами, такими як запальний пристрій, клапани газу та пари, електроприводи. Ця схема забезпечує точне виконання команд ПЛК, що базуються на аналізі вхідних даних. Відповідно, кожен сигнал, що надходить від ПЛК, призводить до конкретної дії, наприклад, відкриття або закриття клапану, що регулює подачу газу або пари.

На рис. Д1.7 у додатку Д наведена принципова електрична схема вводу аналогових сигналів. Ця схема включає підключення датчиків температури в зонах випікання до модулю ПЗО. Датчики передають аналогові сигнали 4...20 mA, які потім конвертуються і аналізуються ПЛК для забезпечення точного контролю температурних режимів у різних зонах печі.

На рис. Д1.8 у додатку Д зображена схема виводу аналогових сигналів, що відповідає за управління виконавчими механізмами, такими як клапани повітря/палива та регулюючих шиберів подачі тепла. Виконавчі механізми регулюються аналоговими сигналами 0...10 V, які надходять від ПЛК. Це дозволяє точно контролювати потік палива та тепла, забезпечуючи оптимальні умови для процесу випікання.

У підсумку, розроблені принципові схеми дозволяють досягти високого рівня автоматизації та безпеки в роботі тунельної печі, забезпечуючи ефективний контроль та управління усіма аспектами процесу випікання.

8.4 Розробка схем живлення

Для живлення контролерів, модулів розширення та панельного комп'ютера було обрано два блоки живлення 24В постійного струму. Блок живлення WAGO 2687-2146 призначений для перетворення вхідної змінної напруги в стабільну постійну напругу, необхідну для живлення компонентів автоматизованої системи. Вихідна напруга блоку живлення становить 24 В DC, що є стандартом для більшості автоматизованих систем. Вхідна напруга становить 100-240В AC. Максимальний

вихідний струм складає 10 А, що дозволяє жити широкий спектр пристроїв, включаючи контролери, датчики та інші компоненти системи [24].

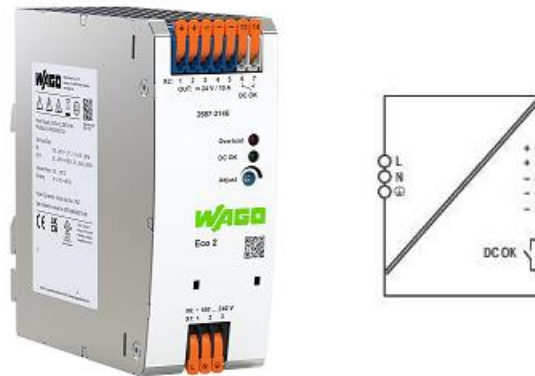


Рисунок 8.1 – Зовнішній вигляд та схема підключення блоку живлення WAGO

Принципова електрична схема підключення блоку живлення, наведена на рис. Д1.3 в додатку Д, демонструє важливі компоненти та їх взаємозв'язок, необхідні для забезпечення стабільної роботи системи. Ця схема відображає ретельний підхід до створення надійної та безпечної електричної мережі.

Основні елементи схеми включають збірну шину заземлення (GND), лінії живлення (L, N), захисне заземлення (PE), захисні автомати (Q3, Q4, Q5), силові роз'єми (+SA-РЕСЕРТ1), силові трансформатори (+SA-Т1) та вихідні клеми (1L+, 1M, 2L+, 2M, 3L1, 3L2, 4L1, 4L2).

Лінії живлення "L" (фаза) та "N" (нуль) підключені до блоків живлення WAGO (+SA-G1,+SA-G2), що забезпечує подачу енергії до всіх компонентів. Захисне заземлення "PE" з'єднано зі збірною шиною заземлення, яка грає ключову роль у забезпеченні безпеки всієї системи, запобігаючи електричним ударам.

Автоматичні вимикачі Q3, Q4, Q5 є важливими елементами схеми, оскільки вони забезпечують захист різних ланцюгів живлення. Ці автомати підключені послідовно до відповідних ліній живлення, контролюючи та захищаючи систему від перевантажень і коротких замикань.

Силові роз'єми +SA-РЕСЕРТ1 забезпечують надійне підключення зовнішніх пристроїв до живлення, а трансформатори +SA-Т1 виконують функцію перетворення напруги до необхідного рівня, що гарантує стабільність роботи всіх підключених

компонентів. Вихідні клеми 1L+, 1M, 2L+, 2M, а також 3L1, 3L2, 4L1, 4L2 забезпечують можливість підключення різних споживачів та додаткових ланцюгів або пристроїв, що робить систему гнучкою та адаптивною до різних потреб.

Всі компоненти схеми з'єднані між собою таким чином, щоб забезпечити їхнє функціональне призначення. Захисне заземлення гарантує безпеку роботи пристроїв, запобігаючи можливим електричним ударам та забезпечуючи захист для користувачів. Ця схема відображає типовий підхід до підключення блоку живлення в електричній шафі.

8.5 Розробка схем компонування технічних засобів у щиті або шафі. Складання креслення загального виду щита оператора АРМ

Для компоновки елементної бази нам підходить монтажна шафа Rittal E302410СТ [34]. Це надійний та зручний у використанні корпус, призначений для розміщення та захисту електронного обладнання в різних промислових середовищах. Шафа виготовлена зі сталі з порошковим покриттям, що забезпечує високу стійкість до корозії та механічних пошкоджень. Завдяки ступеню захисту IP66 гарантує повний захист від пилу та потужних струменів води, що робить його ідеальним для використання в умовах підвищеної вологості та запиленості. А геометричні розміри вибиралися з урахуванням рекомендацій заводів виробників по пасивній вентиляції приладів та апаратів.

Основні характеристики:

- Розміри: Висота 30 дюймів, ширина 24 дюйми, глибина 10 дюймів.
- Матеріал: Високоякісна сталь з порошковим покриттям.
- Ступінь захисту: IP66, що забезпечує належний захист
- Двері: Одностулкові з гумовим ущільненням для підвищеної герметичності.
- Кріплення: Передбачені спеціальні отвори для зручного настінного монтажу.
- Температурний діапазон: Від -30°C до $+80^{\circ}\text{C}$, що дозволяє використовувати шафу в різних кліматичних умовах.
- Можливість встановлення монтажних панелей та рейок DIN



Рисунок 8.2 – Зовнішній вигляд монтажної шафи Rittal

На схемі "Компоновка шафи" (рис. Д1.9) представлені технічні засоби, які розташовані усередині та зовні шафи оператора. Схема включає в себе розташування різних елементів та їх позначення, що дозволяє зручно організувати простір усередині шафи для оптимальної роботи системи.

На зовнішній частині щита встановлено операторський панельний комп'ютер. Він дозволяє відображати всю потрібну інформацію та надає можливість взаємодії з технологічним процесом. Усередині щита встановлюються компоненти, такі як автоматичні вимикачі, контактори, реле, блоки живлення та інші елементи. Встановлення компонентів відбувається на DIN рейки. Монтажні коробки мають розміри 40x40 мм.

На нижній DIN рейці встановлюється клемна колодка. На середній встановлені блоки живлення, контролер та модулі розширення. Вся інша елементна база встановлена для зручності у верхньому ряді.

Важливо також врахувати, що під час монтажу слід дотримуватися всіх вимог щодо електробезпеки і захисту від впливу зовнішніх факторів. Кінцевим результатом є надійна і зручна в обслуговуванні система автоматизації, яка відповідає всім вимогам безпеки і ергономіки.

8.6 Розробка монтажних схем або таблиць з'єднань у щиті оператора

Процес розробки таблиць з'єднань щита оператора є етапом у створенні ефективної та безпечної системи автоматизації. Цей етап включає визначення та документування всіх з'єднань між ПЗО (програмовані засоби обчислень) контролера та іншими електричними технічними засобами, а також їх підключення до клемних панелей (колодок).

У нашому випадку процедура формування таблиць з'єднань виконується автоматизованим методом за допомогою програмного забезпечення Autocad Electrical. Це забезпечує високу точність і ефективність у створенні таблиць з'єднань, мінімізуючи ризик людських помилок і забезпечуючи відповідність стандартам.

Розробка таких таблиць з'єднань за допомогою Autocad Electrical дозволяє не лише забезпечити правильне і надійне підключення всіх компонентів, але й спрощує процес діагностики та обслуговування системи [35]. Кожне з'єднання документується автоматично, що допомагає швидко знаходити і виправляти можливі проблеми у разі їх виникнення. Таблиця наведена в додатку Д на рис. Д1.10.

8.7 Розробка схем або таблиць з'єднань зовнішніх електричних і трубних проводок та компонування робочого місця оператора-технолога

При розробці таблиць зовнішніх електричних проводок для робочого місця оператора-технолога слід враховувати характеристики середовища, у якому будуть здійснюватися ці проводки. Для забезпечення надійності та безпеки системи, а також дотримання всіх стандартів, важливо врахувати наступні аспекти.

По-перше, температурні умови середовища визначають тип ізоляції, яка буде використана для кабелів. В умовах підвищеної температури слід вибирати кабелі з термостійкою ізоляцією, щоб уникнути її пошкодження і забезпечити стабільну роботу системи.

По-друге, рівень вологості в середовищі також впливає на вибір кабельної продукції. Для приміщень з високою вологістю або зовнішніх установок необхідно використовувати кабелі з вологостійкою ізоляцією, що запобігатиме коротким замиканням та корозії провідників.

Далі, механічні навантаження та можливі впливи повинні бути враховані при прокладанні проводок. Кабелі повинні мати достатню механічну міцність, щоб витримувати фізичні впливи та запобігти пошкодженням.

Характер проводок, які використовуються в системі, включає силові та сигнальні проводки. Силові проводки призначені для передачі електричної енергії до обладнання і мають витримувати високі струми та напруги. Тому для них вибираються кабелі з великим перетином жил. Сигнальні проводки, в свою чергу, використовуються для передачі інформаційних сигналів і повинні мати високу захищеність від електромагнітних завад.

Процедура формування таблиць з'єднань зовнішніх проводок буде виконуватися автоматизованим методом за допомогою Autocad Electrical. Таблиця наведена в додатку Д на рис. Д1.11.

8.8 Охорона праці

У процесі нормальної експлуатації системи автоматизації оператор АРМ може піддаватися впливу наступних небезпечних і шкідливих факторів [36].:

Небезпечні і шкідливі фактори в операторському пункті:

1. Випромінювання та мерехтіння екрана монітора:

- Проблеми: Тривала робота з монітором може спричинити зорове напруження, головні болі, погіршення зору та загальну втому.

- Заходи: Використання моніторів з низьким рівнем випромінювання і високою частотою оновлення. Регулярні перерви для зняття зорового напруження, налаштування яскравості та контрастності екрана.

2. Освітленість приміщення:

- Проблеми: Неправильне освітлення може призводити до зорового напруження, головного болю та втрати концентрації.

- Заходи: Забезпечення рівномірного та достатнього освітлення робочої зони. Використання світильників з антивідблисковими екранами, контроль яскравості та температури світла.

3. Близькість виробничих приміщень:

- Проблеми: Шум, вібрація та пил від виробничих процесів можуть негативно впливати на здоров'я оператора.

- Заходи: Установка звукоізоляційних перегородок, систем вентиляції та фільтрації повітря. Використання шумоізолюючих матеріалів для стін і стелі.

Небезпечні і шкідливі фактори у виробничому приміщенні:

1. Шум:

- Проблеми: Високий рівень шуму може призводити до погіршення слуху, стресу та зниження продуктивності.

- Заходи: Використання шумоізоляційних матеріалів, носіння персональних захисних засобів для слуху (наушники або беруші).

2. Вібрація:

- Проблеми: Тривалий вплив вібрації може спричинити вібраційні хвороби, що впливають на суглоби і м'язи.

- Заходи: Установка віброізоляційних основ під обладнання, регулярні перерви для працівників, використання антивібраційних рукавичок.

3. Пил та хімічні речовини:

- Проблеми: Пил та шкідливі хімічні речовини можуть викликати респіраторні захворювання та алергічні реакції.

- Заходи: Системи вентиляції та фільтрації повітря, регулярне прибирання виробничих приміщень, використання масок та респіраторів.

4. Мікрокліматичні умови:

- Проблеми: Неправильна температура, вологість і циркуляція повітря можуть спричиняти дискомфорт і захворювання.

- Заходи: Підтримка оптимальної температури та вологості в приміщенні, установка кондиціонерів і зволожувачів повітря.

Заходи щодо безпечного проведення планово-попереджувальних і аварійно-відбудовних робіт. Для забезпечення безпечного проведення планово-попереджувальних і аварійно-відбудовних робіт, пов'язаних із системою автоматизації, необхідно дотримуватись наступних заходів:

1. Планування робіт:

- Підготовка детального плану робіт з визначенням відповідальних осіб та термінів виконання.

- Проведення інструктажів для персоналу щодо безпечного виконання робіт.

2. Забезпечення захисними засобами:

- Використання відповідних засобів індивідуального захисту (каска, рукавички, окуляри, спеціальне взуття).

- Наявність засобів пожежогасіння та першої допомоги на робочому місці.

3. Контроль стану обладнання:

- Регулярний огляд і технічне обслуговування обладнання для запобігання аварійним ситуаціям.

- Використання тільки справного та сертифікованого обладнання.

4. Організація робочого місця:

- Забезпечення достатнього освітлення та вентиляції робочого місця.

- Видалення зайвих предметів і речовин, що можуть створити небезпеку.

Перелік можливих аварійних ситуацій та заходи для їх локалізації. Можливі аварійні ситуації включають:

1. Перевантаження або вихід з ладу електрообладнання:

- Заходи: Наявність резервних джерел живлення, автоматичних вимикачів та запобіжників.

2. Пожежі та вибухи:

- Заходи: Установка систем пожежної сигналізації та пожежогасіння.

Проведення регулярних навчань з пожежної безпеки.

3. Витік хімічних речовин або газів:

- Заходи: Системи вентиляції та детектори газу. Наявність засобів для герметизації місця витoku.

4. Механічні пошкодження обладнання:

- Заходи: Використання захисних огорожень та сигналізаційних систем. Регулярний огляд і технічне обслуговування обладнання.

Загальні вимоги до шляхів евакуації персоналу:

1. Позначення шляхів евакуації:

- Всі шляхи евакуації повинні бути чітко позначені знаками та світловими індикаторами.

- Евакуаційні виходи повинні бути вільними від перешкод.

2. План евакуації:

- Розробка та розміщення планів евакуації на видимих місцях.

- Проведення регулярних навчань з евакуації для персоналу.

3. Забезпечення доступності засобів евакуації:

- Усі двері на шляхах евакуації повинні легко відчинятися зсередини без ключа.

- Наявність резервних шляхів евакуації у випадку блокування основних.

Завдяки впровадженню вищезазначених заходів можна забезпечити безпечні та комфортні умови праці для операторів автоматизованих систем управління, знизити ризик виникнення аварійних ситуацій та ефективно реагувати на можливі небезпеки.

9 Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК

9.1 Розрахунок капітальних вкладень (інвестицій) на модернізацію системи автоматизації тунельної печі на базі ППЦ 1

Капітальні інвестиції являють собою вкладення коштів у придбання будинків, споруджень ін. об'єктів нерухомої власності, машин, устаткування, інших основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні інвестиції здійснюються в наступних основних формах: реконструкція, технічне переозброєння, модернізація виробництва, окремих потокових ліній, одиниць устаткування, придбання окремих матеріальних активів [36].

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

Вартість устаткування за оптовими цінами Ц_{опт} ;

Витрати на тару й упакування – Ц_т;

Заготівельно-складські видатки – Ц_{з-з};

Витрати на монтаж устаткування – Ц_м;

У сумі ці витрати визначають первинну (балансову) вартість устаткування на підприємстві – ІС^б перв.

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

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

$$ІС^б \text{ перв} = Ц_{опт}^б + Ц_{опт}^б * Ц_м + (Ц_{опт}^б * Ц_т)/100 + (Ц_{опт}^б * Ц_{тр}) / 100 + * Ц_з - з / 100 \quad (9.1)$$

де: ІС^б перв – первинна (балансова) вартість одиниці базової техніки, тис. грн.

Ц_{опт}^б – оптова ціна базової техніки, грн.

$$I_{\text{спер}}^{\text{б}} = 368300 + 368300 * 0,1 + (368300 * 0,25)/100 + (368300 * 5,0)/100 + \\ + [368300 + (368300 * 0,25) / 100 + (368300 * 5,0) / 100] * 0,012 = 429,1 \text{ тис грн.}$$

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

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

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

$$I_{\text{С мод}} = 429,1 \text{ тис грн.} * 0,1 = 42,9 \text{ тис грн.}$$

$$I_{\text{С мод}}^{\text{н}} = 429,1 \text{ тис грн} * 1,1 = 472,01 \text{ тис. грн}$$

Нормативи розрахунків наведені в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1 - Нормативні дані для розрахунку капітальних вкладень

Показники	Позначення	Од.вимір.	Величина
Укрупнений норматив витрат на модернізацію	$N_{\text{мод}}$	%	10-20
Коефіцієнт відрахувань на монтажні роботи	$C_{\text{м}}$	-	0,1
Норматив відрахувань на тару й упакування Цопт	$C_{\text{т}}$	%	0,25
Норматив відрахувань на транспортні видатки від Цопт	$C_{\text{тр}}$	%	5,0
Норматив відрахувань на заготівельно-складські видатки	$C_{\text{з-З}}$	%	1,2
Середня ціна 1т лома	$C_{\text{л}}$	Грн/т	5000,0
Норматив витрат на демонтаж від Цопт		%	2
Нормативи розрахунку ліквідної вартості встаткування (від ІС пер)			
При списанні на лом	-	%	4
При використанні на запчастині	-	%	6
При продажі іншим організаціям	-	%	7

9.2 Розрахунок поточних витрат при роботі базового та нової системи автоматизації

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

Таблиця 9.2 - Нормативні дані і показники

№ п/	Показники	Од. вим.	Величина
1	2	3	4
1	Річний фонд часу роботи обладнання	змін	220
2	Місячний фонд часу робітника	год	168
3	Тривалість роботи в змін	год	8
4	Мінімальний розмір тарифної ставки працівника, який виконує не кваліфіковану роботу	грн	8000
5	Годинна тарифна ставка робітника прийнятої на підприємстві	грн/год	
	1		48,00
	2		52,32
	3		57,60
	4		64,80
	5		74,40
	6		86,40
6	Вартість 1 Квт/год роботи обладнання	грн/год	5,60
6	Вартість 1 куба газу	грн./куб	26,0
7	Рентабельність виробництва хлібобулочних виробів	%	8
8	Оптова ціна	т	17000
9	Податок на прибуток	%	19
10	Норматив річних амортиз. відрахувань (прям. метод)	%	20
11	Податок на доходи фізичних осіб, військовий збір	%	18,0 + 1,5
12	Єдиний соціальний внесок (нарахування)	%	22,0
13	Норматив відрахувань на поточний і капітальний ремонт	%	10

Розрахунки виконуються з підрозділом витрат на наступні основні статті:

- Сировина і матеріали;
- Закупівельні комплектуючі вироби, напівфабрикати (роботи, послуги виробничого характеру сторонніх підприємств і організацій);
- Паливо та енергія на технологічні цілі;
- Основна та додаткова заробітна плата виробничих робітників;
- Відрахування у єдиний соціальний внесок;
- Витрати на утримання та експлуатацію устаткування;
- Загальновиробничі витрати;
- Виробнича собівартість продукції

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

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

$$V_p = IC_{\text{перв}}^{н(б)} * N_p, \quad (9.3)$$

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

Витрати пов'язані з амортизацією устаткування розраховують по формулі:

$$V_a = IC_{\text{перв}}^{н(б)} * N_a. \quad (9.4)$$

де: N_a – норма річних амортизаційних відрахувань від первинної вартості встаткування за винятком зношування Для технологічного устаткування дорівнює

20%, у відносних одиницях 0,2. не змінюються в процесі запровадження результатів дослідження.

Таблиця 9.3 - Техніко-економічні показники обладнання

№ п/п	Показник	Познач	Од. вим.	Базова маши	Нова машина
1	Продуктивність	Пч	т/год	1,45	1,45
2	Маса обладнання	М	кг	48700	48700
3	Габаритні розміри				
	довжина	Д	мм	3500	3500
	ширина	Ш	мм	4000	4000
	висота	В	мм	1100	1100
4	Мінімальна маса порції продукту	V_n	кг	1	1
5	Тривалість циклу	Чд	сек	2220	2220
6	Установлена потужність	Рe	Квт	39,5	39,5
7	Витрати води	$Q_{\text{води}}$	т/год	0,25	0,25
	Витрати газу	$Q_{\text{пату}}$	М ³ /год	50	47
8	Опт. ціна обладнання	Цопт ^б	Тис. грн	368,3	Розрахунок
9	Річний фонд робочого часу обладнання	Фг	Змін	220	220

Всі витрати, пов'язані з утримуванням базового і нового складу техніки, включаються в статті «Видатки на утримання й експлуатацію встаткування». Після розрахунків статей, що змінюються, витрат при експлуатації (використанні) базової й нової техніки складається зведена таблиця зміни річних поточних витрат (табл. 9.4)

$$OB^{(H)} = \text{Поб} * \text{Фг} * \text{К загр}, \quad (9.5)$$

де: Поб – годинна продуктивність обладнання (з технічного паспорта обладнання)

Фг- річний фонд часу роботи обладнання, година

Кзагр – коефіцієнт завантаження обладнання приймаємо рівним 0,85.

$$OB^6 = 1415 \text{ кг/год} * 8 * 220 * 0,85 = 2116,8 \text{ т}$$

$$OB^H = 1430 \text{ кг/год} * 8 * 220 * 0,85 = 2139,3 \text{ т}$$

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

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

При використанні нової техніки та зменшення браку виробництва продукції вартість сировини і матеріалів розраховують за формулою:

$$Vc = Cc^{H(6)} * OB^{(H)}, \quad (9.6)$$

$$Vc^6 = 21000 * 2116,8 = 44452,8 \text{ тис. грн.}$$

$$Vc^H = 21000 * 2139,3 = 44925,3 \text{ тис. грн.}$$

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

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

Розраховуємо витрати газу:

$$ZB = Cb * Qb * \text{Фг} \quad (9.7)$$

$$ZB^6 = 26,0 * 8 * 50 * 220 = 2288,0 \text{ тис. грн}$$

$$ZB^H = 26,0 * 8 * 47 * 220 = 2150,7 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на поточний і капітальний ремонт обладнання встановлені на рівні 10% від його балансової вартості на початок звітного періоду і обраховуються за формулою 9.8.

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

$$Зр^6 = 429,1 * 0,1 = 42,9 \text{ тис. грн.}$$

$$Зр^н = 472,0 * 0,1 = 47,2 \text{ тис. грн.}$$

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

Витрати пов'язані з амортизацією обладнання розраховуються за формулою:

$$За = ІС \text{ перв}^{(6)} * Нр. \quad (9.9)$$

$$За^6 = 429,1 * 0,24 = 103,0 \text{ тис. грн.}$$

$$За^н = 472,0 * 0,24 = 113,3 \text{ тис. грн.}$$

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

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

Після розрахунків змінних статей витрат при експлуатації базової і нової техніки складається таблиця зміни річних поточних витрат (табл. 9.4)

Таблиця 9.4 - Зміна річних поточних витрат

№ п/п	Статті витрат	Позн	Величина, тис грн		Відхилення. + -збільшен. - зменшен.
			До модер.	Після модер.	
1	Витрати газу	Зв	2288,0	2150,7	-137,3
2	Витрати на поточний і капітальний ремонт	Зр	42,9	47,2	+4,3
3	Витрати пов'язані з амортизацією	За	103,0	113,3	+10,3
4	Кількість обладнання	Аі			
	Всього поточних витрат	З	37,0	37,0	
			2433,9	2311,2	-122,7

9.3. Розрахунок показників виробничої діяльності підприємства

$$\Delta TP = TP^H - TP^6 = 44925,3 - 44452,8 = 472,5 \text{ тис. грн}$$

Повна собівартість виробленої продукції C^6 до модернізації обладнання, тис.грн.

$$C^6 = TP^6 * 100 / (100 + P) \quad (9.10)$$

де: P – рентабельність виробленої продукції

$$C^6 = 44452,8 * 100 / 108 = 41160,0 \text{ тис. грн.}$$

Повна собівартість виробленої продукції після модернізації техніки розраховуємо за формулою:

$$C^H = C^6 + \Delta TP * 100 / 108 + \Delta Z \quad (9.11)$$

$$C^H = 41160,0 + 472,5 * 100 / 108 - 122,7 = 41474,8 \text{ тис. грн.}$$

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

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

$$\Pi^{6(H)} = TP^{6(H)} - C^{6(H)} \quad (9.12)$$

$$\Pi^6 = 44452,8 - 41160,0 = 3292,8 \text{ тис. грн}$$

$$\Pi^H = 44925,3 - 41474,8 = 3450,5 \text{ тис. грн.}$$

Приріст прибутку складе:

$$\Delta \Pi = \Pi^H - \Pi^6 \quad (9.13)$$

$$\Delta \Pi = 3450,5 - 3292,8 = 157,7 \text{ тис. грн.}$$

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

$$\Delta \text{ЧП} = \Delta \Pi (1 - \text{Пп}) \quad (9.14)$$

$$\Delta \text{ЧП} = 157,7 * 0,81 = 127,7 \text{ (тис. грн).}$$

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

Розраховані показники зводимо в табл. 9.5.

Таблиця 9.5 - Показники виробничої діяльності підприємства.

№ п/п	Показник	Позначення	Обладнання		Зміна статей витрат (+)-зростання. (-)зниження
			Базове	Модернізоване	
1	2	3	4	5	6
1	Дохід від реалізації, тис. грн.	ТП	44452,8	44925,3	+472,5
2	Повна собівартість продукції тис. грн.	С	41160,0	41474,8	+314,8
3	Прибуток, тис. грн.	П	3292,8	3450,5	+157,7
4	Чистий прибуток, тис. грн.	ЧП	2667,2	2794,9	+127,7
5	ЧПД при коефіцієнт дисконтування (20%)	Кд	0,8333	0,8333	
6	Чистий дисконтований прибуток	ЧПД	2222,6	2329,0	+106,4

9.4 Розрахунок економічної ефективності запровадження результатів дослідження

Одним з основних показників економічної оцінки інвестиційних проектів є показник чистого приведенного доходу (ЧПД).

Розрахунок чистого приведенного доходу здійснюється за формулою 9.15.

$$\text{ЧПД} = \sum_{i=1}^n \frac{ДП_i}{(1+d)^i} - ІС \quad (9.15)$$

де: ІС – стартові інвестиції;

ДП_i – Сума чистих грошових надходжень, дисконтованих протягом n-років;

Якщо ЧПД > 0, то це означає, що в результаті реалізації проекту прибутковість підприємства підвищується і проект можна вважати прийнятним.

$$\text{ЧПД} = 2329,0 - 368,3 = 1960,7 \text{ (тис. грн.)}$$

Один з найбільш використовуваних показників привабливості інвестиційного проекту є строк окупності інвестицій. Під строком окупності інвестицій СОІ у модернізацію техніки розуміють тривалість часу (періоду), протягом якого сума фінансових підсумків, дисконтованих на початок експлуатації нової техніки (або вкладення інвестицій) стане рівній сумі інвестицій.

Розраховується за формулою 9.16:

$$COI = \frac{ИС}{\left(\sum_{i=1}^n \frac{ДПi}{(1+d)^i} \right)_{cp}} \quad (9.16)$$

де: – $\sum_{i=1}^n \frac{ДПi}{(1+d)^i} cp$ – середня сума чистого грошового потоку за період часу

прийнятий у розрахунках (місяць, квартал, рік) $2329,0 / 5 = 465,8$ (тис. грн.)

$$COI = 368,3 / 465,8 < 1 \text{ року.}$$

Розглянута модернізація виробничого процесу випікання хлібобулочних виробів розрахунками демонструє значну економічну вигоду та обґрунтовану доцільність впровадження.

Розрахунок середньої суми чистого грошового потоку за період часу, прийнятий у розрахунках, показав середнє значення в 465,8 тис. грн на місяць. Визначений строк окупності інвестицій (COI) склав менше одного року, а саме 9,5 місяців, що є швидким терміном для подібних проєктів.

Таким чином, модернізація виробничого процесу випікання хлібобулочних виробів не лише сприяє підвищенню якості продукції та зниженню рівня браку, але й забезпечує суттєві економічні вигоди за рахунок зниження витрат на енергоносії. Враховуючи швидкий строк окупності інвестицій, проєкт є фінансово вигідним та доцільним для впровадження на підприємстві.

ВИСНОВКИ

У цій кваліфікаційній роботі було розглянуто та вирішено завдання автоматизації процесу керування випіканням хлібобулочних виробів у тунельній печі. Підвищення ефективності виробництва за рахунок автоматизації є важливим напрямком розвитку сучасної промисловості. В процесі роботи ми зосередилися на удосконаленні існуючих алгоритмів регулювання, впровадженні нових технічних засобів та підвищенні рівня безпеки експлуатації обладнання.

Було проведено всебічний опис та аналіз технологічного процесу випікання хлібобулочних виробів у тунельній печі та необхідного обладнання. Ідентифікація тунельної циклотермічної печі як об'єкта керування дозволила визначити основні канали керування та перехресні канали, що дало змогу виявити, що канали «U1 - $\Theta_{зв1}$ », «U1 - $\Theta_{зв2}$ », «U2 - $\Theta_{зв2}$ » мають статичні властивості та найбільш точно описуються моделями другого порядку.

Підвищення динамічної точності САК було досягнуто шляхом забезпечення автономності каналів регулювання. В якості базового алгоритму регулювання використовувався ПД-алгоритм. Алгоритми керування, а також характеристики, отримані при моделюванні роботи САК, точно співпадають з реальними технологічними процесами, що підтверджує ефективність розроблених моделей.

Була розроблена технічна структура мікропроцесорного ядра системи керування та програмне забезпечення для автоматичного керування процесом випікання хлібобулочних виробів на базі контролера WAGO та середовища CodeSys. Також було створено варіант комплекту технічної документації.

Однією з головних задач було зниження рівня браку з 2,5% до 1,5%, що було досягнуто шляхом оптимізації налаштувань регуляторів та впровадження нових алгоритмів контролю. Ці зміни дозволили значно покращити якість кінцевого продукту, зменшивши кількість відходів і втрат. Додатково, зменшення витрат газу з 50 м³/год до 47 м³/год стало ще одним важливим результатом модернізації, що дозволило знизити витрати на енергоресурси.

Впровадження сучасних промислових контролерів та операторських панелей сприяє створенню зручних та безпечних робочих місць для оператора-технолога та наладчика САК, що підвищує продуктивність праці та знижує ймовірність помилок. Застосування сучасних алгоритмів регулювання, заснованих на додатковій інформації про хід процесу, дозволило забезпечити інваріантність до зовнішніх впливів та автономність контурів регулювання.

Проведений економічний аналіз підтвердив доцільність модернізації системи автоматизації. За розрахунками, період окупності інвестицій становить приблизно 9,5 місяців, що свідчить про швидке повернення вкладених коштів та довготривалу економічну вигоду від впроваджених змін.

Модернізація системи автоматизації керування випіканням хлібобулочних виробів у тунельній печі дозволила значно підвищити ефективність виробничого процесу, знизити витрати на енергоресурси та зменшити кількість браку.

В цілому, проведена робота стала вагомим внеском у підвищення технологічного рівня підприємства та створила основу для подальшого розвитку і вдосконалення виробничих процесів. Таким чином, модернізація системи автоматизації технологічного процесу випікання хлібобулочних виробів у тунельній печі є економічно вигідною та технологічно доцільною, забезпечуючи підвищення ефективності виробництва та якості продукції.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Одеський коровай. Виробник хлібобулочних виробів. URL: <https://korovay.od.ua/#> (дата звернення: 19.03.2024).
2. Одеський коровай. Бізнес-довідка. URL: <https://odeskiy-korovay.business-guide.com.ua/> (дата звернення: 19.03.2024).
3. Лебеде́нко, Т. Є., Пшенишнюк Г. Ф., Соколова Н. Ю. Технологія хлібопекарського виробництва. Практикум: навч. посіб. - Одеса: Освіта України, 2014. – 392 с.
4. Гвоздєв О.В., Ялпачик Ф.Ю, Олексієнко В.О. Машины та обладнання хлібопекарського виробництва: Підручник. – Мелітополь: ТОВ "Видавничий будинок", 2010. — 317 с.
5. В. М. Дубовой. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів і систем керування: Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 308 с
6. Хобін В.А. Конспект курсу лекцій з дисципліни «Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів» для студентів спеціальності 7.092501 денної та заочної форм навчання. – Одеса: ОНАХТ, 2003. – 78 с.
7. Скаковський Ю. М. Методичні вказівки до виконання індивідуальної самостійної роботи за дисципліною "Автоматизація технологічних процесів та виробництв" [Електронний ресурс]: для студ. спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології галузі" знань 15 "Автоматизація та приладобудування" ступень Бакалавр ден. та заоч. форм навчання / Ю. М. Скаковський ; відп. за вип. В. А. Хобін; Каф. автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем. — Одеса: ОНТУ, 2022. — 62 с.
8. Поперечний А. М., Потапов В. О., Корнійчук В. Г. Моделювання процесів та обладнання харчових виробництв. Підручник. – К.: Центр учбової літератури, 2012. – 312 с.
9. Хобін, В.А., Лагерна, С.І. Конспект курсу лекцій з дисципліни «Основи комп'ютерного моделювання технічних систем» для студентів спеціальності 6.050202 денної та заочної форм навчання. – Одеса: ОНАХТ, 2013. – 90 с.

10. Корчемний М.О., Клендій П.Б., Потапенко М.В. Теоретичні основи автоматики: Навч. посібн. — Тернопіль: Навчальна книга– Богдан, 2011. — 304 с
11. М. Г. Попович, О. В. Ковальчук. Теорія автоматичного керування: Підручник. — 2-ге вид. — К.: Либідь, 2007. — 656 с.
12. Хобін В.А. Конспект курсу лекцій з дисципліни «Теорія автоматичного управління» для студентів спеціальності 7.092501 денної та заочної форм навчання. — Одеса: ОНАХТ, 2007. — 87 с.
13. Хісматулін В. Ш., Сосунов О. О., Сотник В. О. Теорія оптимальних систем автоматичного керування: Навч. посібник.— Харків: УкрДУЗТ, 2022.— 230 с.
14. Світий І. М. Конспект лекцій з курсу "Автоматизація технологічних процесів та виробництв" [Електронний ресурс] / І. М. Світий ; відп. за вип. В. А. Хобін ; Каф. автоматизації виробничих процесів. — Одеса: ОНАХТ, 2012. — 1 електрон. опт. диск (CD-ROM): 52 с. тексту (для студ. напряму підгот. бакалаврів 6.050202 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" всіх форм навчання, Ч. 1).
15. Правилами улаштування електроустановок. Київ: Міненерговугілля України, 2017. 617 с
16. ДНАОП 0.00-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.
17. Левінський В. М. Конспект курсу лекцій з курсу "Технічні засоби автоматизації". Розділ "Виконавчі пристрої" [Електронний ресурс] : для студентів спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навчання / В. М. Левінський, М. В. Левінський ; відп. за вип. В. А. Хобін ; Каф. автоматизації технологічних процесів і робототехн. систем. — Одеса : ОНАХТ, 2018. — Електрон. текст. дані: 150 с.
18. Сайт компанії "АО ТЕРА". URL: <https://ao-tera.com/> (дата звернення: 27.04.2024).
19. Продукція Danfoss. URL: <https://www.danfoss.com/uk-ua/products/> (дата звернення: 27.04.2024).
20. Підтримка Siemens Industry. URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/start?lc=en-US> (дата звернення: 27.04.2024).

21. Сайт компанії Weishaupt. URL: <https://www.weishaupt-corp.com/> (дата звернення: 27.04.2024).
22. Сайт компанії Honeywell. URL: <https://www.honeywell.com/us/en> (дата звернення: 27.04.2024).
23. Сайт компанії Schneider Electric. URL: <https://www.se.com/ua/uk/> (дата звернення: 27.04.2024).
24. Сайт компанії WAGO. URL: https://www.wago.com/global/?gig_language=en&gig_registrationUrl=https%3A%2F%2Fwww.wago.com%2Fglobal%2Fregistrationpage (дата звернення: 27.03.2024).
25. Пупена О.М, Ельперін І.В., Луцька Н.М., Ладанюк А.П. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник. – К. : Вид-во "Ліра-К", 2011. – 552 с.
26. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації», частина 1 «Інструментальний програмний комплекс промислової автоматизації CoDeSys» для студентів спеціальності 151 "Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології" денної та заочної форм навчання. Уклад. М.Т. Степанов, М.В. Левінський. – Одеса: ОНАХТ, 2017. – 30 с.
27. Пупена О.М., Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/HMI. : Навч. посіб. Київ : Видавництво Ліра-К, 2020. — 594 с.
28. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи з курсу "Проектування систем автоматизації" для підготовки студентів ступеня бакалавр спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форм навчання /Укладач В. Левінський. - Одеса: ОНТУ, 2023 р. – 35 с.
29. ДСТУ Б А.2.4-16:2008. Національний стандарт України «Автоматизація технологічних процесів. зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах».
30. ДСТУ 2.701. ЄСКД. Схеми. Види й типи. Загальні вимоги до виконання.

31. ДСТУ 2.702. ЄСКД. Правила виконання електричних схем.
32. ДСТУ 2.709. ЄСКД. Система маркування ланцюгів в електричних схемах.
33. ДСТУ 2.710. ЄСКД. Позначення умовні, буквено-цифрові, які вжиті на електричних схемах.
34. Офіційний сайт Rittal. URL: <https://www.rittal.com/com-en/> (дата звернення: 26.05.2024).
35. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Основи САПР» для студентів напряму підготовки 6.050202 денної та заочної форм навчання/В.М. Левінський, М.В. Левінський.- Одеса: ОНАХТ, 2015, 45 с.
36. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці : конспект лекцій [Електронний ресурс] / О. О. Фесенко, В. М. Лисюк, С. М. Неменуца, З. М. Сахарова ; Каф. безпеки життєдіяльності. — Одеса : ОНАХТ, 2021. — Електрон. текст. дані: 149 с.
37. Методичні вказівки до економічної складової кваліфікаційної роботи бакалаврів за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» /Укладачі д.е.н., проф. Савенко І.І., к.е.н., доц. Корсікова Н.М., Одеса: ОНТУ, 2022. 10 с.

ДОДАТКИ

Додаток А Документація до схеми автоматизації

Таблиця А.1 – Попередній перелік обладнання до схеми автоматизації

Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
	<u>Прилади за місцем</u>		
9а	Датчик температури Тера ТСП-У-1-43-Pt100-В-3-500-10-М20х1,5-120-АХ-А12-/-50...500/ - Ехі	1	
10а	Датчик температури Тера ТСП-У-1-43-Pt100-А-3-500-10-М20х1,5-120-АХ-А12-/-50...250/ - Ехі	1	
12а	Фотодатчик Siemens QRA2	1	
13а, 14а	Реле тиску типу RT Danfoss	2	
7а, 8а	Клапан Honeywell V5011А у комплекті з електроприводом Honeywell ML7420А	2	
11б, 11в	Повітряна заслінка Honeywell V5421В1066 / клапан Honeywell V5011А з електроприводом Honeywell ML7420А	1	
9б, 10б	Заслінка/шибер з паралельними лопатями від Honeywell ZD24Х16TZ/U	2	
	<u>Прилади на щиті управління</u>		
ПК	Панельний комп'ютер Siemens IPC677D	1	
МПК	Контролер програмований WAGO PFC200 750-8212	1	
	Модуль аналогового вводу WAGO 750-455	1	4АІ
	Модуль аналогового виводу WAGO 750-559	1	4АО
	Модуль дискретного вводу WAGO 750-1400	1	16DІ
	Модуль дискретного виводу WAGO 750-1504	1	16DО

Додаток Б Документація до принципової електричної схеми контролю та керування

Таблиця Б.1 – Попередній перелік обладнання до принципових електричних схем

Поз. познач.	Найменування	К-ть	Прим.
	Монтажна шафа Rittal E302410CT		
	Монтажний короб 40 мм, пластик	8 м	
	<u>Прилади за місцем</u>		
SS-КМ1- SS-КМ6	Контактор Schneider TESYS К 3Р, 9А, НЗ, 220В гвинтовий затиск, LC1К0901М7	6	
SS-Q1- SS-Q6	Автоматичний трифазний вимикач Schneider GV2ME143	6	
ОВ-НА	Schneider Сирена $\sim=12/24В$, 2 ТОН. 106 дБ, XVS10BMW	1	
	<u>Прилади в щиті управління</u>		
SA-Q1	Автоматичний вимикач 6А SIEMENS 5SY5206-7	1	
SA-Q2	Вимикач Mitsubishi Electric CP-S Series CP-S 2P A1-M	1	
SA-Q3 - SA-Q4	Однофазний автоматичний вимикач 3А SIEMENS 5SY4103-7	2	
SA-T1	Трансформатор на DIN-рейку SIEMENS 4AV2106- 2EB00-0А	1	
F1-F3	Запобіжник з плавкою вставкою 6А TELEMECANIQUE DF2BA0600	3	
SA-K1- SA-K3	Реле проміжне, Weidmuller PS 35836971, 24В, (однорупне)	3	
SA- РЕСЕРТ	Розетка на DIN-рейку Hager SN016, 16А	2	
SA-G1- SA-G2	Блок живлення WAGO 2687-2146	2	
SA-X1	Клемна колодка на 60 позицій		
	<u>Прилади на щиті управління</u>		
ПК	Панельний комп'ютер Siemens IPC677D		
МПК	Контролер програмований WAGO PFC200 750-8212		
	Модуль аналогового вводу WAGO 750-455		4AI
	Модуль аналогового виводу WAGO 750-559		4AO
	Модуль дискретного вводу WAGO 750-1400		16DI
	Модуль дискретного виводу WAGO 750-1504		16DO

Позначення	Назва
BS	Датчик контролю наявності факелу
PS	Датчик-реле тиску
TEY	Датчик температури з уніфікованим перетворювачем
M1	Електропривід

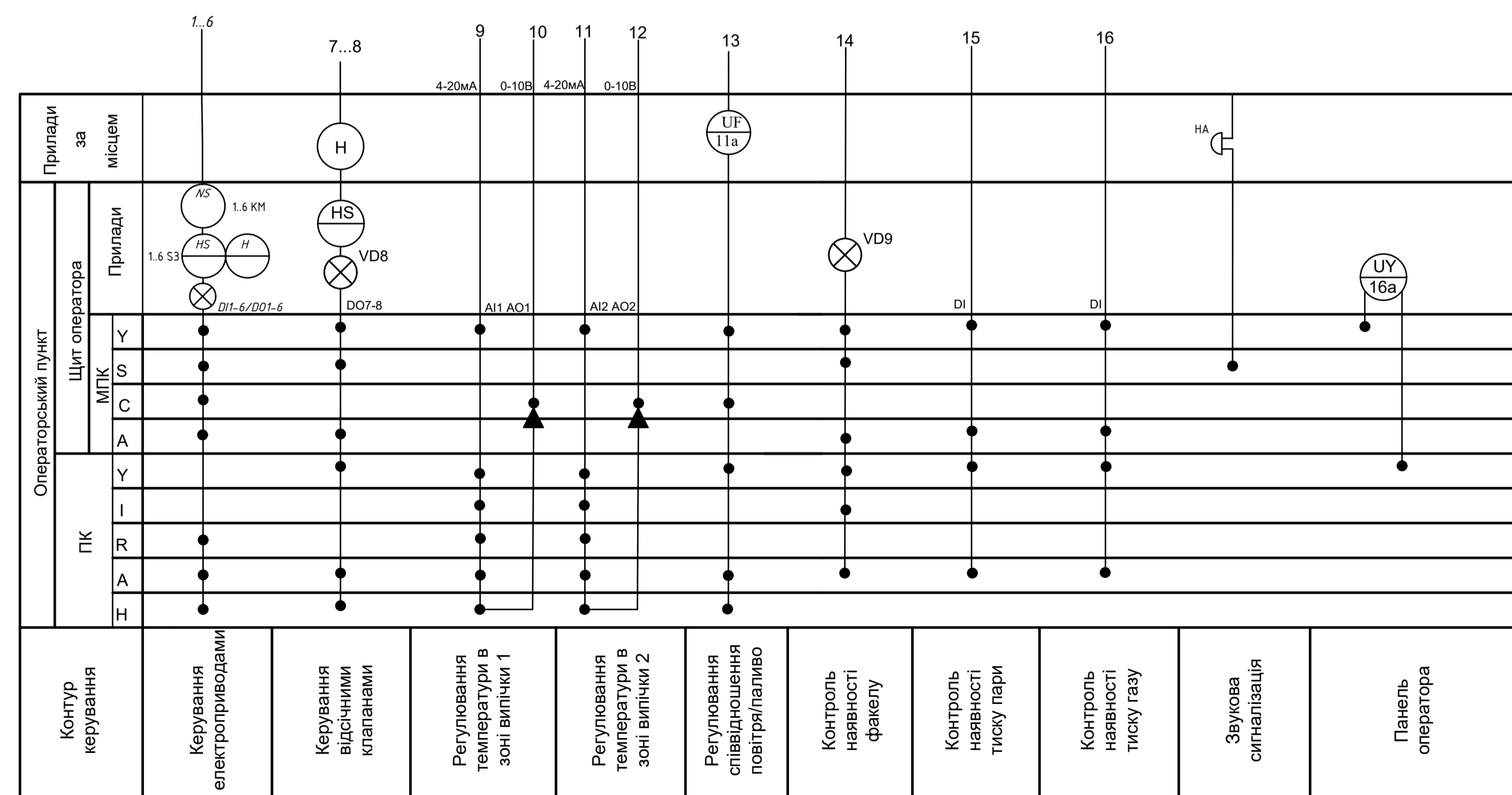
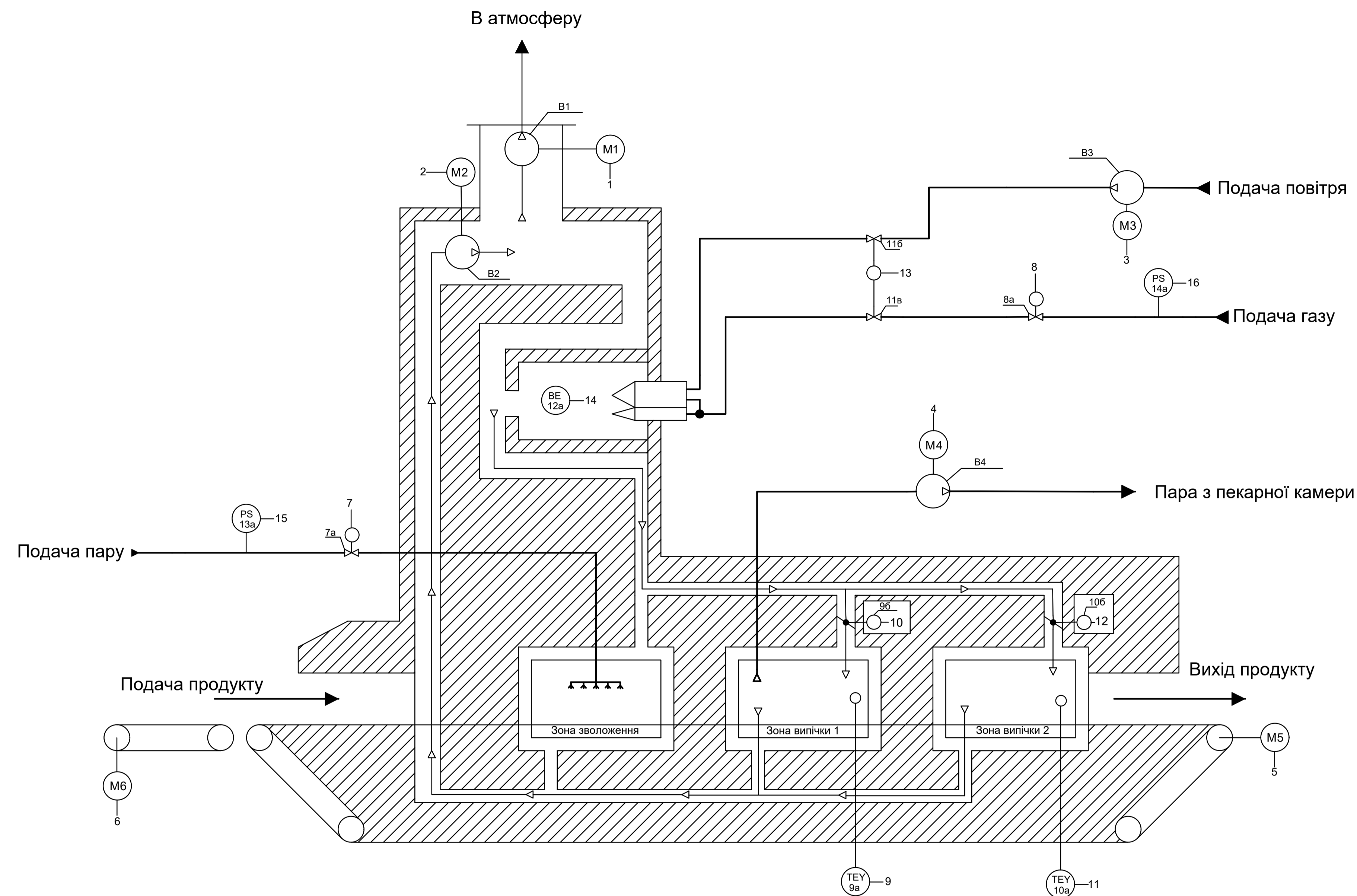


Рис. Д1.1 Схема автоматизації

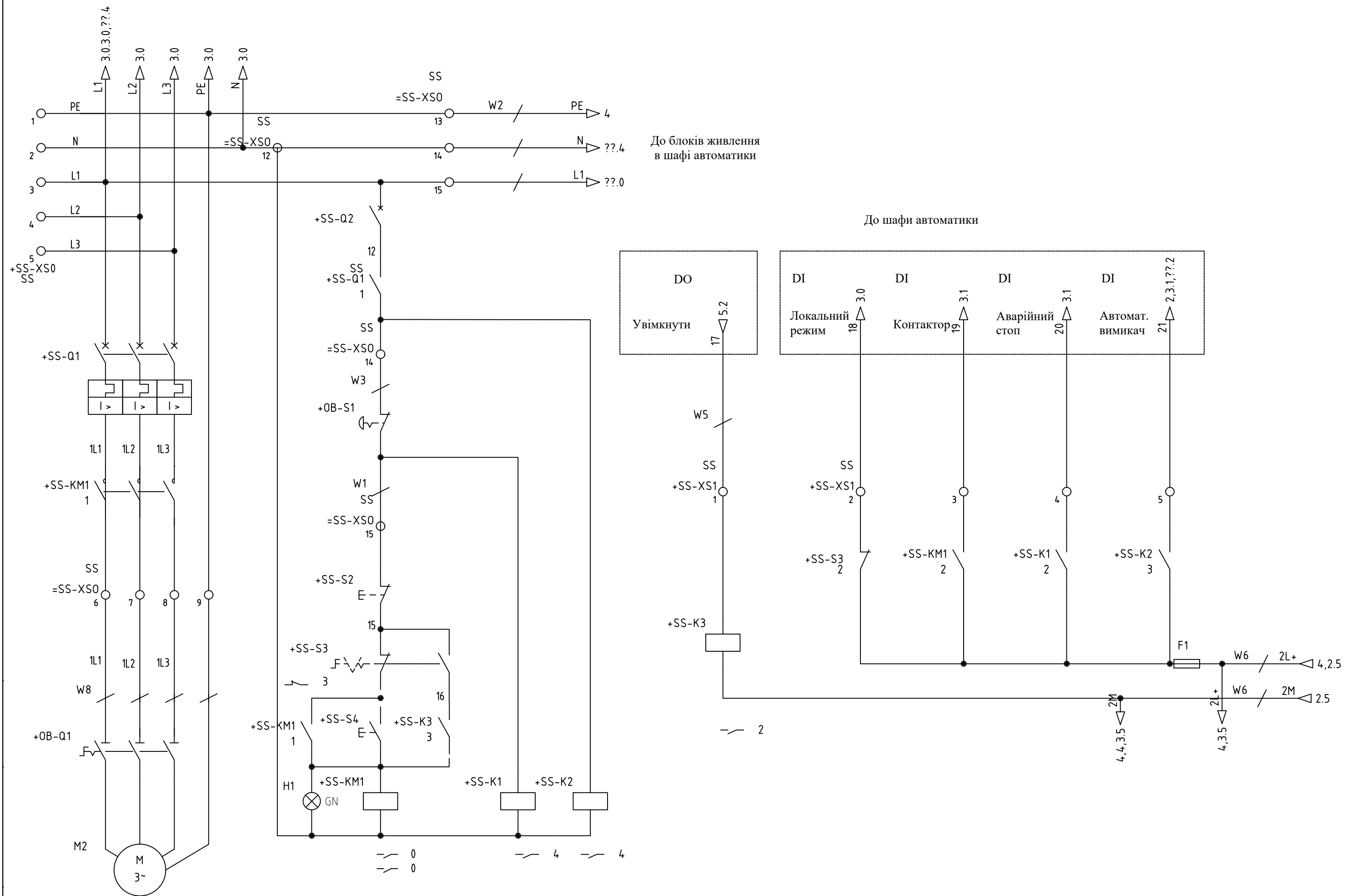


Рис. Д1.2 ПЕС електроприводу

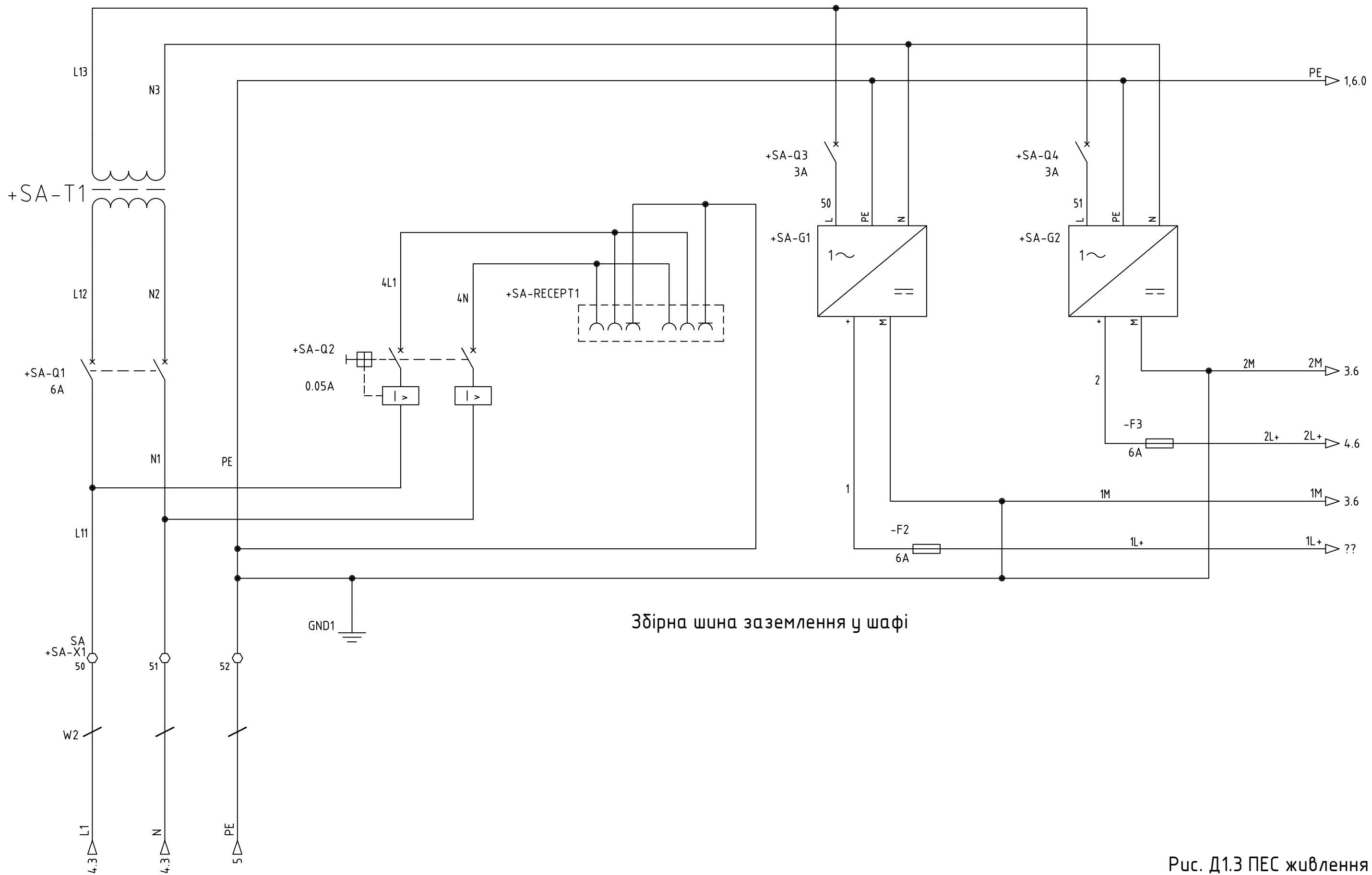


Рис. Д1.3 ПЕС живлення

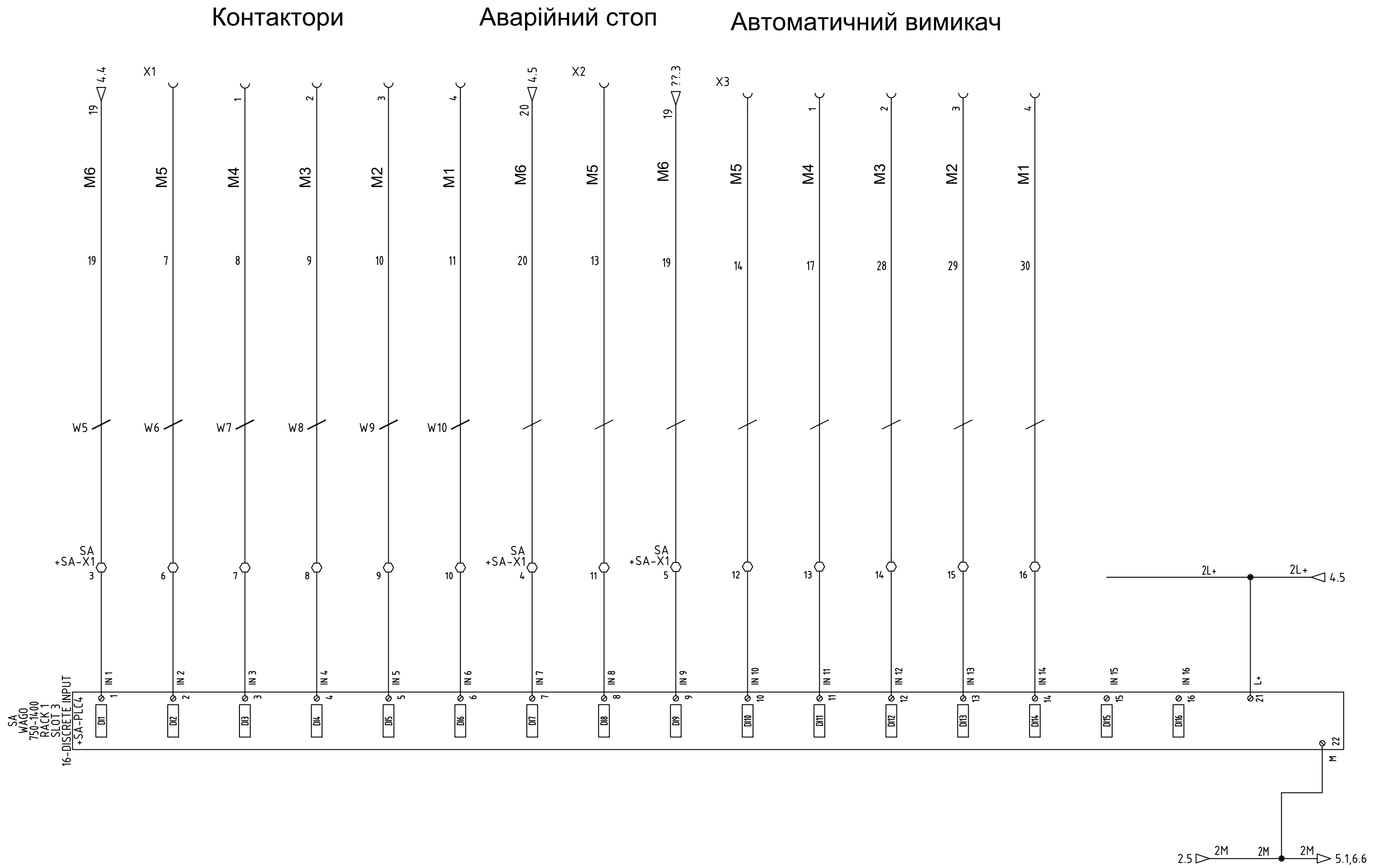


Рис. Д1.4 ПЕС вводу дискретних сигналів

Локальний режим

Датчики

Керування

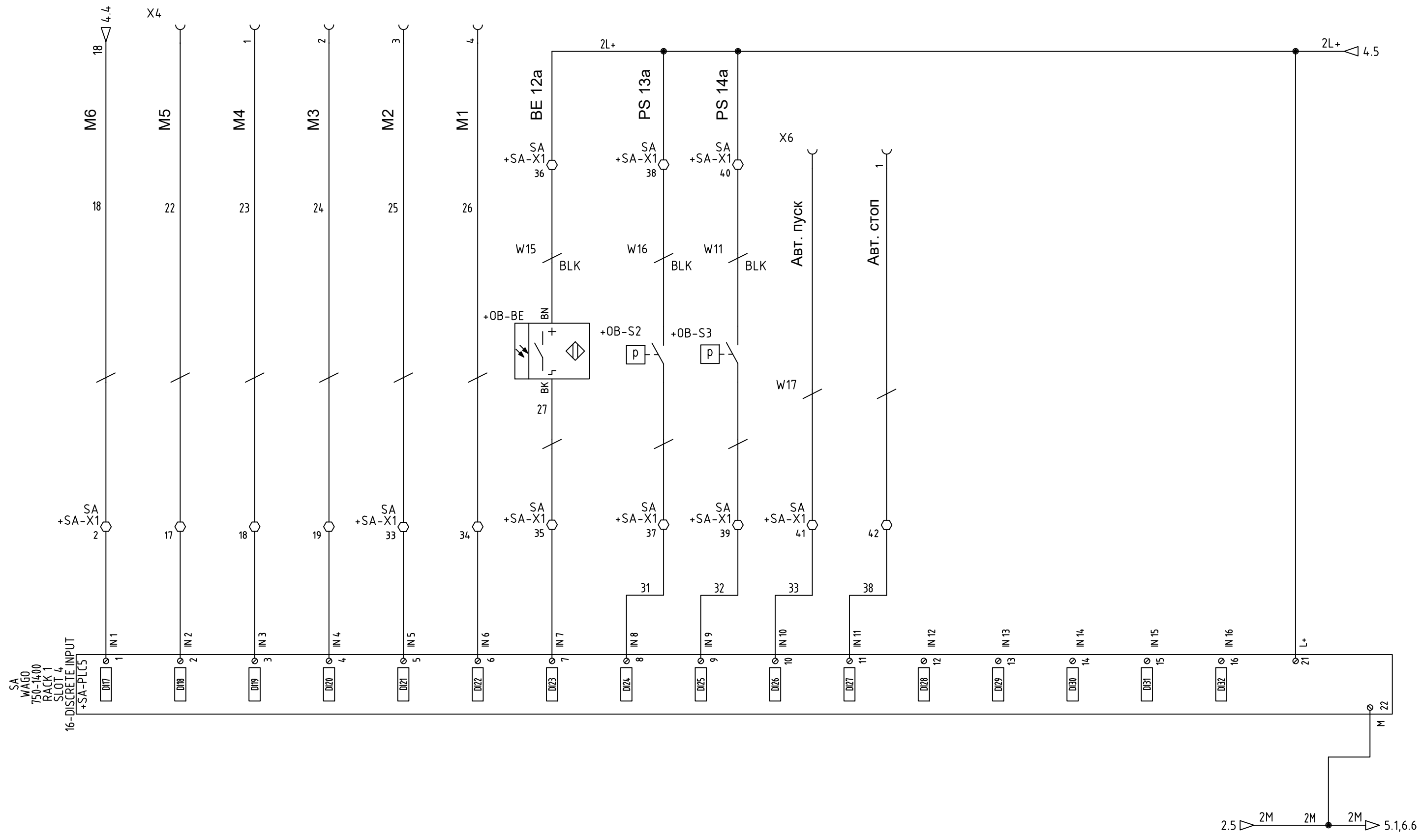


Рис. Д1.5 ПЕС вводу дискретних сигналів

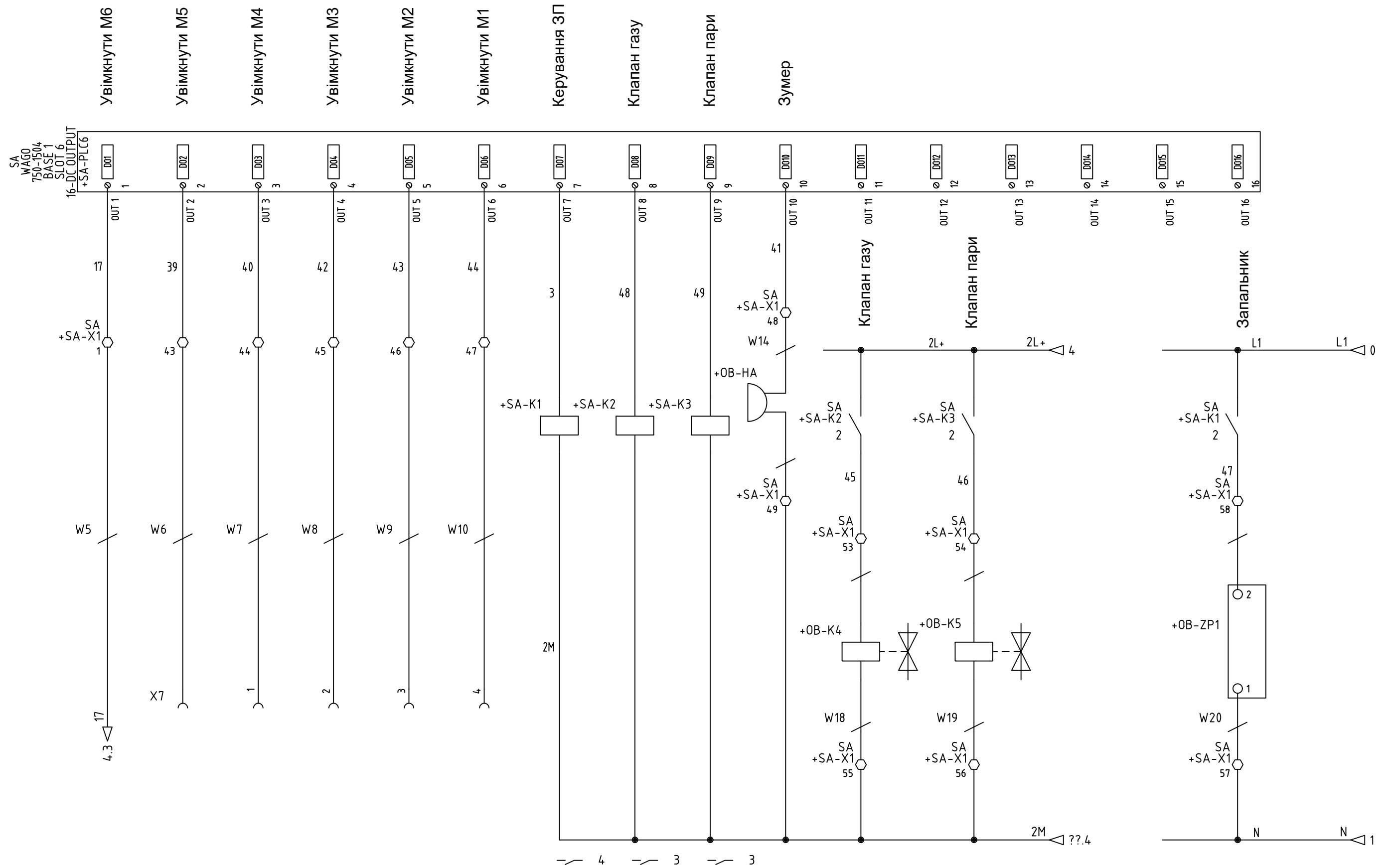


Рис. Д1.6 ПЕС виводу дискретних сигналів

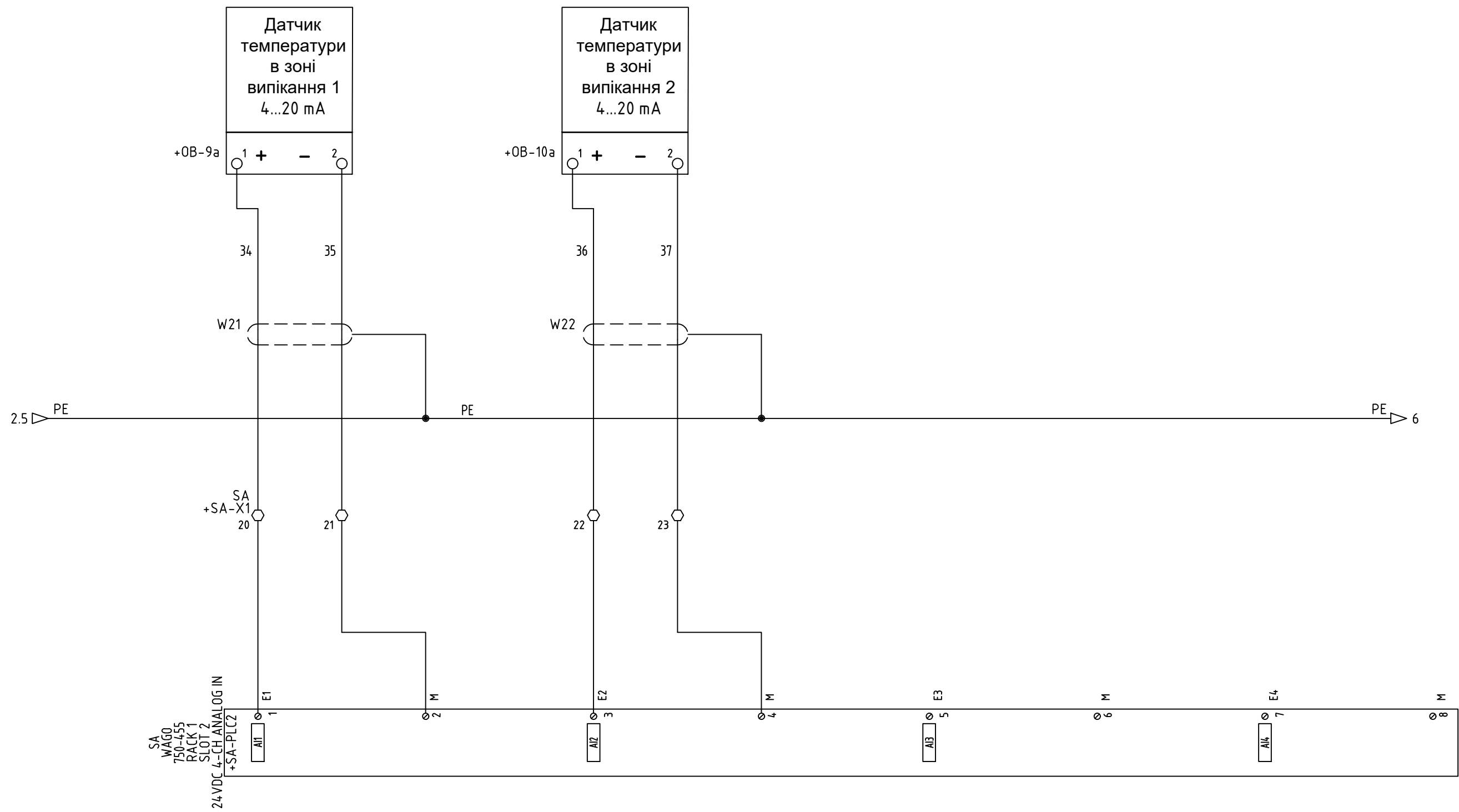


Рис. Д1.7 ПЕС вводу аналогових сигналів

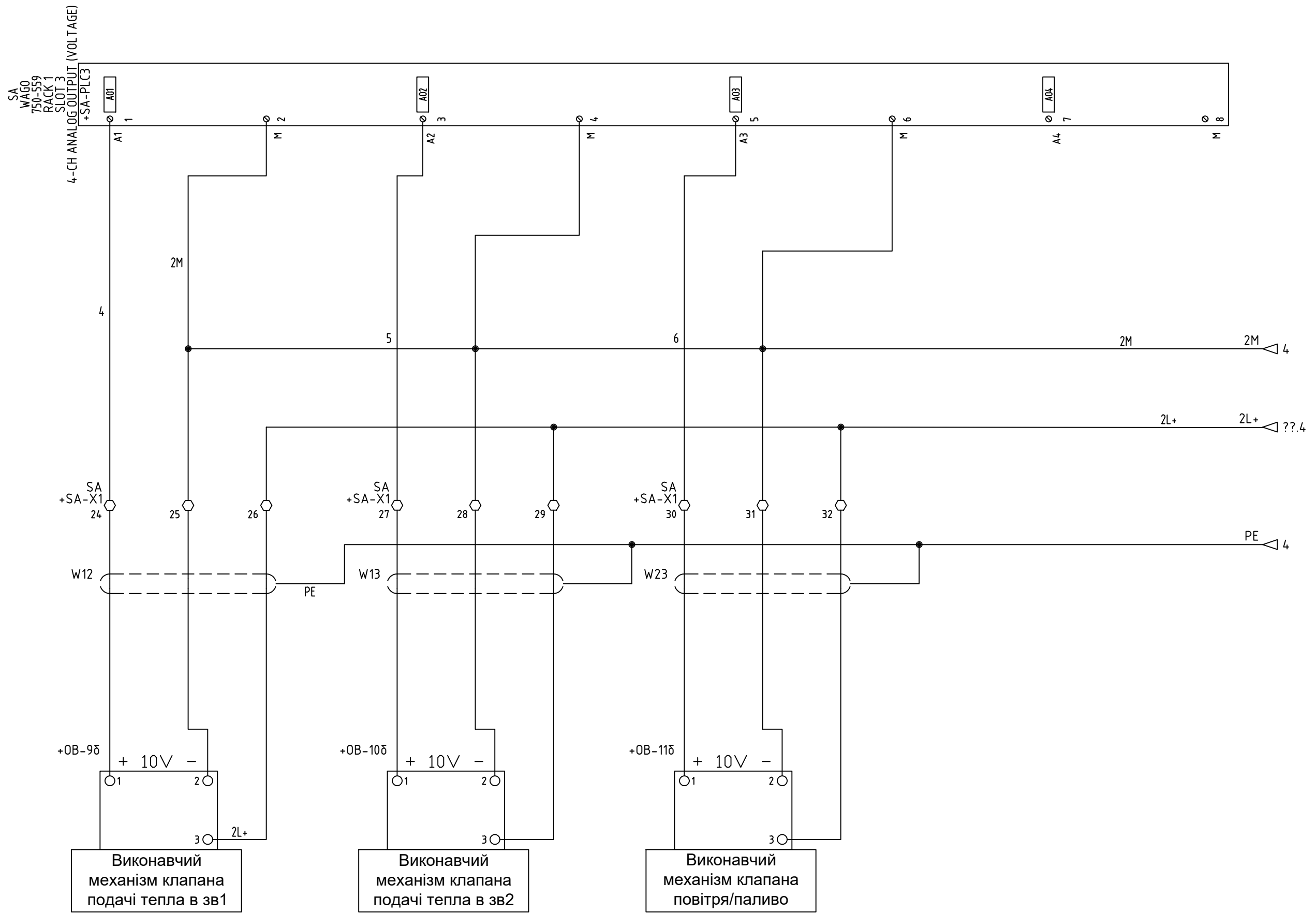


Рис. Д1.8 ПЕС виводу аналогових сигналів

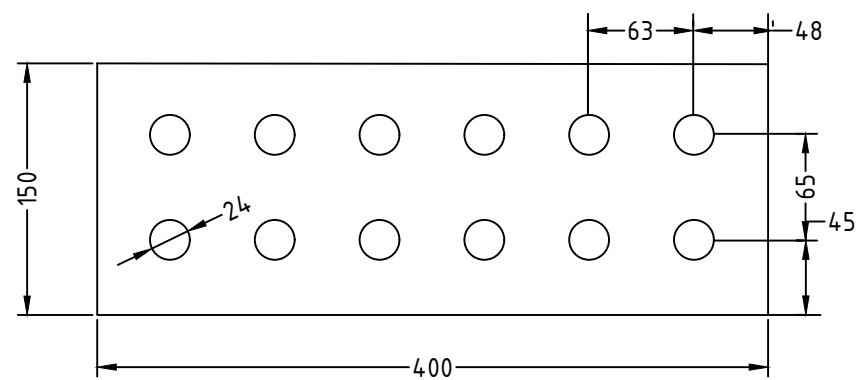
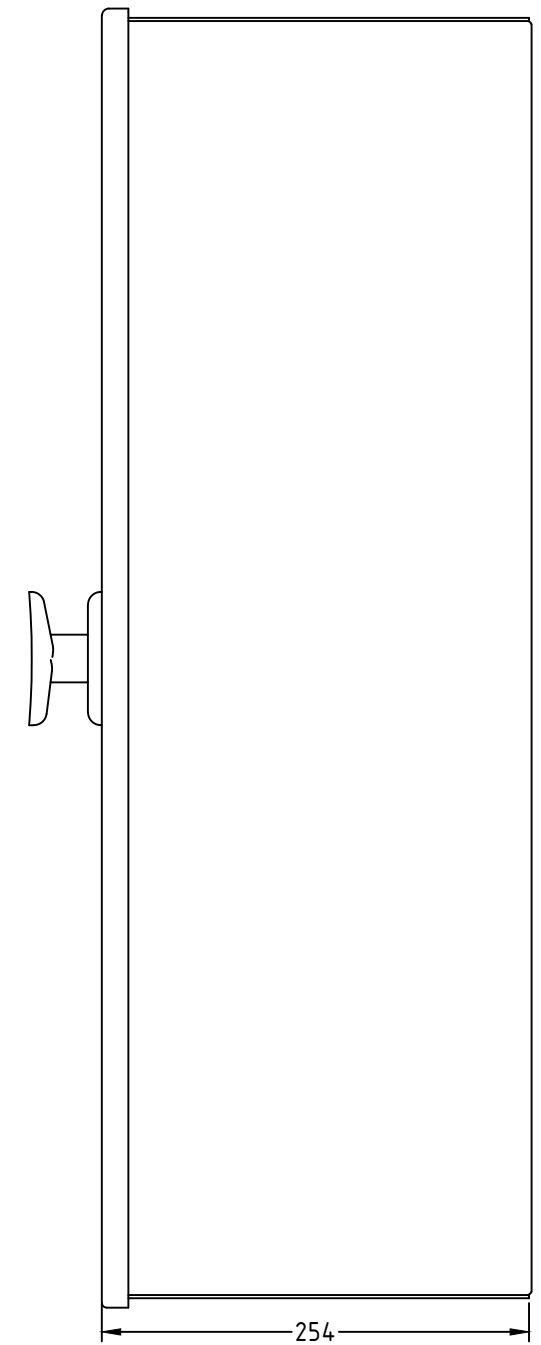
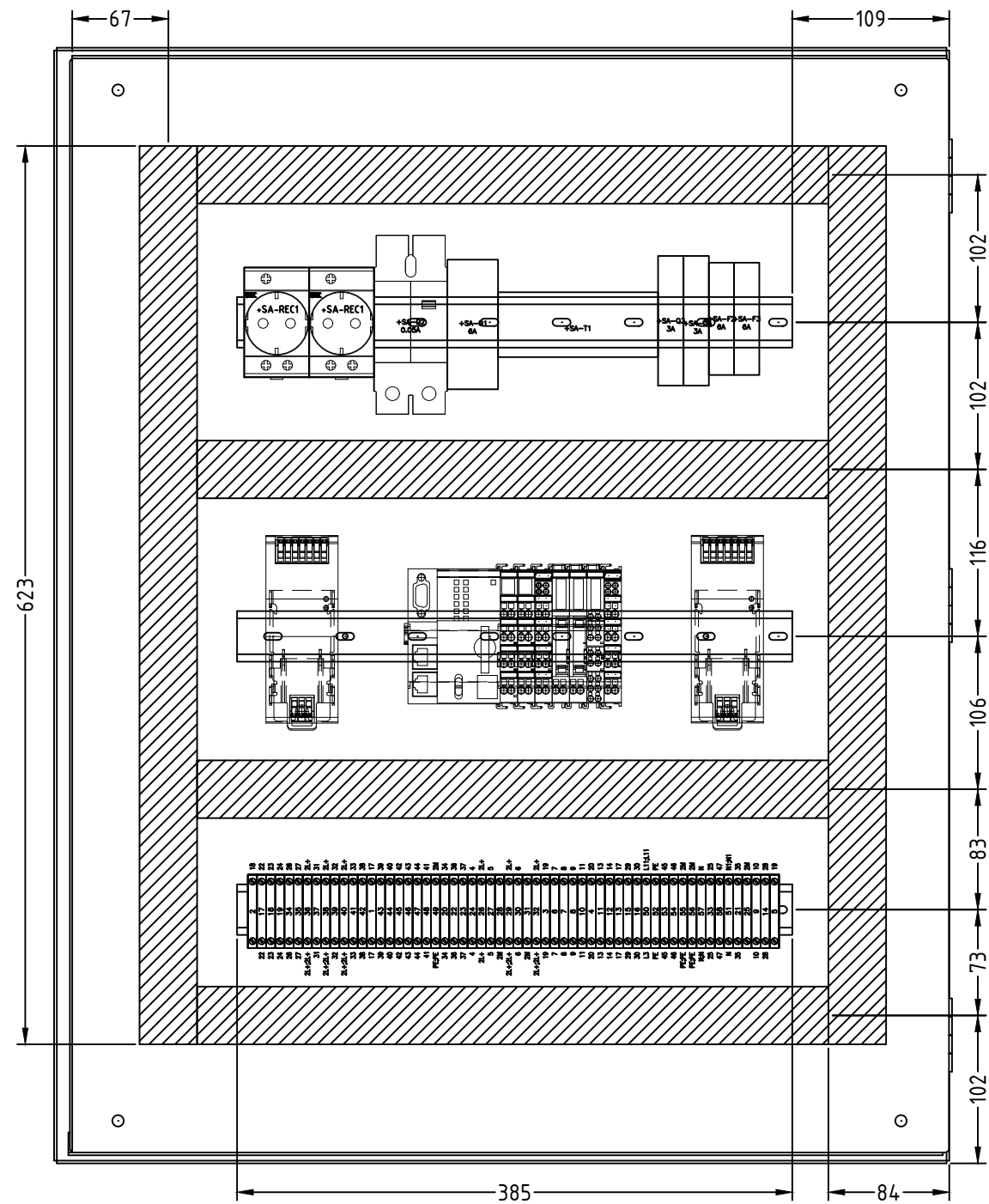
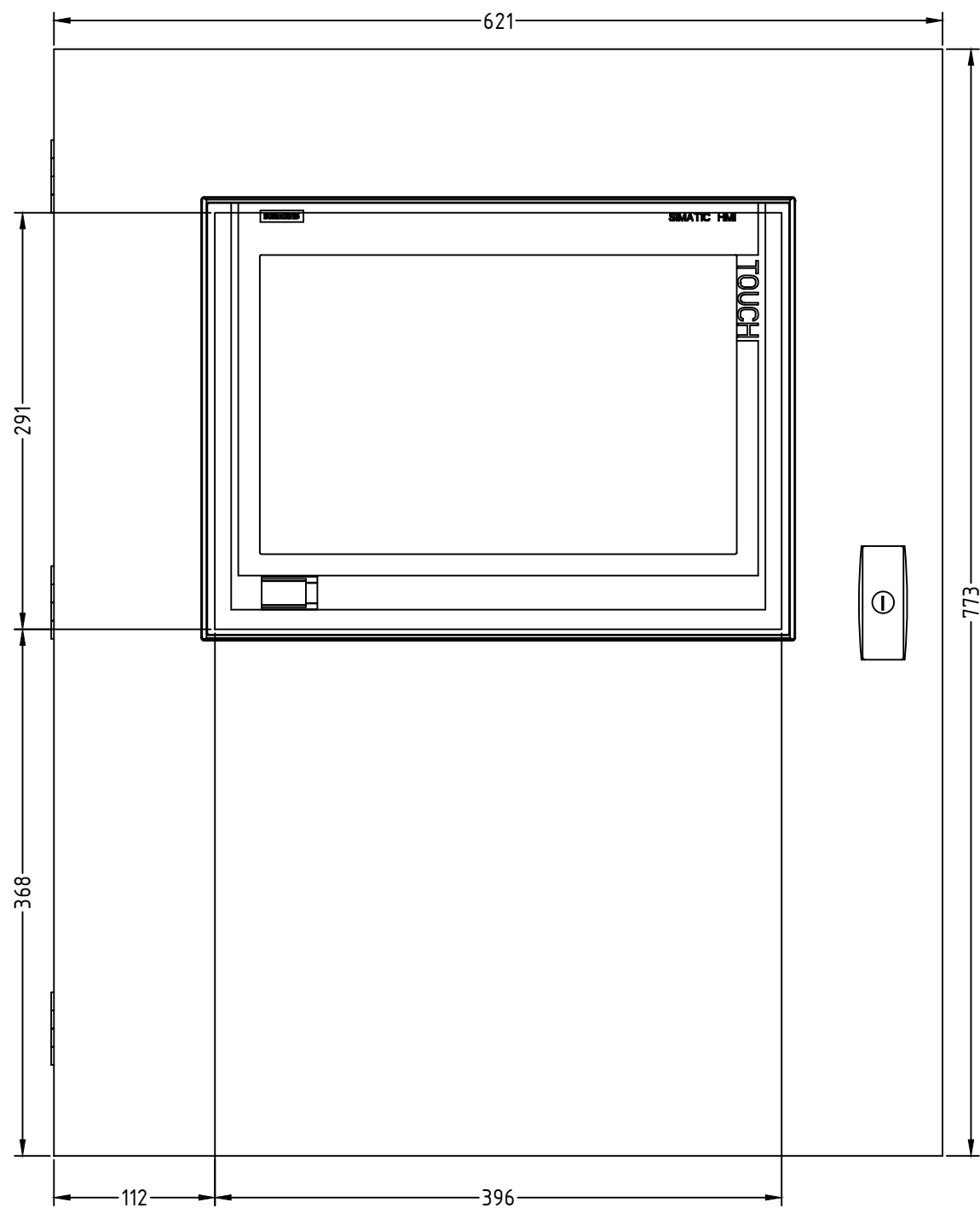


Рис. Д1.9 Компоновка шафи

НОМЕР ПРОВОДУ	ЗВІДКИ	КУДИ	ПРОВІД	ПРИМІТКА
2L+	X1:26	X1:29	RED_1.0mm ²	
2L+	X1:29	X1:32	RED_1.0mm ²	
2L+	X1:32	PLC4:21	RED_1.0mm ²	
2L+	PLC4:21	X1:36	RED_2.5mm ²	
2L+	X1:36	X1:38	RED_1.0mm ²	
2L+	X1:38	X1:40	RED_1.0mm ²	
2L+	X1:40	PLC5:21	RED_1.0mm ²	
2L+	PLC5:21	K2	RED_1.0mm ²	
2L+	K2	K3	RED_2.5mm ²	
3	PLC6:7	K1	RED_1.0mm ²	
4	PLC3:1	X1:24	RED_1.0mm ²	
4L1	Q2	RECEPT1	RED_1.0mm ²	
4L1	RECEPT1	RECEPT1	RED_1.0mm ²	
4N	Q2	RECEPT1	RED_1.0mm ²	
4N	RECEPT1	RECEPT1	RED_1.0mm ²	
5	X1:27	PLC3:3	RED_1.0mm ²	
6	X1:30	PLC3:5	RED_1.0mm ²	
7	X1:6	PLC4:2	RED_2.5mm ²	
8	X1:7	PLC4:3	RED_2.5mm ²	
9	X1:8	PLC4:4	RED_2.5mm ²	
10	X1:9	PLC4:5	RED_2.5mm ²	
11	X1:10	PLC4:6	RED_2.5mm ²	
13	X1:11	PLC4:8	RED_2.5mm ²	
14	X1:12	PLC4:10	RED_2.5mm ²	
17	X1:13	PLC4:11	RED_2.5mm ²	
17	PLC6:1	X1:1	RED_1.0mm ²	
18	X1:2	PLC5:1	RED_2.5mm ²	
19	X1:3	PLC4:1	RED_2.5mm ²	
19	X1:5	PLC4:9	RED_2.5mm ²	
20	X1:4	PLC4:7	RED_2.5mm ²	
22	X1:17	PLC5:2	RED_2.5mm ²	
23	X1:18	PLC5:3	RED_2.5mm ²	
24	X1:19	PLC5:4	RED_2.5mm ²	
25	X1:33	PLC5:5	RED_2.5mm ²	
26	X1:34	PLC5:6	RED_2.5mm ²	
27	X1:35	PLC5:7	RED_2.5mm ²	
28	X1:14	PLC4:12	RED_2.5mm ²	
29	X1:15	PLC4:13	RED_2.5mm ²	
30	X1:16	PLC4:14	RED_2.5mm ²	
31	PLC5:8	X1:37	RED_1.0mm ²	
32	PLC5:9	X1:39	RED_1.0mm ²	
33	PLC5:10	X1:41	RED_2.5mm ²	
34	X1:20	PLC2:1	RED_2.5mm ²	
35	X1:21	PLC2:2	RED_2.5mm ²	
36	X1:22	PLC2:3	RED_2.5mm ²	
37	X1:23	PLC2:4	RED_2.5mm ²	
38	PLC5:11	X1:42	RED_2.5mm ²	
39	PLC6:2	X1:43	RED_1.0mm ²	
40	PLC6:3	X1:44	RED_1.0mm ²	
41	PLC6:10	X1:48	RED_1.0mm ²	
42	PLC6:4	X1:45	RED_1.0mm ²	
43	PLC6:5	X1:46	RED_1.0mm ²	
44	PLC6:6	X1:47	RED_1.0mm ²	
45	K2	X1:53	RED_2.5mm ²	
46	K3	X1:54	RED_2.5mm ²	
47	K1	X1:58	RED_2.5mm ²	
48	PLC6:8	K2	RED_1.0mm ²	
49	PLC6:9	K3	RED_1.0mm ²	
50	Q3	G1:L	RED_1.0mm ²	

Рис. Д1.10 Таблиця з'єднань у шафі SA

НОМЕР ПРОВОДУ	ЗВІДКИ	КУДИ	ПРОВІД	ПРИМІТКА
S1	Q4	G2:L	RED_1.0mm ²	
L11	Q1	X1:50	RED_1.0mm ²	
L11	X1:50	Q2	RED_1.0mm ²	
L12	T1	Q1	RED_1.0mm ²	
L13	T1	Q3	RED_1.0mm ²	
L13	Q3	Q4	RED_1.0mm ²	
N	X1:51	X1:57	RED_2.5mm ²	
N1	Q2	X1:51	RED_1.0mm ²	
N1	X1:51	Q2	RED_1.0mm ²	
N2	T1	Q2	RED_1.0mm ²	
N3	T1	G1:N	RED_1.0mm ²	
N3	G1:N	G2:N	RED_1.0mm ²	
PE	X1:52	RECEPT1	RED_1.0mm ²	
PE	RECEPT1	RECEPT1	RED_1.0mm ²	
PE	RECEPT1	G1:PE	RED_1.0mm ²	
PE	G1:PE	G1:M	RED_1.0mm ²	
PE	G1:M	G2:PE	RED_1.0mm ²	
PE	G2:PE	G2:M	RED_1.0mm ²	
PE	G2:M	PLC4:22	RED_1.0mm ²	
PE	PLC4:22	PLC5:22	RED_2.5mm ²	
PE	PLC5:22	K1	RED_2.5mm ²	
PE	K1	K2	RED_1.0mm ²	
PE	K2	K3	RED_1.0mm ²	
PE	K3	X1:49	RED_1.0mm ²	
PE	X1:49	X1:55	RED_1.0mm ²	
PE	X1:55	X1:56	RED_2.5mm ²	

Рис. Д1.10 Таблиця з'єднань у шафі SA (закінчення)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ТИП КАБЕЛЮ	ПОПЕРЕЧНИЙ ПЕРЕРІЗ ЖИЛИ	ЗВІДКИ	НОМЕР КЛЕМИ	КУДИ	НОМЕР КЛЕМИ
W11	2А-1402	2,5кв. мм	SA	X1:39	QB	S3
W11		2,5кв. мм	SA	X1:40	QB	S3
W12		2,5кв. мм	SA	X1:26	QB	9Б:3
W12		2,5кв. мм	SA	X1:29	QB	10Б:3
W12		2,5кв. мм	SA	X1:25	QB	9Б:2
W12		2,5кв. мм	SA	X1:28	QB	10Б:2
W12		2,5кв. мм	SA	X1:24	QB	9Б:1
W14		2,5кв. мм	SA	X1:49	QB	HA
W14		2,5кв. мм	SA	X1:48	QB	HA
W15		2,5кв. мм	SA	X1:35	QB	BE:BK
W15		2,5кв. мм	SA	X1:36	QB	BE:BN
W16		2,5кв. мм	SA	X1:37	QB	S2
W16		2,5кв. мм	SA	X1:38	QB	S2
W18		2,5кв. мм	SA	X1:55	QB	K4
W18		2,5кв. мм	SA	X1:53	QB	K4
W19		2,5кв. мм	SA	X1:56	QB	K5
W19		2,5кв. мм	SA	X1:54	QB	K5
W20		2,5кв. мм	SA	X1:58	QB	ZP1:2
W20		2,5кв. мм	SA	X1:57	QB	ZP1:1
W21		2,5кв. мм	SA	X1:20	QB	9а:1
W21		2,5кв. мм	SA	X1:21	QB	9а:2
W22		2,5кв. мм	SA	X1:22	QB	10а:1
W22		2,5кв. мм	SA	X1:23	QB	10а:2
W23		2,5кв. мм	SA	X1:32	QB	11Б:3
W23		2,5кв. мм	SA	X1:31	QB	11Б:2
W23		2,5кв. мм	SA	X1:30	QB	11Б:1

Рис. Д1.11 Таблица підключень зовнішніх з'єднань