

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



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
на тему «Автоматизація процесу керування кондиціонуванням повітря на підприємстві «Інтерхім»»
(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача В.Є. Дубровський
(прізвище, ініціали)
__4__ курсу __А-40__ групи

Керівник проф. Хобін В.А.
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти:

Світий І.М., доц. каф. АТПіРС
(посада, прізвище та ініціали)

Левінський В.М., доц. каф. АТПіРС
(посада, прізвище та ініціали)

Степанов М.Т., доц. каф. АТПіРС
(посада, прізвище та ініціали)

Савенко І.І., проф. кафедри МіЛ
(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від «__» _____ 20__ р., протокол № ____

Завідувач(ка) кафедри АТПіРС _____
(назва кафедри) (підпис) Підпис

І.М. Світий
(ПБ)

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

«23» листопада 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувач Дубровський Владислав Євгенович

1. Тема роботи «Автоматизація процесу керування кондиціонуванням повітря на підприємстві «Інтерхім»»
2. Керівник кваліфікаційної роботи Хобін Віктор Андрійович, д.т.н. професор
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 | Хобін В.А., проф. каф. АТПіРС | | |
| Розділи 2, 3 | Хобін В.А., проф. каф. АТПіРС | | |
| Розділ 4 | Світій 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 Дубровський В.Є.

Керівник роботи Хобін В.А.

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

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

Здобувач Дубровський В.Є.

Прізвище, ініціали

Підпис

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра Дубровського Владислава Євгеновича «Автоматизація процесу керування кондиціонування повітря на підприємстві «Інтерхім»» викладена на 159 сторінках, кількість таблиць 22, рисунків – 162, додатків - 4, джерел з переліку посилань - 21.

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

Об'єкт розробки – система автоматичного керування процесом кондиціонування повітря.

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

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

Отримані результати – розроблені алгоритми керування, які забезпечують підвищення динамічної точності стабілізації регульованих змінних як в перехідних, так і в сталих режимах роботи 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 | 20 |
| Системи дистанційного моніторингу: для віддаленого контролю і управління системою через інтернет або локальну мережу..... | 22 |
| 1.3 Аналіз впливу функцій керування технологічним процесом на техніко економічні та екологічні показники. Конкретизація економічної та інших цілей модернізації САК..... | 22 |
| 1.4 Висновки за розділом..... | 22 |
| 2 Конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання | 23 |
| 2.1 Розробка концептуальної моделі (структурної схеми) об'єкта регулювання . | 23 |
| 2.2 Ідентифікація (розробка моделей) каналів перетворення об'єкта регулювання | 24 |
| 2.3 Ідентифікація математичних моделей збурень об'єкта регулювання | 32 |
| 2.4 Реалізація моделей на ПЕОМ і обґрунтування їх адекватності об'єкту | 34 |
| 2.5 Висновки за розділом..... | 45 |
| 3 Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР | 46 |
| 3.1 Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом..... | 46 |
| 3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури | 47 |

| | |
|---|----|
| 3.3 Структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності і її аналіз | 64 |
| 3.4 Висновки з розділу | 78 |
| 4 КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ І РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ..... | 80 |
| 4.1 Конкретизація задачі логічного керування технологічним процесом кондиціонування повітря..... | 80 |
| 4.2 Формалізація регламентів функціонування технологічного агрегату: запуском, технологічною зупинкою та зупинки у випадку нештатної ситуації технологічного процесу у вигляді блок-схем та їх опис | 81 |
| 4.3 Розробка алгоритмів автоматичного керування: запуском, технологічною та аварійною зупинкою (циклом роботи) технологічного агрегату у вигляді блок-схем та їх опис | 83 |
| 4.4 Розробка функціональної логічної схеми процесу керування технологічним агрегатом, з використанням типових символічних позначень логічних елементів, та її детальний опис | 87 |
| 4.5 Імітаційне моделювання системи логічного керування..... | 89 |
| 4.6 Висновки за розділом..... | 92 |
| 5 Вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі | 93 |
| 5.1 Характеристики середовищ, з якими взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал, які повинні бути враховані при виборі технічних засобів та місць їх розміщення | 93 |
| 5.2 Вибір технічних засобів збору інформації про хід технологічного процесу і стан обладнання..... | 95 |
| 5.3 Вибір технічних засобів реалізації керуючих дій на технологічний процес і керування обладнанням | 99 |

| | |
|--|-----|
| 5.4 Вибір альтернативних варіантів технічної структури і технічних засобів для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі..... | 101 |
| 5.5 Висновки за розділом..... | 107 |
| 6 Параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК..... | 108 |
| 6.1 Програмне конфігурування контролера та розробка програмного забезпечення системи керування в середовищі CoDeSys..... | 108 |
| 6.2 Програмна реалізація алгоритмів регулювання та їх тестування на моделі ОК. | 110 |
| 6.3 Програмна реалізація алгоритмів логічного керування..... | 114 |
| 6.5 Висновки за розділом..... | 120 |
| 7 Розробка SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК..... | 121 |
| 7.1 Конкретизація функцій і структури екранів АРМ оператора-технолога..... | 121 |
| 7.2. Розробка екранів АРМ оператора-технолога | 122 |
| 7.3. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ наладчика САУ..... | 133 |
| 7.4. Розробка екранів АРМ наладчика САК. | 134 |
| 7.5 Висновок за розділом..... | 135 |
| 8 Розробка фрагментів документації технічного забезпечення САК..... | 136 |
| та заходів з охорони праці | 136 |
| 8.1 Опис основних технічних рішень із побудови САК та склад документації її технічного забезпечення..... | 136 |
| 8.2. Розробка схеми автоматизації та специфікацій на технічні засоби системи | 136 |
| 8.3 Розробка принципів схем | 138 |
| 8.4 Розробка схем живлення..... | 139 |
| 8.5 Розробка монтажних схем або таблиць з'єднань у щиті оператора..... | 139 |
| 8.6 Охорона праці..... | 139 |
| 8.7 Висновки за розділом..... | 142 |

| | |
|--|-----|
| 9 Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК..... | 143 |
| 9.1 Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації за її обраним варіантом. | 143 |
| 9.2 Розрахунок змін основних показників діяльності підприємства, джерел інвестування й інвестиційної привабливості. | 143 |
| 9.3 Висновок за розділом..... | 145 |
| ВИСНОВОК..... | 146 |
| ЛІТЕРАТУРА..... | 147 |
| Додаток А..... | 150 |
| Додаток В..... | 152 |
| Додаток Б..... | 154 |
| Додаток Г..... | 157 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ

- АРМ – автоматизоване робоче місце;
- АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;
- ВП – випадковий процес;
- ДЦП – дискретно – цифровий перетворювач;
- ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;
- ЗА–засоби-автоматизації.
- ЗНВ – зона незначимих відхилень;
- КЗ – коригувальний зв'язок;
- ММ – математична модель;
- НС – найпростіша структура;
- ОК – об'єкт керування;
- ОПС – оптимальний параметричний синтез;
- ОР – об'єкт регулювання;
- ПЛК – програмований логічний контролер;
- ППЗС – передпускова звукова сигналізація;
- САК – система автоматичного керування;
- СІМ – система імітаційного моделювання
- СКЗ – спрощений коригувальний зв'язок.
- СП – стохастичний процес;
- СХ – стохастичні характеристики;
- ТА – технологічний агрегат;
- ТП – технологічний процес;
- ТП – технологічний процес;
- ФФ – формуючий фільтр;
- ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;
- ЦДП – цифрово-дискретний перетворювач;

ВСТУП

Задача автоматизації керування технологічним процесом (ТП) є актуальною, оскільки дозволяє підвищити його ефективність за рахунок удосконалення та розвитку алгоритмів та застосування сучасних технічних засобів в системі автоматичного керування (САК). Удосконалення алгоритмів САК передбачає, як мінімум, поліпшення (оптимізацію) налаштувань регуляторів. Розвиток алгоритмів САК передбачає використання додаткової інформації про хід технологічного процесу, що дає можливість доповнити існуючі алгоритми регулювання і створити нові структури САК, наприклад, які забезпечують інваріантність до зовнішніх впливів, автономність контурів регулювання та ін. В КРБ використовується САР з автономним контуром регулювання температури ваного повітря.

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 панелей оператора або комп'ютерів дозволяє створити робочі місця оператора-технолога та наладчика САК. А це дає можливість швидшого адаптування до зміни умов проведення ТП.

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

Основною метою кондиціонування повітря центральним кондиціонером є створення комфортних умов для проживання, роботи або виконання певних процесів у приміщенні. Це включає підтримку оптимальної температури та вологості, а також очищення повітря від шкідливих речовин, пилу або запахів. Крім того, кондиціонування повітря може бути важливим для збереження специфічних

умов у деяких індустріальних процесах або лабораторних установках. Спочатку вхідний потік матеріалів та енергії піддається підготовці до кондиціонування, яка може включати очищення від забруднень, далі підготовлене повітря подається до системи кондиціонування повітря, де воно проходить через різні компоненти, такі як охолоджувач, нагрівач, вентилятор та фільтри, після чого потрапляє до приміщення. Охолоджувач відводить тепло, знижуючи температуру повітря щоб осушити його, а нагрівачі підігрівають його до необхідного рівня. Вентилятори забезпечують циркуляцію повітря, а фільтри очищують його від забруднень. Витяжку повітря з приміщень забезпечує витяжний кондиціонер у внутрішньому виконанні. А для забезпечення надлишкового тиску, для чистоти приміщення, нагнітаючий вентилятор потужніший за витяжний.

Автоматизація системи керування дозволять програмувати параметри кондиціонування повітря відповідно до потреб приміщення та зовнішніх умов. Це забезпечує постійний контроль та регулювання параметрів повітряного середовища для забезпечення комфорту працівників, потреб виробництва та оптимізації витрат енергії.

Підвищення техніко-економічних та екологічних показників функціонування керування кондиціонування повітря , які досягаються за рахунок підвищення динамічної точності контурів САК, зниження числа аварійних ситуацій, покращення взаємодії з оператором-технологом, саме цьому і присвячена ця дипломна робота.

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 становлення «ІнтерХім»:

11 грудня 1992 – Створення ВАТ «Спільне україно-бельгійське хімічне підприємство «ІнтерХім».

1993 – початок виробництва фармацевтичних субстанцій та хімічних реактивів на базі дослідного виробництва Фізико-хімічного інституту ім. О. В. Богатського Національної академії наук України. Укладено перші контракти на експорт продукції в Швейцарію, Францію і Бельгію.

1996 – Розпочато промислове виробництво субстанції Аміксина. В Одесі відкрито першу аптеку «ІнтерХім».

2002 – Початок будівництва ділянки з виробництва готових лікарських засобів (ГЛЗ). Завод будувався з нульового циклу з дотриманням правил належної виробничої практики (GMP).

2003 – Введення в експлуатацію ділянки з виробництва ГЛЗ. У серпні 2003 року випущена перша таблетка - серія №0010803

2004 – Компанія «ІнтерХім» визнана переможцем у IV Всеукраїнському конкурсі на звання «Кращий роботодавець року».

2005 – Відкрита науково-дослідна технологічна лабораторія «ФормулаБ», створена спільно з фірмою «Меггле», Німеччина. Виведений на ринок вітчизняний препарат Аміксин® ІС.

2007 – Введена в експлуатацію друга лінія дільниці з виробництва ГЛЗ. Проведена сертифікація виробництва ГЛЗ на відповідність вимогам GMP.

2008 – За результатами Всеукраїнського конкурсу фармацевтичної галузі «Панацея-2008». Аміксин® ІС був визнаний Препаратом року в категорії безрецептурних препаратів.

2009 – За результатами конкурсу «Панацея-2009» «ІнтерХім» визнаний Компанією року.

2010 – Генеральний директор ТДВ «ІнтерХім» А. С. Редер (к. х. н.) зі співавторами були удостоєні премії ім. А. І. Кіпріанова НАН України «За видатні наукові праці в галузі органічної хімії, хімії високомолекулярних сполук та хімічної технології» за цикл робіт «Снодійне і анксиолітичний засіб Левана (ціназепам). Розробка, властивості, впровадження». Завершено будівництво гуртожитку для працівників підприємства.

2011 – За результатами конкурсу «Панацея-2011» ТДВ «ІнтерХім» визнана найбільш динамічно зростаючою вітчизняною компанією-виробником лікарських препаратів. Також підприємство отримало Диплом переможця Одеського обласного Регіонального туру Всеукраїнського рейтингу «Сумлінні платники податків-2011».

2012 – Розпочато будівництво нового виробничо-лабораторного комплексу. 19 січня 2012 відбулося свято «Перша паля». Інноваційний препарат «Левана ІС» став лауреатом Всеукраїнського конкурсу якості продукції «100 кращих товарів України».

2013 – Вперше в Україні зареєстрований морфін у таблетках виробництва «ІнтерХім». «Аміксин® ІС» і «Гідазепам ІС ®» були визнані «Препаратами року» на конкурсі «Панацея-2013».

2015 – Генеральний директор ТДВ «ІнтерХім» А.С. Редер удостоєний звання почесного професора ОНУ ім. Мечникова. «ІнтерХім» визнаний «Лідером галузі - 2015» за підсумками Національного бізнес-рейтингу за сумою показників фінансово-господарської діяльності, а також у категорії "Інвестиційна привабливість "[2]».

«Кондиціонування повітря - створення і підтримка одного або декількох параметрів повітряного середовища (температури, відносної вологості, складу, швидкості руху і тиску повітря), найсприятливіших для роботи персоналу, обладнання і приладів [3]».

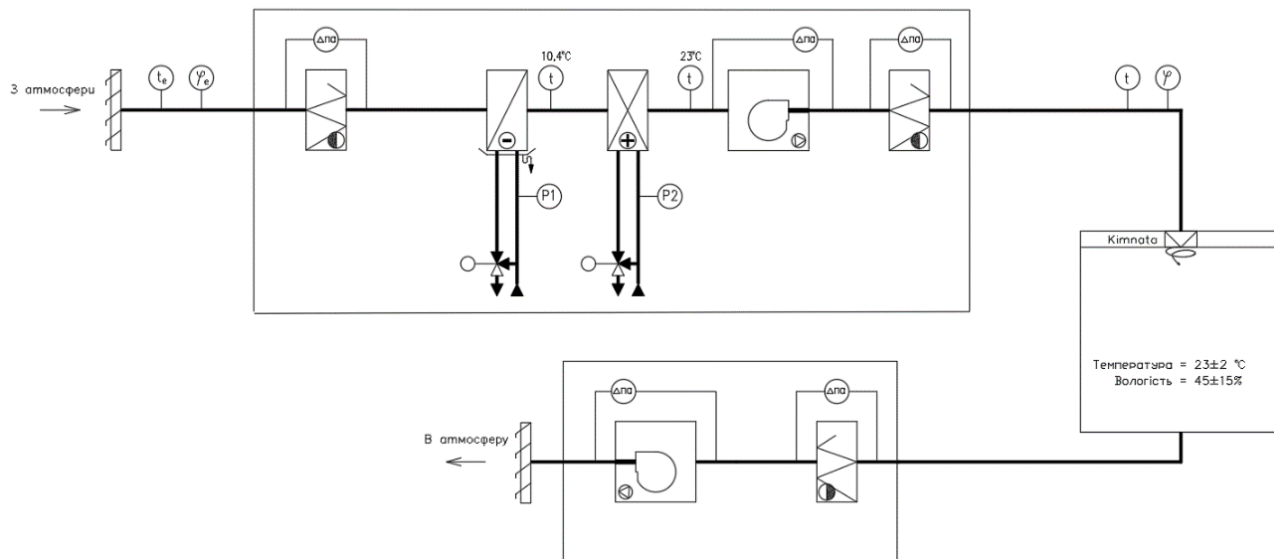


Рис. 1.1 – Технологічна схема процесу

Умовні позначення:

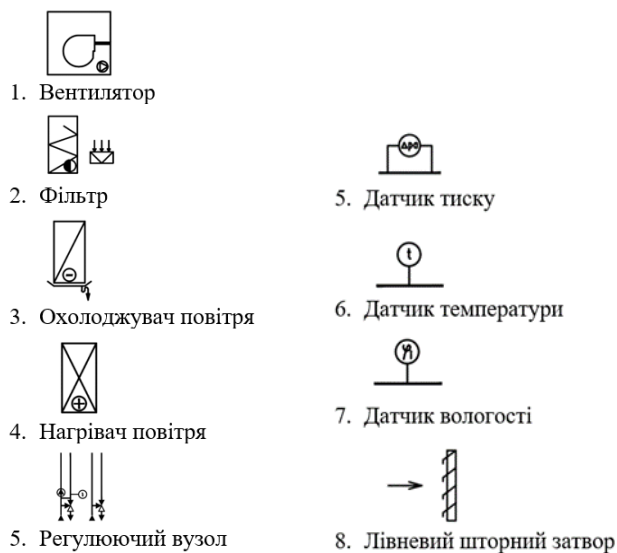


Рис. 1.2 – Роз'яснення до Технологічної схемі процесу

Кондиціонер має підготувати повітря з температурою $T_n = 23 \text{ }^\circ\text{C}$, та відносною вологістю $\varphi = 45\%$. Для досягнення заданої відносної вологості використовується охолодження повітря за допомогою водяного теплообмінника (охолоджувач) який має охолодити повітря згідно I-D діаграмі (рис. 1.2) до точки

роси (100% відносної вологості), щоб вологовміст d становив 8,4 г/кг, цьому параметру відповідає температура $T_0 = 10,4$ °С.

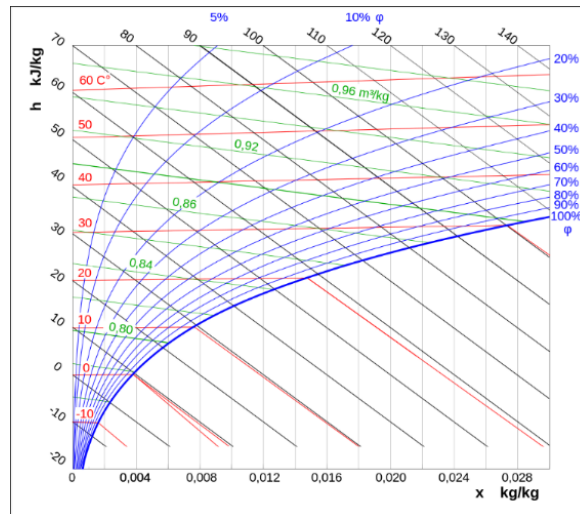


Рис. 1.3 – i - d -діаграма вологого повітря (h – ентальпія, x – вологовміст)

Підготовку повітря забезпечує кондиціонер, розташований у внутрішньому приміщенні венткамери. Система використовує 100% свіжого повітря, транспортування повітря відбувається за допомогою вентилятора з назад загнутими лопатками. Перший ступінь фільтрації класу F5, охолодження повітря за допомогою водяного теплообмінника до температури $T_0 = 10,4$ °С, нагрів повітря за допомогою водяного теплообмінника до температури $T_H = 23$ °С, другий ступінь фільтрації класу F9, після цього повітря потрапляє у приміщення. Витяжку повітря з приміщень забезпечує витяжний кондиціонер у внутрішньому виконанні, розташований у венткамері. Установка складається з наступних частин: фільтрація відпрацьованого повітря класу G4, вентилятор з назад загнутими лопатками.

Важливо зазначити, щоб підтримувати тиск для чистоти приміщення нагнітаючий вентилятор бідьш потужний ніж витяжний.

Технологічна карта

Температура повітря в приміщенні +21... +25°C

Вологість повітря в приміщенні 30-60%

Необхідна потужність системи 2200...2100м3/год

Ступінь очищення повітря до 95%

Температура підігрівача до +87/60°C

Температура охолоджувача до $+5/9^{\circ}\text{C}$

Для кожного окремого випадку необхідно цілеспрямовано підібрати потрібний тип установки. В підборі установки потрібно реально уявляти затрати, це наприклад, правильний підбір енергоносія для теплообмінника системи нагріву повітря і т. ін. Потрібно також правильно представляти собі ситуацію поломки системи та при необхідності застосувати її дубляж.

Особливості експлуатації технологічного агрегату включають регулярне технічне обслуговування, забезпечення оптимальних умов експлуатації, належне налаштування системи керування та постійний моніторинг роботи для вчасного виявлення будь-яких несправностей або відхилень в роботі.

Для забезпечення виробничого приміщення повітрям з заданими параметрами використовується промисловий кондиціонер з двома теплообмінниками. Прикладом такого кондиціонера може слугувати компактна установка підготовки повітря GEA CAIRplus SX, що будується за блочно-модульним принципом



Рисунок 1.4 – Вигляд промислового кондиціонера GEA CAIRplus SX

Основні технічні характеристики установки GEA CAIRplus SX

Витрати повітря: $L \text{ m}^3/\text{ч} = 2.200 \dots 2100 L_H 100\%$

Статичний корисний тиск: 400...600 Па;

Звуковий тиск в 1м: 47,2...56,8 дБ;

Номінальна потужність двигунів: 2 X 420 Вт;

Загальний максимальний струм: 2 X 2,8 А;

Максимальна загальна споживана потужність: 2 X 0,6 кВт;

Питома потужність вентилятора: 940 Вт / (м³/с);

Мета ведення процесу кондиціонування повітря – отримання заданої температури та відносної вологості кондиціонованого повітря, що подається до приміщення. При промисловому виробництві досягнення мети може бути виправдано тільки тоді, коли технологічний процес має сенс реалізувати, коли виконується цілий ряд вимог до технологічного процесу. Технологічний процес кондиціонування повітря доцільно реалізовувати, якщо:

- є запас гарячої води на 1 годину роботи установки;
- є мінімально припустимий тиск у трубопроводі холодної води навколишнього середовища;
- є мінімально припустимий тиск гарячої води;
- повинна бути електроенергія в колах електричного живлення вентиляторів із середньостатистичними параметрами мережі.

Технологічний процес кондиціонування повітря є тепломасообмінним процесом, пов'язаним з теплообміном та вологообміном повітря. Проведемо параметризацію технологічної схеми. Результати параметризації наведені на рис. 1.4.

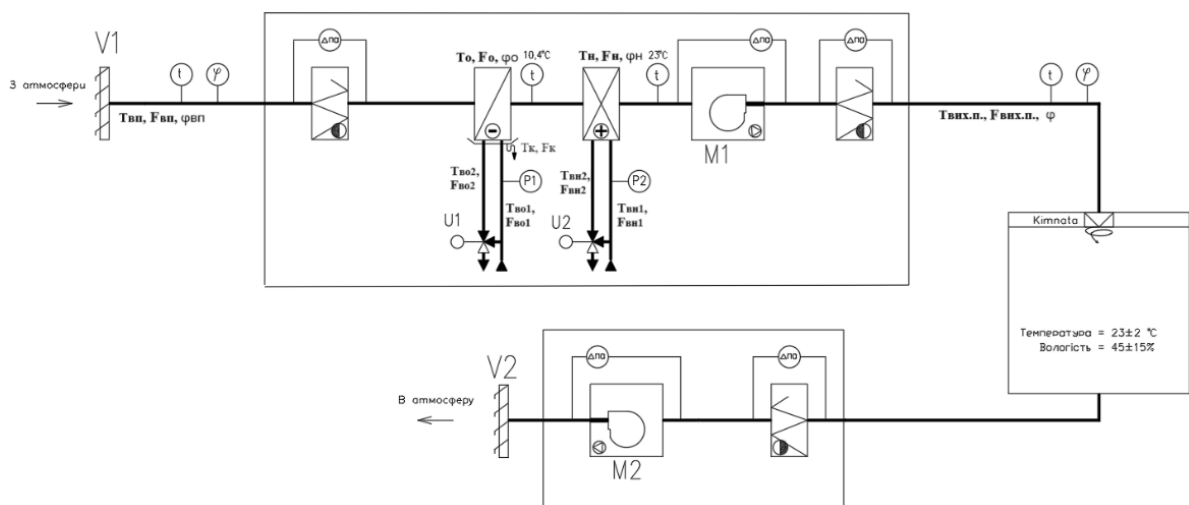


Рис. 1.5 – Параметризована схема технологічного процесу

$T_{вп}$ – температура вуличного повітря, °С;

- $F_{вп}$ – кількість вуличного повітря, м³/год;
 $\varphi_{вп}$ – відносна вологість вуличного повітря, кг/м³;
 T_o – температура повітря на виході з охолоджувача;
 T_n – температура повітря на виході з нагрівача;
 $T_{вo1}$, $T_{вн1}$ – температура вхідного контуру теплообмінника, °С;
 $F_{вo1}$, $F_{вн1}$ – витрати води на вході в теплообмінник, м³/год;
 $T_{вo2}$, $T_{вн2}$ – температура вихідного контуру теплообмінника, °С;
 $F_{вo2}$, $F_{вн2}$ – витрати води на виході з теплообмінника, м³/год;
 $T_{вих.п}$ – температура повітря на вході у приміщення, °С;
 $F_{вих.п}$ – витрати повітря на вході у приміщення, м³/год;
 φ – відносна вологість повітря на вході у приміщення, %;
 T_k – температура конденсата, °С;
 F_k – витрати конденсата, кг/год;
 U_1 , U_2 – положення регулюючого органу, %;
 V_1 , V_2 – положення регулюючого органу, вкл./викл.
 Основу нормативів складають три основних регламенти.

Технологічний регламент – визначає умови, при яких у результаті технологічного процесу виходить продукт із заданими властивостями. Він виявляє собою набір номінальних значень і допусків на відхилення від номіналів.

Основними параметрами технологічного регламенту є:

- а) температура повітря на виході з нагрівача T_n , а припустиме відхилення від заданого значення $\pm 2^\circ \text{C}$;
- б) – температура повітря на виході з охолоджувача T_o , а припустиме відхилення від заданого значення $\pm 1^\circ \text{C}$;

Експлуатаційний регламент: зазвичай до даного регламенту відносять параметри для нормальної безаварійної роботи апаратів. В рамках даного завдання такі параметри відсутні.

Техніко-економічний та екологічний регламенти: сюди входять параметри, які стосуються ефективності ведення технологічного процесу і його екологічності. В нашому випадку це - T_k , F_k , $F_{вн2}$, $T_{вн2}$, $F_{вих.п}$, $F_{во2}$, $T_{во2}$.

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

Відхилення параметрів технологічного процесу від регламентних значень призведе до зміни мікроклімату у приміщенні що в свою чергу може привести до дискомфорту працівників, до псування продукції або до неточності досліджень.

Табл. 1.1 – Таблиця регламентів

| № п/п | Найменування | Позначення | Одиниця | Номінальні значення | Допустимі відхилення від номіналу | | |
|----------|--|------------|---------|------------------------|--------------------------------------|----------|--------------|
| | | | | | Довготривалі | | Короткочасні |
| | | | | | Величина | Величина | Час |
| 1 | Температура повітря на виході з охолоджувача | T_o | °C | 10,4 | ±0,5 | ±1 | 100 с |
| 2 | Температура повітря на виході з нагрівача | T_n | °C | 23 | ±0,5 | ±2 | 100 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 і можуть бути (для зручності) згруповані за деякими ознаками.

Сировинні параметри: до цієї групи належать нерегламентовані характеристики вуличного повітря. До них віднесемо $T_{вп}$, $F_{вп}$, $f_{вп}$.

Енергетичні параметри: характеризують енергію, що підводиться до технологічного обладнання ззовні і витрачається на зміну властивостей продукту. Такими параметрами є $F_{во1}$, $T_{во1}$, $F_{во2}$, $T_{во2}$.

Механічні та інші параметри: Механічні параметри технологічного обладнання характеризують стан його робочих органів. До цієї групи параметрів віднесемо: $U1, U2, V1, V2$ – положення регулюючого органу;

Параметрична схема процесу кондиціонування повітря наведена на рис. 1.6.

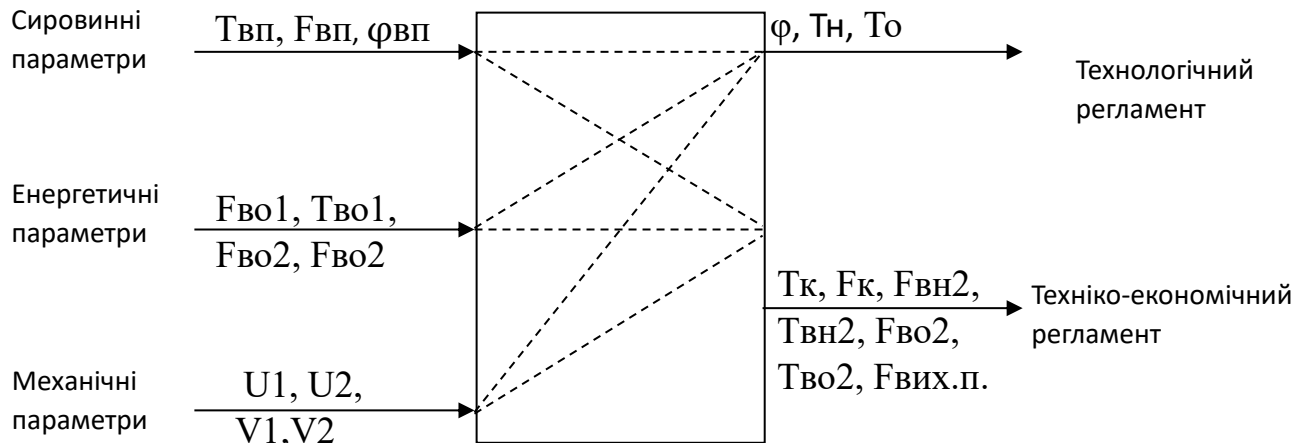


Рис.1.6 – Формалізована параметрична схема процесу кондиціонування повітря

Виходячи з того, що кількість регулюючих впливів повинне бути дорівнює кількості регульованих перемінних одержуємо, що в нашому випадку необхідно два регулюючі впливи.

Регульованими є температура та вологість у приміщенні. Відповідно до регламенту, температура після нагрівача T_n повинна бути $23 \pm 2 \text{ C}^\circ$, а відносна вологість ϕ повинна бути $45 \pm 15\%$, цей параметр залежить від температури повітря та вологовмісту який регулюємо за допомогою охолодження повітря, температура повітря на виході з охолоджувача T_o повинна бути $10,4 \pm 1 \text{ C}^\circ$, витрати повітря мають бути сталими для належної чистоти приміщення що забезпечується заміною повітря.

1.2 Аналіз існуючого рівня автоматизації ділянки ТП

На фармацевтичних підприємствах, таких як ІнтерХім, системи

кондиціонування повітря зазвичай мають високий рівень автоматизації. Це обумовлено необхідністю підтримання строгих умов для виробництва лікарських засобів, що відповідають міжнародним стандартам якості. Це дозволяє забезпечити: постійний контроль та підтримку необхідних умов виробництва, швидке реагування на будь-які відхилення, зниження операційних витрат завдяки ефективному використанню енергії, підтримку високих стандартів якості продукції.

Для автоматизації ТП кондиціонування повітря використовуються:

1. Датчики та сенсори

Температурні датчики: для вимірювання і контролю температури в різних зонах виробничих приміщень.

Вологоміри: для вимірювання і контролю рівня вологості.

Датчики тиску: для моніторингу тиску повітря в системі вентиляції.

Датчики якості повітря: для визначення рівня забруднення повітря, вмісту CO₂, летких органічних сполук та інших параметрів.

2. Системи керування

Програмовані логічні контролери (PLC): для управління та автоматизації всіх процесів кондиціонування повітря.

3. Інтерфейси людина-машина (HMI)

Сенсорні екрани та панелі управління: для зручного моніторингу та керування системою кондиціонування повітря.

4. Програмне забезпечення

Системи SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition): для моніторингу, збору даних, та управління процесами в режимі реального часу.

Платформи для аналітики та звітності: для збереження історичних даних, аналізу продуктивності системи, та створення звітів.

5. Системи сигналізації та оповіщення

Аварійні оповіщувачи та сигнальні системи: для негайного повідомлення персоналу про будь-які відхилення від нормальних умов.

Системи дистанційного моніторингу: для віддаленого контролю і управління системою через інтернет або локальну мережу.

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

Економічною метою роботи є підвищення якості регулювання регламентованих змінних та зменшення питомих витрат енергоресурсів при впровадженні модернізованої САК. Як результат, після модернізації САК кондиціонування повітря, очікується зменшення витрат води та електроенергії.

Ще один результат якого ми прагнемо досягти це більш швидке повернення о регламентованих значень.

Цього ми можемо досягти за допомогою зменшення часу перехідного процесу та ступеню коливальності САК.

1.4 Висновки за розділом

Провели опис та параметризацію ТП, після чого склали таблицю регламентів яка визначає основні параметри та режими роботи обладнання, а також формалізовану параметричну схему, яка наочно ілюструє взаємозв'язок між різними елементами системи. Наступним етапом роботи є аналіз існуючого рівня автоматизації та виявлення потенційних джерел економічної ефективності. На основі отриманих даних було виявлено кілька ключових напрямків для підвищення ефективності роботи системи.

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

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

Для задач регулювання управляючими діями, насамперед, є дії, що цілеспрямовано можуть змінювати витрати матеріальних і енергетичних потоків, а саме – положення регулювальних органів. Регулювання температур відбувається за допомогою регулювальних органів і керуючий вплив, буде виражено в % ходу регулюючого органу (% х.р.о.).

Отже виділимо два регулюючі впливи :

- u_1 – положення регулюючого органу, який регулює подачу холодної води до охолоджувача повітря;

- u_2 – положення регулюючого органу, який регулює подачу гарячої води до нагрівача повітря.

У процесі класифікації збурень не було виявлено таких, які доцільно віднести до контрольованих. Тому всі збурення було зведено до двох векторів неконтрольованих збурень f_1 та f_2

Структурна схема ОК є черговим і останнім етапом формалізації подання технологічного процесу як ОК.

Структурна схема ОК, по суті, є найбільш загальною (концептуальною) моделлю технологічного процесу як ОК. Структурна схема процесу кондиціонування повітря наведена на рис. 2.1.

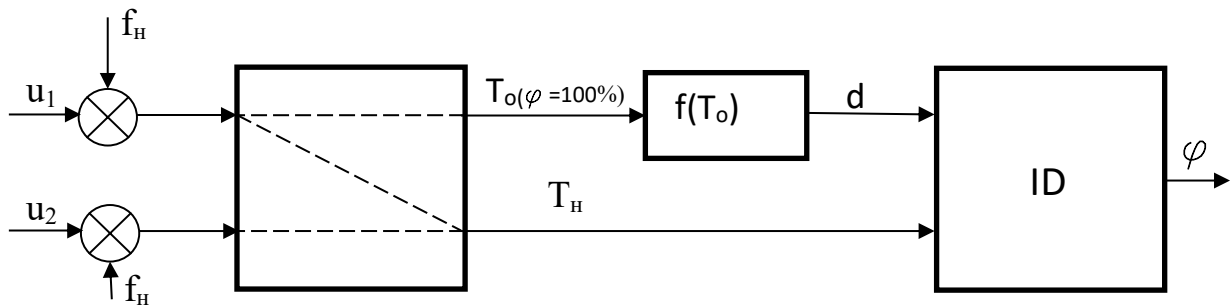


Рис.2.1 – формалізована координатна схема об'єкта регулювання.

u_1 – положення регулюючого органу витрат холодної води;

u_2 – положення регулюючого органу витрат гарячої води;

T_o – температура повітря на виході з охолоджувача;

T_H – температура повітря на виході з нагрівача;

d – абсолютна вологість повітря;

ID – математична модель діаграми вологого повітря;

φ – відносна вологість повітря;

f_H – вектор неконтрольованих збурень.

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

Для технологічного процесу кондиціонування повітря як за каналом управління ОК має властивість самовирівнювання, тому що технологічний процес є тепловим.

Збільшення керуючої дії U_1 призведе до зменшення температури.

Збільшення керуючої дії U_2 призведе до збільшення температури.

Виходячи з фізичної суті теплових процесів, що протікають в ОК, відомо, що відносно у повній мірі математично ці процеси можуть бути описані нелінійними диференційними рівняннями. Але також відомо, що номінальний режим функціонування ОК пов'язаний з порівняно вузьким діапазоном зміни температури повітря як регульованої координати. А в такому діапазоні процеси можуть бути

описані лінійними диференційними рівняннями, тобто припустимою є лінеаризація моделі ОК.

План активного експерименту

1. За допомогою зміни управляючих дій домагаємося значень регульованих координат, що перебували б в околицях їх номінальних значень. Для нашого ОК значенням $u_1 = 60$ %х.р.о. та $u_2 = 60$ %х.р.о. будуть відповідати значення регульованих координат $T_0 = 10,4^{\circ}\text{C}$, $T_H = 23^{\circ}\text{C}$.

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 наведені на рис. 2.2.

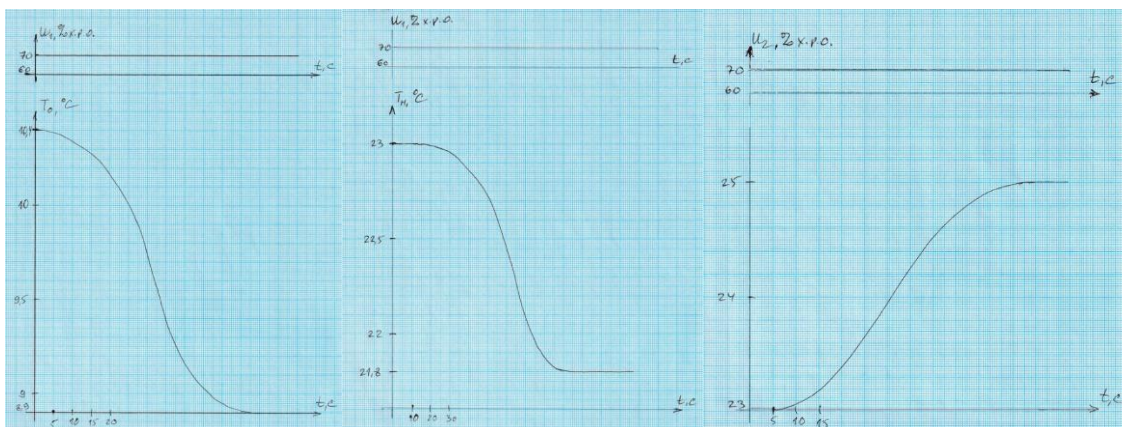


Рис. 2.2 – Результати активного експерименту

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

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

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

Для 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”.

«1 – T_0 »

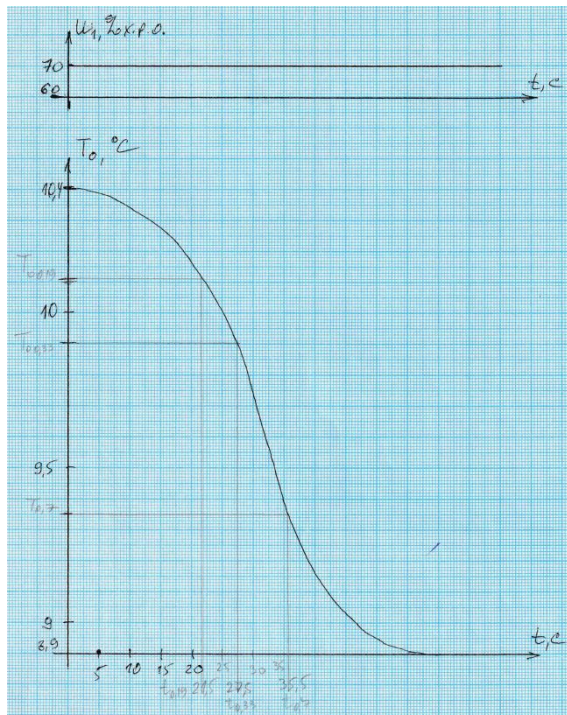


Рис. 2.3 – Параметрична ідентифікація моделі ОК

$$K_0 = \Delta T_0 / \Delta U_1 = (10,4 - 75) / 10 = -0,15 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}$$

Для моделі 1-го порядку

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

$$t_{0,33} = 27,5 \text{ с}; \quad t_{0,7} = 35,5 \text{ с.}$$

Тоді

$$\tau_0 = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 27,5 - 35,5) / 2 = 23,5 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau_0) / 1,2 = (35,5 - 23,5) / 1,2 = 10 \text{ с}$$

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

$$W_{U_1-T_0}^0(p) = \frac{-0,15 \cdot e^{-23,5p}}{10p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.3), знаходимо $t_{0,19}$.

$$t_{0,19} = 21.5 \text{ с}$$

Тоді

$$\tau_0 = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 21.5 - 35.5) / 2 = 14.5 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (35.5 - 14.5) / 2,4 = 8.75 \text{ с}$$

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

$$W_{U_1-T_H}^O(p) = \frac{-0,15 \cdot e^{-14,5p}}{(10p + 1)^2}$$

«u1 – TH»

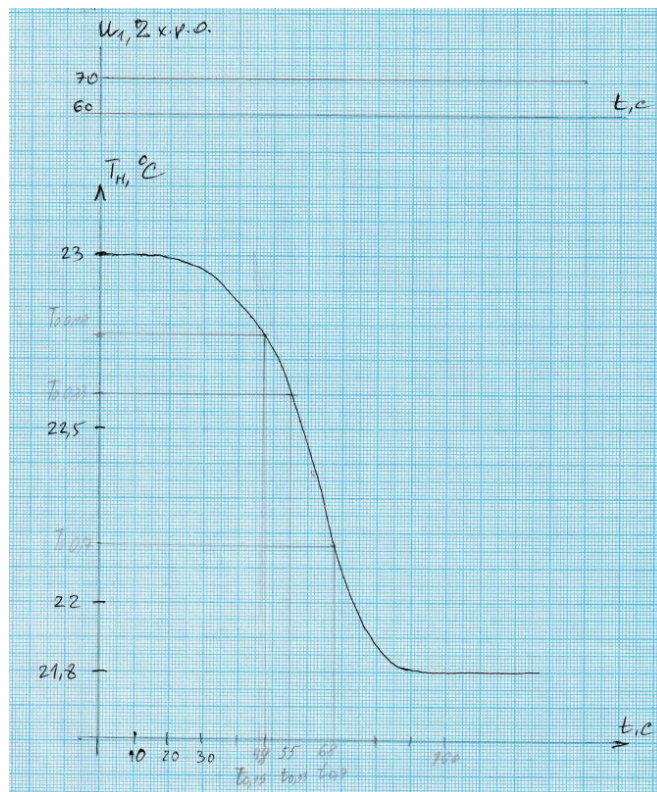


Рис. 2.4 – Параметрична ідентифікація моделі ОК

$$K_0 = \Delta T_H / \Delta U_1 = (21,8 - 23) / 10 = -0,12 \text{ } ^\circ\text{C} / \% \text{x.p.o.}$$

Для моделі 1-го порядку

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

Модель 1-го порядку

$$t_{0,33} = 55 \text{ с}$$

$$t_{0,7} = 68 \text{ с}$$

Тоді

$$\tau_0 = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 55 - 68) / 2 = 48,5 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (68 - 48,5) / 1,2 = 16,25 \text{ с}$$

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

$$W_{U_1-T_H}^0(p) = \frac{-0,12 \cdot e^{-48,5p}}{16,25p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.4), знаходимо $t_{0,19}$.

$$t_{0,19} = 48 \text{ с}$$

Тоді

$$\tau_0 = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 48 - 68) / 2 = 38,7 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (48,5 - 38,7) / 2,4 = 12,2 \text{ с}$$

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

$$W_{U_1-T_H}^0(p) = \frac{-0,12 \cdot e^{-38,7p}}{(12,2p + 1)^2}$$

«u2 – Тн»

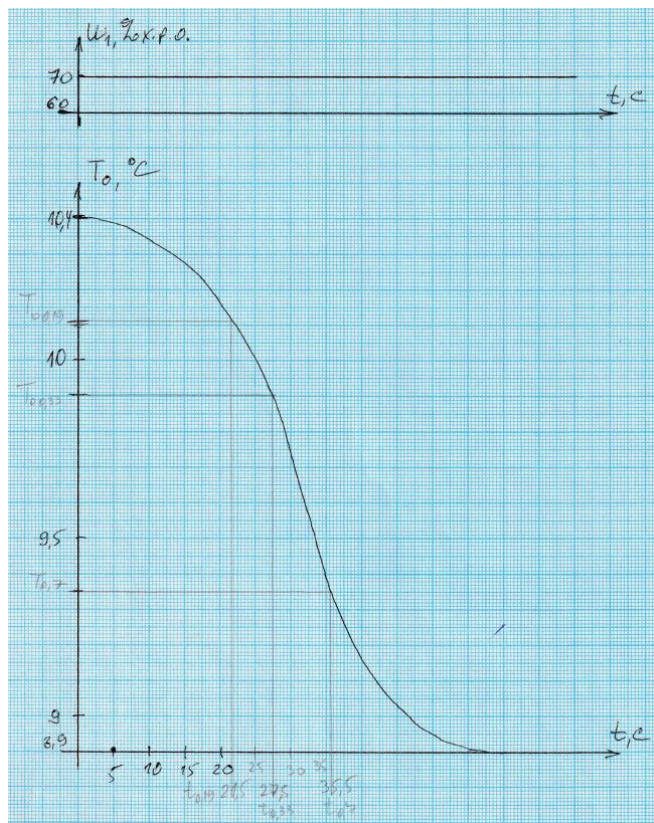


Рис. 2.5 – Параметрична ідентифікація моделі ОК

$$K_0 = \Delta T_H / \Delta U_1 = (25 - 23) / 10 = 0,2^\circ\text{C} / \% \text{х.р.о.}$$

Для моделі 1-го порядку

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.5), знаходимо $t_{0,33}$ і $t_{0,7}$.

Модель 1-го порядку

$$t_{0,33} = 25 \text{ с}$$

$$t_{0,7} = 37,5 \text{ с}$$

Тоді

$$\tau_0 = (3 \cdot t_{0,33} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 25 - 37,5) / 2 = 18,75 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau) / 1,2 = (37,5 - 11,25) / 1,2 = 15,625 \text{ с}$$

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

$$W_{U_2-T_H}^0(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-18,75p}}{15,63p + 1}$$

Для моделі 2-го порядку

Проводимо графічні побудови (див. рис. 2.5), знаходимо $t_{0,19}$.

$$t_{0,19} = 20 \text{ с}$$

Тоді

$$\tau_0 = (3 \cdot t_{0,19} - t_{0,7}) / 2 = (3 \cdot 20 - 37,5) / 2 = 11,25 \text{ с}$$

$$T_0 = (t_{0,7} - \tau) / 2,4 = (37,5 - 11,25) / 2,4 = 10,9 \text{ с}$$

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

$$W_{U_2-T_H}^0(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-11,25p}}{(10,9p + 1)^2}$$

Проведемо структурний і параметричний синтез САР моделей статички. Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК зведено в таблицю 2.1, 2.2 і на рис. 2.6 – 2.9

Таблиця 2.1 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК, $u_2 = \text{const}$

| | $u_1, \%$ х.р.о. | $u_2, \%$ х.р.о. | $M, \%$ | $T_H, ^\circ\text{C}$ | $d, \text{g/kg}$ s.v. | $T_o, ^\circ\text{C}$ |
|----|---------------------|---------------------|---------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1 | 0 | 60 | 55 | 30,2 | 15,8 | 20 |
| 2 | 10 | 60 | 51 | 29 | 13,8 | 17,9 |
| 3 | 20 | 60 | 50 | 27,8 | 12,5 | 16,4 |
| 4 | 30 | 60 | 49 | 26,6 | 11,4 | 14,9 |
| 5 | 40 | 60 | 47 | 25,4 | 10,3 | 13,4 |
| 6 | 50 | 60 | 46 | 24,2 | 9,3 | 11,9 |
| 7 | 60 | 60 | 45 | 23 | 8,4 | 10,4 |
| 8 | 70 | 60 | 44 | 21,8 | 7,6 | 8,9 |
| 9 | 80 | 60 | 42 | 20,6 | 6,8 | 7,4 |
| 10 | 90 | 60 | 41 | 19,4 | 6,2 | 5,9 |
| 11 | 100 | 60 | 40 | 18,2 | 5,5 | 4,4 |

Таблиця 2.2 – Результати експерименту для визначення статичної характеристики ОК, $u_1 = \text{const}$

| | $u_1, \%$ х.р.о. | $u_2, \%$ х.р.о. | $M, \%$ | $T_H, ^\circ\text{C}$ | $d, \text{g/kg}$ s.v. | $T_o, ^\circ\text{C}$ |
|----|---------------------|---------------------|---------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1 | 60 | 0 | 97 | 10,8 | 8,4 | 10,4 |
| 2 | 60 | 10 | 84 | 13 | 8,4 | 10,4 |
| 3 | 60 | 20 | 74 | 15 | 8,4 | 10,4 |
| 4 | 60 | 30 | 65 | 17 | 8,4 | 10,4 |
| 5 | 60 | 40 | 57 | 19 | 8,4 | 10,4 |
| 6 | 60 | 50 | 51 | 21 | 8,4 | 10,4 |
| 7 | 60 | 60 | 45 | 23 | 8,4 | 10,4 |
| 8 | 60 | 70 | 40 | 25 | 8,4 | 10,4 |
| 9 | 60 | 80 | 35 | 27 | 8,4 | 10,4 |
| 10 | 60 | 90 | 31 | 29 | 8,4 | 10,4 |
| 11 | 60 | 100 | 28 | 31 | 8,4 | 10,4 |

Побудова у графічному вигляді статичних характеристик ОК, попередня оцінка їх адекватності.

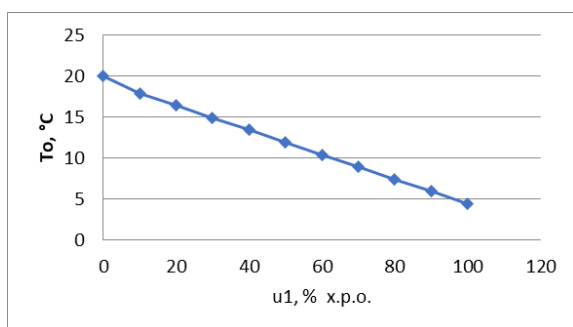


Рис. 2.6 – $T_o = f(u_1, u_2 = 60 \%\text{х.р.о.})$

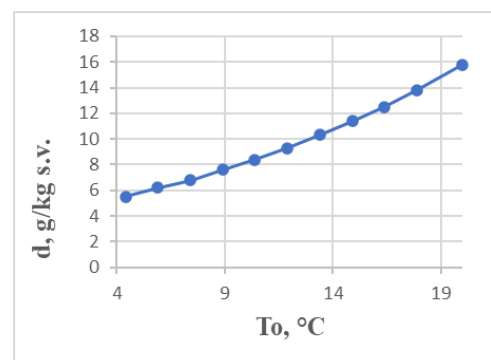
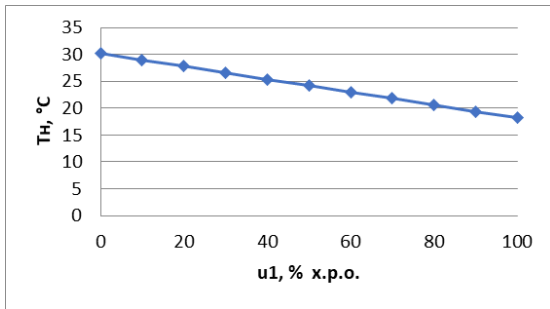
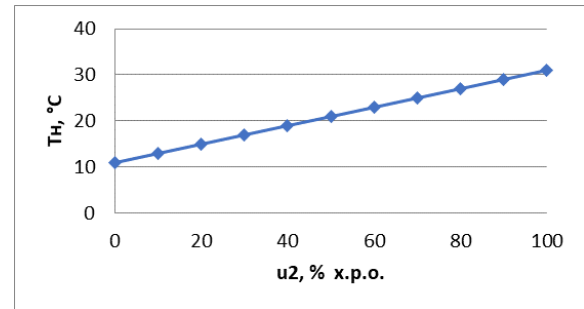


Рис. 2.7 – $d = f(T_o)$

Рис. 2.8 – $T_n = f(u_1, u_2 = 60\% \text{ х.р.о.})$ Рис. 2.9 – $T_n = f(u_2, u_1 = 60\% \text{ х.р.о.})$

Для досліджуваного ОК, як видно з рис. 2.6 - 2.9 статична характеристика може бути описана лінійною залежністю виду:

$$T_o = a_1 \cdot u_1 + a_0; \quad T_n = b_1 \cdot u_1 + b_2 \cdot u_2 + b_0.$$

Та однією нелінійною залежністю виду:

$$d = c_1 T_o^2 + c_2 T_o + c_0.$$

Провести параметричну ідентифікацію моделей каналів ОК.

$$a_1 = \Delta T_o / \Delta u_1 = (8,9 - 10,4) / (70 - 60) = -1,5 / 10 = -0,15^\circ\text{C} / \% \text{ х.р.о.}$$

$$a_0 = T_o - a_1 \cdot u_1 = 10,4 + 0,15 \cdot 60 = 10,4 + 9 = 19,4^\circ\text{C}$$

$$T_o = -0,15 \cdot u_1 + 19,4$$

$$b_1 = K_{u_1 - T_n} = -0,12^\circ\text{C} / \% \text{ х.р.о.}$$

$$b_2 = K_{u_2 - T_n} = 0,2^\circ\text{C} / \% \text{ х.р.о.}$$

$$b_0 = T_n - b_1 \cdot u_1 - b_2 \cdot u_2 = 23 + 0,12 \cdot 60 - 0,2 \cdot 60 = 23 + 7,2 - 12 = 18,2^\circ\text{C}$$

$$T_n = -0,12 \cdot u_1 + 0,2 \cdot u_2 + 18,2$$

Для дослідження нелінійного каналу ОК використовувався ПЕОМ, у результаті дослідження отримали рівняння третього порядку яке описує канал з похибкою $I = 0.0842$

$$d = 0.004T_o^3 + 0.0054T_o^2 + 0.3378T_o + 3,8928$$

Отже, статична характеристика досліджуваного ОК буде описана залежностями :

$$T_o = -0,15 u_1 + 19,4 ;$$

$$T_n = -0,12 u_1 + 0,2 \cdot u_2 + 18,2;$$

$$d = 0.004T_o^3 + 0.0054T_o^2 + 0.3378T_o + 3,8928.$$

2.3 Ідентифікація математичних моделей збурень об'єкта регулювання

Моделі неконтрольованих збурень доцільно представляти як суму чотирьох складових. Причому, квазидетерміновану та стохастичну складові ($f_{НС}$) доцільно привести до регульованої координати.

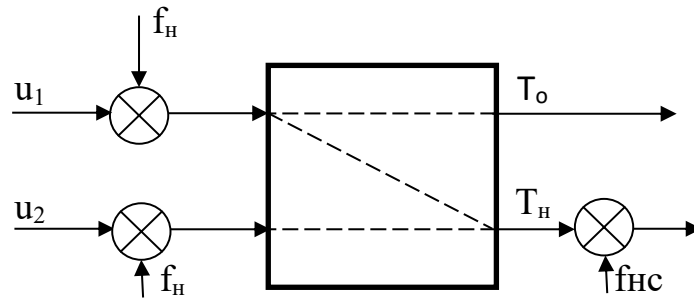


Рис. 2.10 – Структурна схема додавання координатних збурень

Генерацію результатів пасивного експерименту буде забезпечувати програма у середовищі імітаційного моделювання. Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованих збурень досліджуваного ОК наведені на рис. 2.11.

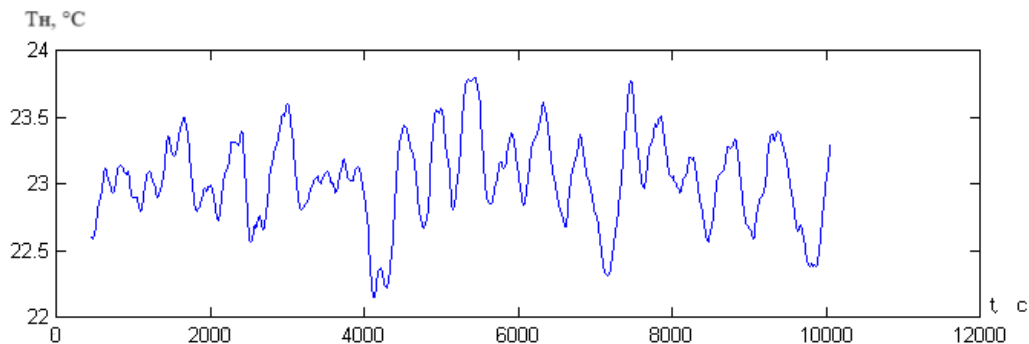


Рис. 2.11 – Результати генерації випадкового процесу, що відповідає сигналу неконтрольованого збурення для досліджуваного ОК

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

випадкового процесу, що відповідає неконтрольованим збуренням, наведені на рис. 2.12.

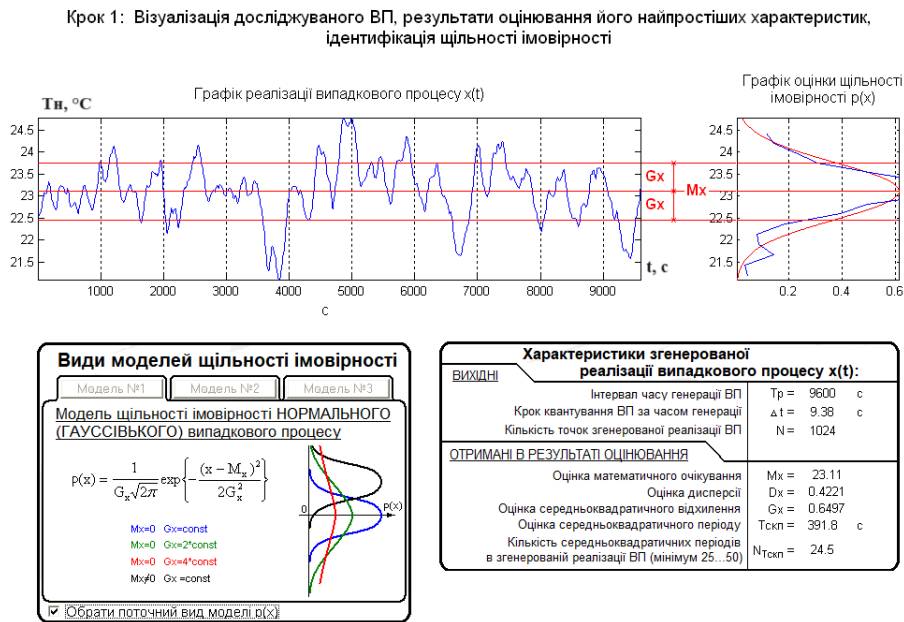


Рис. 2.12 – Результати оцінювання імовірнісних характеристик випадкового процесу, відповідного неконтрольованим збуренням

За результатами оцінювання щільності імовірності випадкового процесу обирається його модель. В якості моделі обираємо нормальний випадковий процес. Провівши 4 експерименти вибираємо модель з найменшим критерієм оптимізації рис. 2.13.

Крок 4: Підсумки ідентифікації моделей випадкових процесів

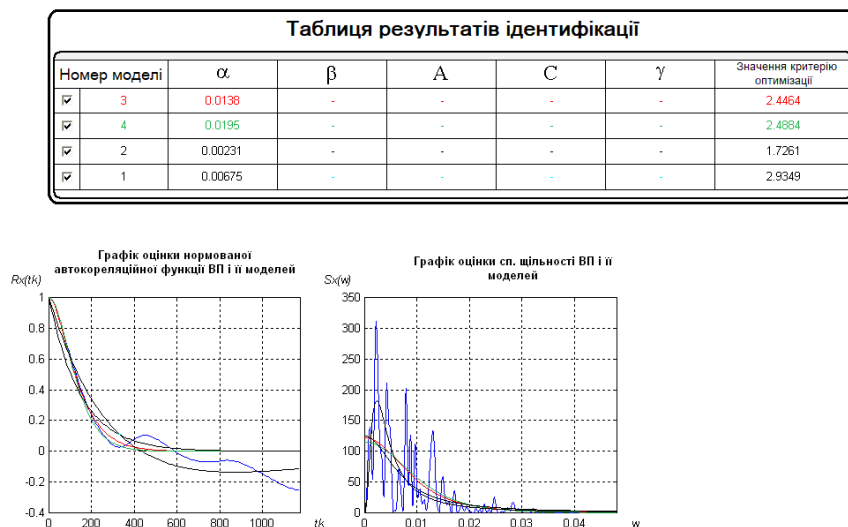


Рис. 2.13 – Підсумкові результати ідентифікації моделі неконтрольованих збурень

В даному випадку найменше значення критерію оптимізації у моделі №2. Результати параметричної ідентифікації моделі неконтрольованих збурень №2 на рис. 2.14

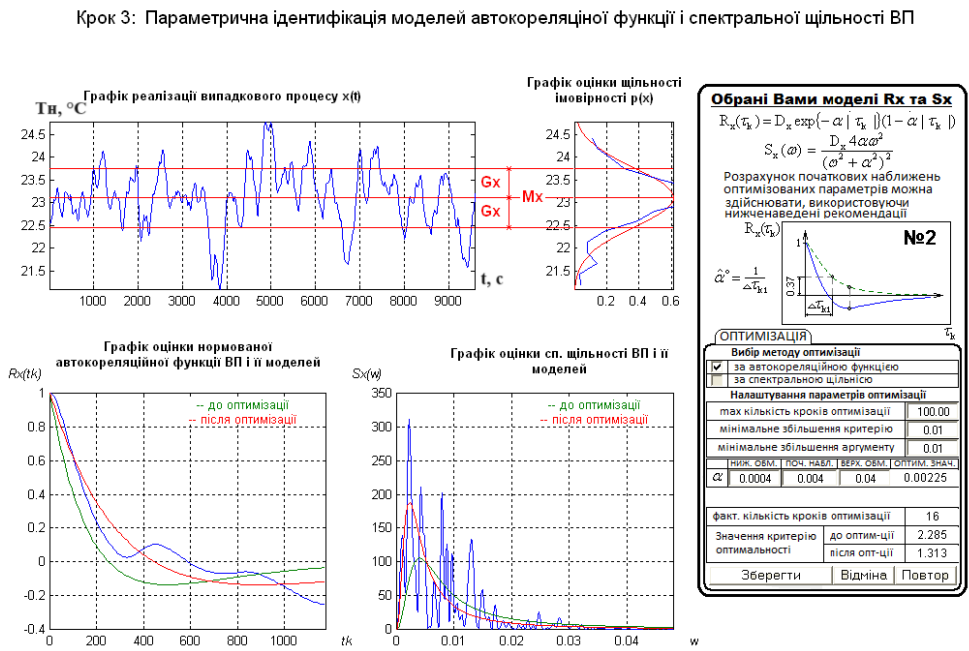


Рис. 2.14 – Результати параметричної ідентифікації моделі неконтрольованих збурень №2

2.4 Реалізація моделей на ПЕОМ і обґрунтування їх адекватності об'єкту

Для зручності зведемо передаточні функції моделей каналів ОК у таблицю 2.3

Таблиця 2.3 – Результати ідентифікації моделей каналів

| Канал ОК | Модель 1-го порядку | Модель 2-го порядку |
|-----------------------------------|--|---|
| “u ₁ -T _o ” | $W_o(p) = \frac{-0,15 \cdot e^{-23,5p}}{10p + 1}$ | $W_o(p) = \frac{-0,15 \cdot e^{-14,5p}}{(8,75p + 1)^2}$ |
| “u ₁ -T _H ” | $W_o(p) = \frac{-0,12 \cdot e^{-48,5p}}{16,25p + 1}$ | $W_o(p) = \frac{-0,12 \cdot e^{-38,7p}}{(12,2p + 1)^2}$ |
| “u ₂ -T _H ” | $W_o(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-18,75p}}{15,63p + 1}$ | $W_o(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-11,25p}}{(10,9p + 1)^2}$ |

Для порівняння моделі повинні мати один вхід, вихід моделей виводиться на графік в одній системі координат. У цю ж систему координат зводяться експериментальні дані. Для досліджуваного ОК експериментальні дані зведено в таблицю 2.4. Схема моделювання для каналів «u1 – To», «u1 – Tн», «u2 – Tн» ОК наведені на рис. 2.15, 2.17 та 2.19 відповідно. Результати моделювання для каналів наведені на рис. 2.16, 2.18 та 2.20.

Таблиця 2.4 – Експериментальні дані

| | u1, % х.р.о. | u2, % х.р.о. | φ , % | Tн, °C | d, g/kg s.v. | To, °C |
|----|-----------------|-----------------|---------------|--------|-----------------|--------|
| 1 | 0 | 60 | 55 | 30,2 | 15,8 | 20 |
| 2 | 10 | 60 | 51 | 29 | 13,8 | 17,9 |
| 3 | 20 | 60 | 50 | 27,8 | 12,5 | 16,4 |
| 4 | 30 | 60 | 49 | 26,6 | 11,4 | 14,9 |
| 5 | 40 | 60 | 47 | 25,4 | 10,3 | 13,4 |
| 6 | 50 | 60 | 46 | 24,2 | 9,3 | 11,9 |
| 7 | 60 | 60 | 45 | 23 | 8,4 | 10,4 |
| 8 | 70 | 60 | 44 | 21,8 | 7,6 | 8,9 |
| 9 | 80 | 60 | 42 | 20,6 | 6,8 | 7,4 |
| 10 | 90 | 60 | 41 | 19,4 | 6,2 | 5,9 |
| 11 | 100 | 60 | 40 | 18,2 | 5,5 | 4,4 |
| 12 | 60 | 0 | 97 | 10,8 | 8,4 | 10,4 |
| 13 | 60 | 10 | 84 | 13 | 8,4 | 10,4 |
| 14 | 60 | 20 | 74 | 15 | 8,4 | 10,4 |
| 15 | 60 | 30 | 65 | 17 | 8,4 | 10,4 |
| 16 | 60 | 40 | 57 | 19 | 8,4 | 10,4 |
| 17 | 60 | 50 | 51 | 21 | 8,4 | 10,4 |
| 18 | 60 | 60 | 45 | 23 | 8,4 | 10,4 |
| 19 | 60 | 70 | 40 | 25 | 8,4 | 10,4 |
| 20 | 60 | 80 | 35 | 27 | 8,4 | 10,4 |
| 21 | 60 | 90 | 31 | 29 | 8,4 | 10,4 |
| 22 | 60 | 100 | 28 | 31 | 8,4 | 10,4 |

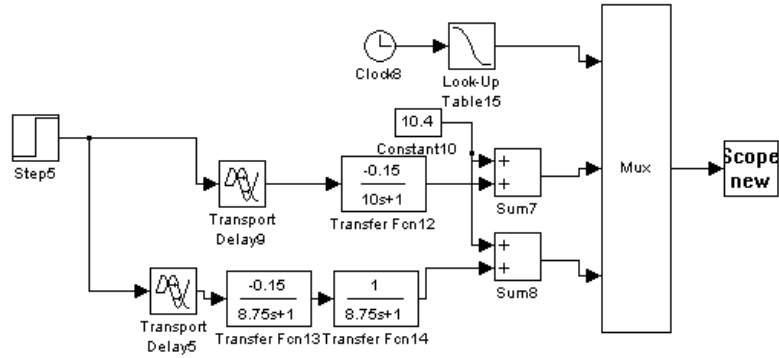


Рис. 2.15 – Схема моделювання за каналом « $u_1 - T_0$ »

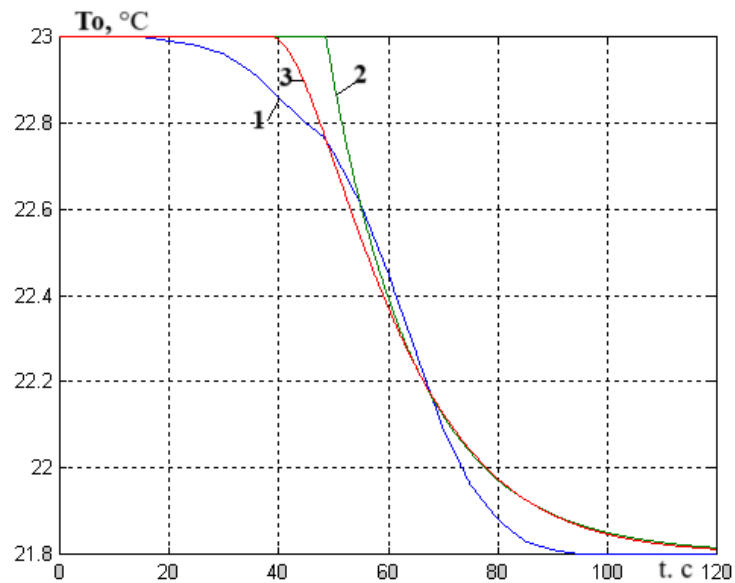


Рис. 2.16 – Результати моделювання: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

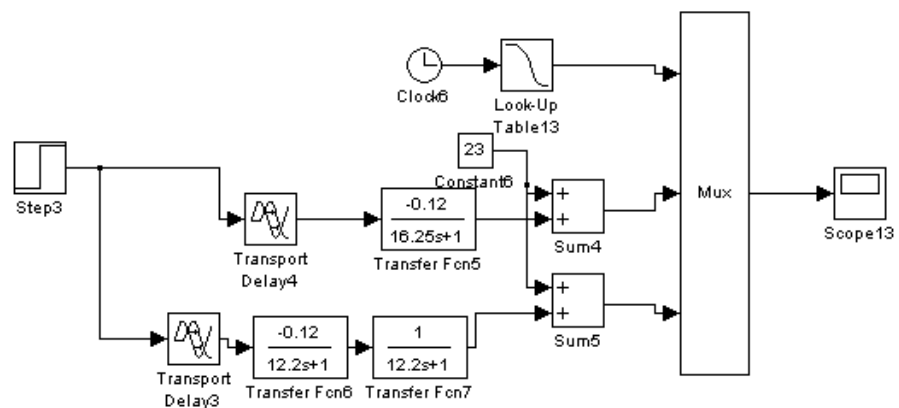


Рис. 2.17 – Схема моделювання за каналом « $u_1 - T_n$ »

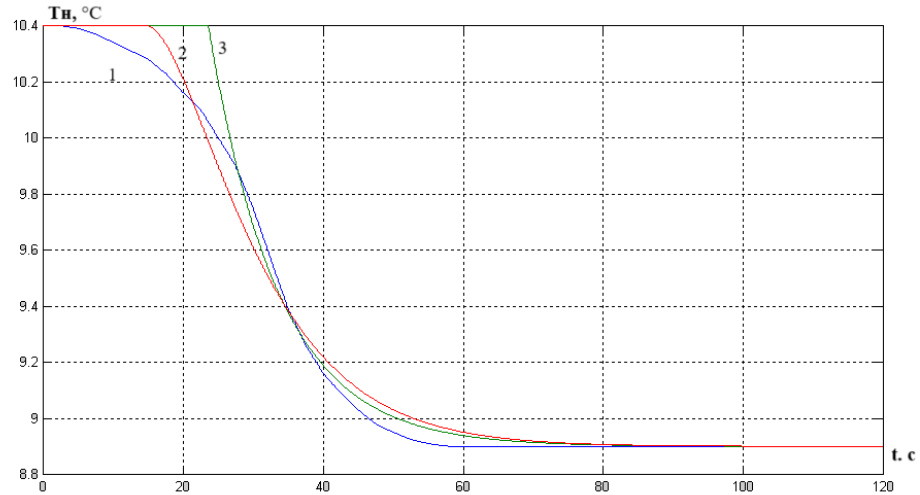


Рис. 2.18 – Результати моделювання: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

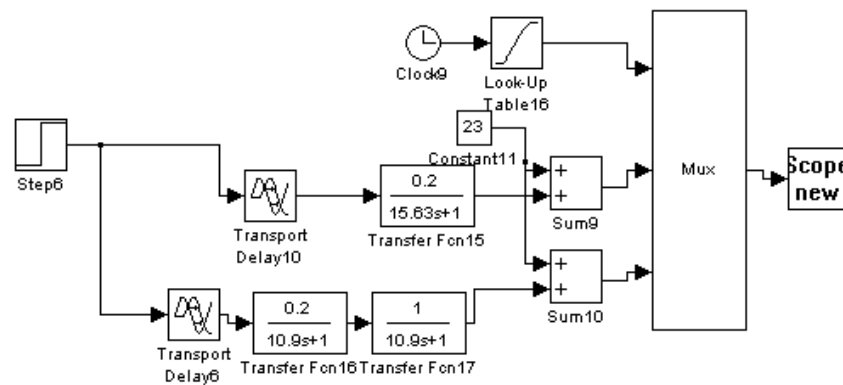


Рис. 2.19 – Схема моделювання за каналом « $u_2 - T_n$ »

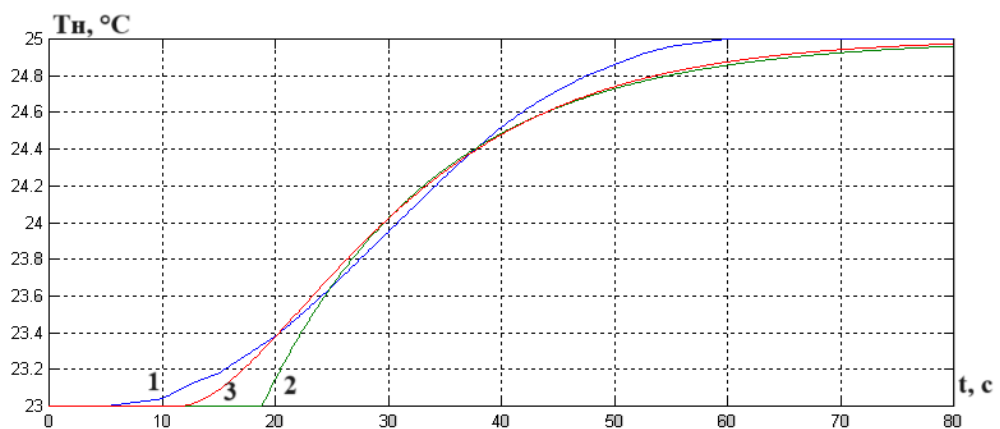


Рис. 2.20 – Результати моделювання: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 1-го порядку; 3 – модель 2-го порядку

За результатами моделювання вказаними на рис.2.16, 2.18 та 2.20, бачмо, що моделі другого порядку є більш точними, тому надалі використовуватимемо їх.

Модель статичних характеристики:

$$T_o = -0,15 \cdot u_1 + 19,4$$

$$T_H = -0,12 \cdot u_1 + 0,2 \cdot u_2 + 18,2$$

Для реалізації повної моделі ОК об'єднаємо моделі динаміки і статички каналів ОК. Схема моделювання в СІМ, що відображує модель ОК, наведена на рис. 2.21, а результати моделювання – на рис. 2.22 та 2.23.

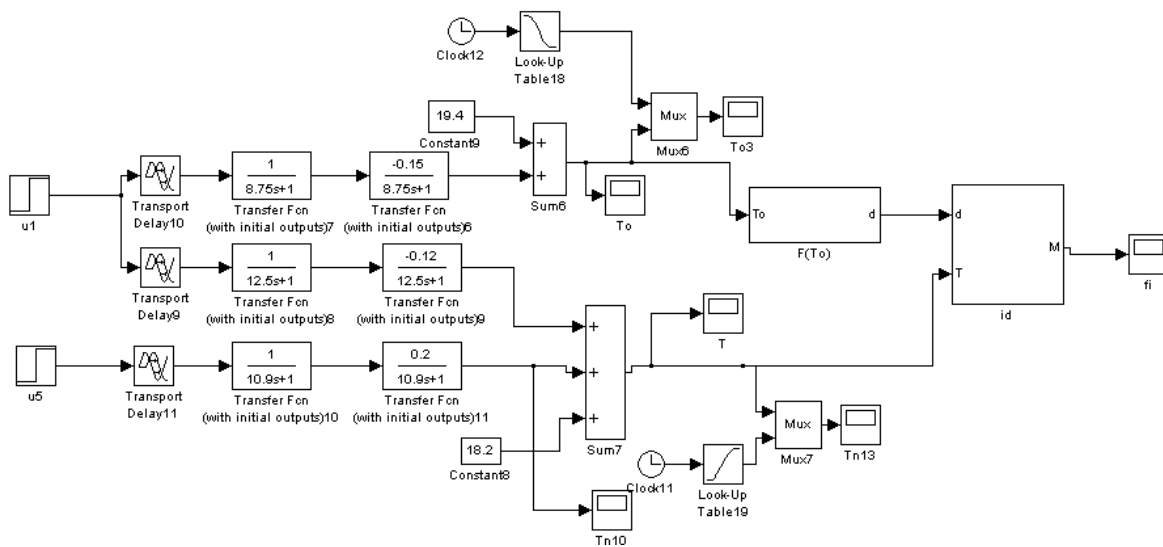


Рис. 2.21 – Схема моделювання повної моделі ОК

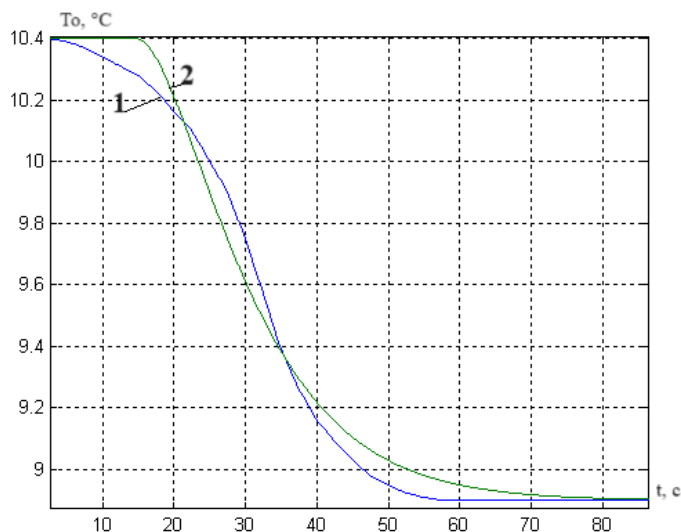


Рис. 2.22 – Результати моделювання за каналом « $u_1 - T_o$ »: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 2-го порядку;

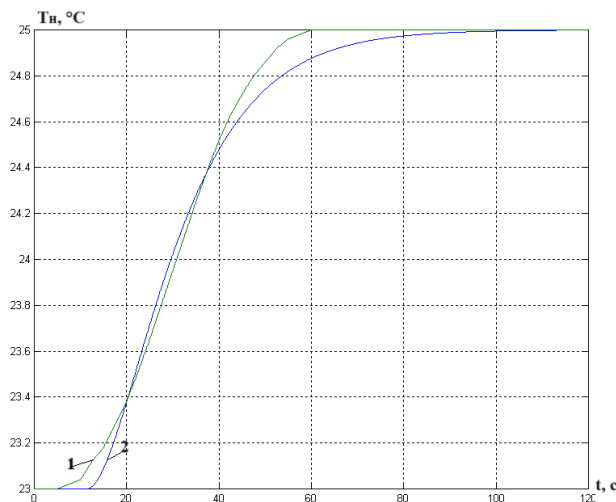


Рис. 2.23 – Результати моделювання за каналом « $u_2 - T_n$ »: 1 – кусочно-лінійна апроксимація експериментальних даних; 2 – модель 2-го порядку;

Після моделювання ОК та проведення експериментів зі змінами u_1 та u_2 можемо підтвердити, що модель об'єкту достатньо точно відтворює дані отримані експериментальним шляхом (табл.2.4).

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

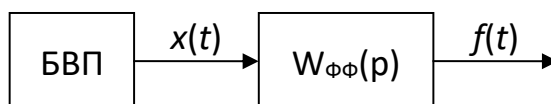


Рис. 2.24 – Структурна схема моделі СП

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

$$|W_{\phi\phi}(j\omega)|^2 = \frac{S_f(\omega)}{S_x(\omega)} = W_{\phi\phi}(j\omega) \cdot W_{\phi\phi}(-j\omega) \quad (2.1)$$

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

$$S_x(\omega) = G_x^2 \frac{2 \cdot \Delta t_2}{3}, \quad (2.2)$$

де G_x - середньоквадратичне відхилення процесу $x(t)$, Δt_2 – крок генерації випадкового процесу.

Надалі до передаточної функції формуючого фільтра підставляють формули для спектральних щільностей вхідного й вихідного сигналу.

Для моделі №2

$$R_f(\tau_k) = D_f e^{-\alpha|\tau_k|} \cdot (1 - \alpha|\tau_k|); \quad S_f(\omega) = \frac{D_f 4\alpha\omega^2}{(\omega^2 + \alpha^2)^2}.$$

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

Бачимо, що

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

А після заміни

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

Далі маємо

$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{kp}{(Tp+1)^2},$$

де

$$k = \frac{1}{S_x(\omega)} \cdot \frac{\sqrt{D_f\alpha}}{\alpha^2}, \quad T = 1/\alpha.$$

. Для випадкового процесу, що відображає неконтрольовані збурювання:

$$\alpha = 0,00231;$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma_f}{2} = \frac{0,6497}{2} = 0,3249$$

$$\Delta t_T = \frac{1}{(2...3) \cdot \alpha} = \frac{1}{(2...3) \cdot 0,00231} = 144,3...216,5 \text{ с}$$

Виберемо крок генерації, рівним 200.

$$S_x(\omega) = G_x^2 \frac{2 \cdot \Delta t_2}{3} = 0,32485^2 \cdot \frac{2 \cdot 200}{3} = 14,07$$

$$k = \frac{1}{S_x(\omega)} \cdot \frac{\sqrt{D_f\alpha}}{\alpha^2} = \frac{1}{14,07} \cdot \frac{\sqrt{0,4221 \cdot 0,00231}}{0,00231^2} = 415,9$$

$$T = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0,00231} = 432,9 \text{ с}$$

Вихідна передатна функція формуючого фільтра

$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{415,9p}{(432,9p + 1)^2}$$

Сигнал неконтрольованих збурень повинен відповідати таким статистичним параметрам:

$$M_f = 23,11, \sigma_f = 0,6497, \alpha = 0,00231.$$

Кількість точок моделювання $N = 1024$

$$T_p = N \cdot \Delta t_T = 1024 \cdot 200 = 204800 \text{ с}$$

Схема моделювання буде мати вигляд, наведений на рис. 2.25.

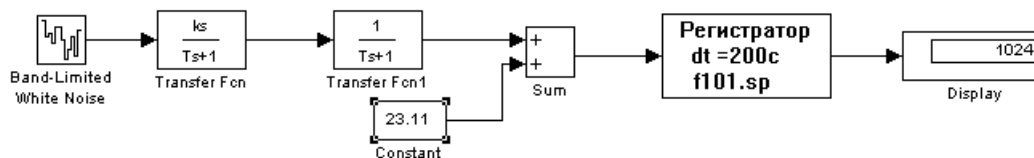


Рис. 2.25 – Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим фільтром, що має розрахункові параметри

У параметрах блоку БВП необхідно встановити такі параметри:

$$\text{Noise power} = S_x(\omega) = 14,07;$$

$$\text{Sample time} = \Delta t_T = 200;$$

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

Результати моделювання наведені на рис. 4.9.

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \hat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|23,11 - 23,11|}{23,11} \cdot 100 = 0\%$$

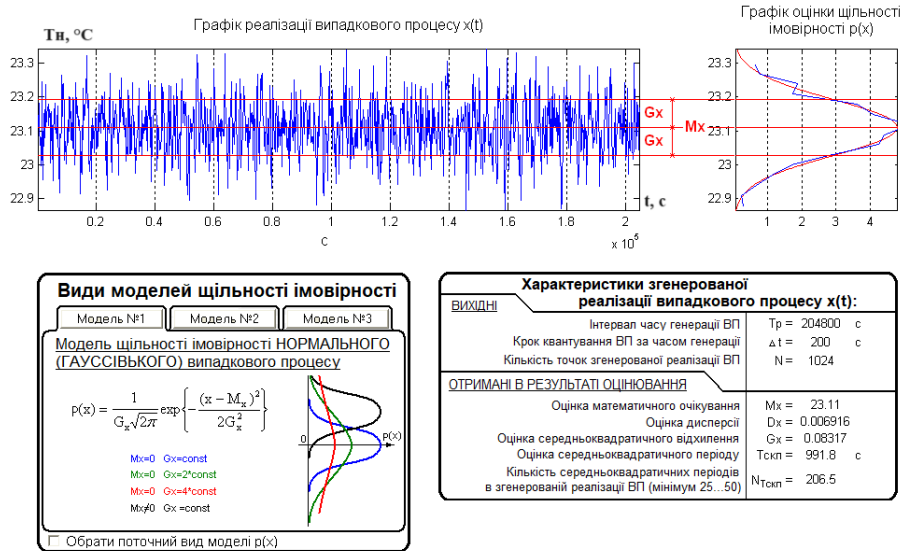
Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \hat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|0,08317 - 0,6497|}{0,08317} \cdot 100 = 681\%$$

Точність відтворення коефіцієнту спаду:

$$\Delta\alpha_f = \frac{|\alpha_f - \hat{\alpha}_f|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,00227 - 0,00231|}{0,00227} \cdot 100 = 1.7\%$$

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



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

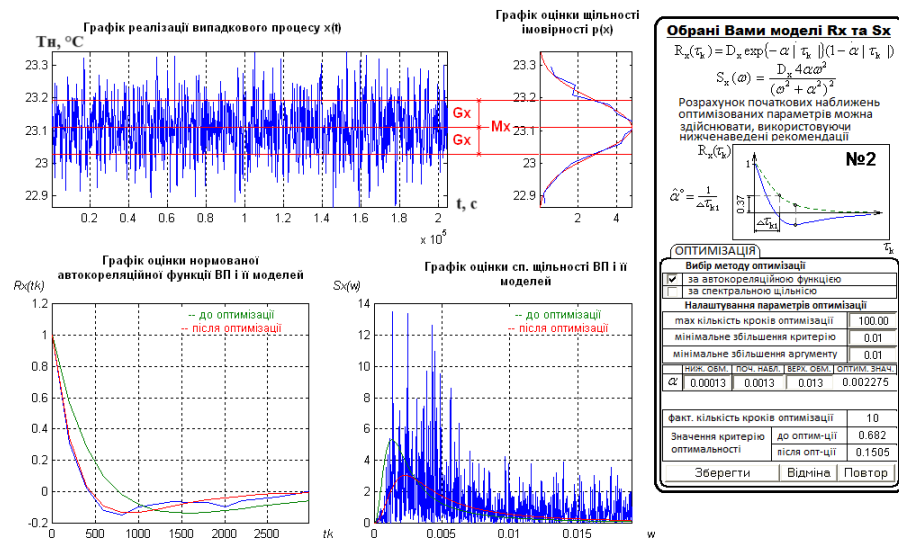


Рис. 2.26 – Результати моделювання неконтрольованих збурень із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

Похибка відтворення σ_f більша від 5%, а значить необхідно провести коректування параметрів формуючого фільтра. Після коректування були отримані наступні параметри формуючого фільтра: $k = 3248,9$. Схема моделювання остаточного формуючого фільтра наведена на рис. 2.27, а результати моделювання наведені на рис. 2.28.

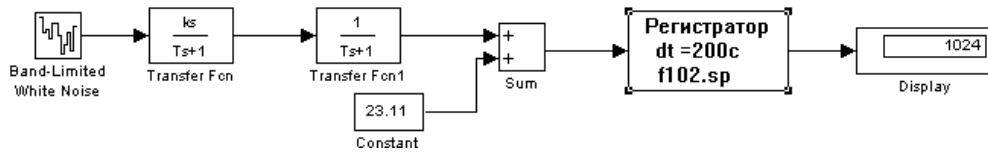
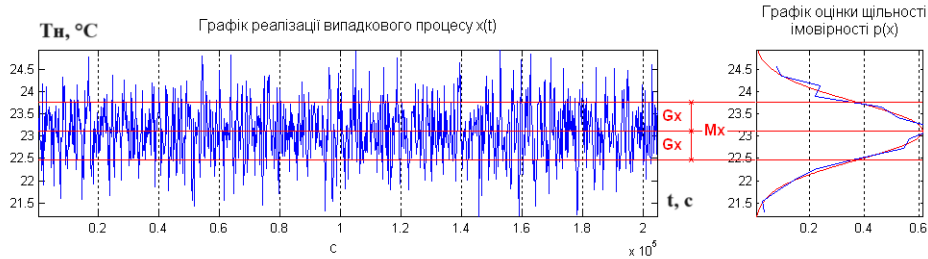


Рис. 2.27 – Схема моделювання неконтрольованих збурень із формуючим фільтром, що має скоректовані параметри

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



Види моделей щільності імовірності

Модель №1 Модель №2 Модель №3

Модель щільності імовірності **НОРМАЛЬНОГО (ГАУССІВЬКОГО)** випадкового процесу

$$p(x) = \frac{1}{G_x \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x - M_x)^2}{2G_x^2}\right\}$$

Mx=0 Gx=const
 Mx=0 Gx=2*const
 Mx=0 Gx=4*const
 Mx≠0 Gx=const

Обрати поточний вид моделі p(x)

Характеристики згенерованої реалізації випадкового процесу x(t):

| | | |
|---|--|----------------|
| ВИХІДНІ | Інтервал часу генерації ВП | Tr = 204800 c |
| | Крок квантування ВП за часом генерації | Δt = 200 c |
| | Кількість точок згенерованої реалізації ВП | N = 1024 |
| ОТРИМАНІ В РЕЗУЛЬТАТІ ОЦІНЮВАННЯ | | |
| | Оцінка математичного очікування | Mx = 23.11 |
| | Оцінка дисперсії | Dx = 0.4221 |
| | Оцінка середньоквадратичного відхилення | Gx = 0.6497 |
| | Оцінка середньоквадратичного періоду | Tсрп = 991.8 c |
| | Кількість середньоквадратичних періодів в згенерованій реалізації ВП (мінімум 25...50) | Nтсрп = 206.5 |

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

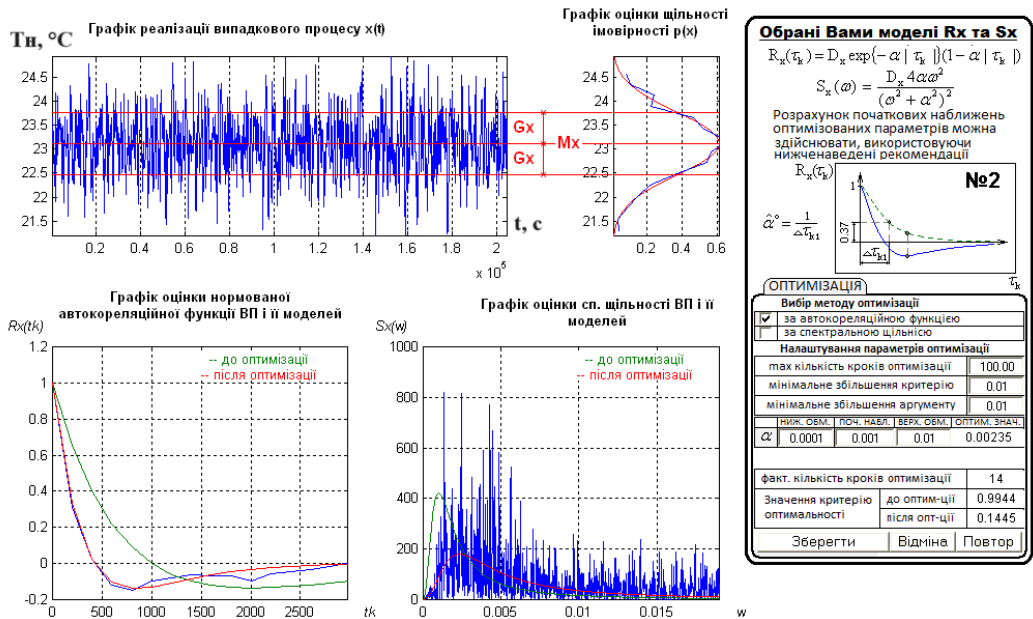


Рис. 2.28 - Результати моделювання неконтрольованих збурювань із розрахунковими параметрами формуючого фільтра

Оцінимо точність відтворення параметрів у моделі.

Точність відтворення математичного очікування:

$$\Delta M_f = \frac{|M_f - \widehat{M}_f|}{M_f} \cdot 100\% = \frac{|23,11 - 23,11|}{23,11} \cdot 100 = 0\%$$

Точність відтворення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta \sigma_f = \frac{|\sigma_f - \widehat{\sigma}_f|}{\sigma_f} \cdot 100\% = \frac{|0,6497 - 0,6497|}{0,6497} \cdot 100 = 0\%$$

Точність відтворення коефіцієнта спаду:

$$\Delta \alpha_f = \frac{|\alpha_f - \widehat{\alpha}_f|}{\alpha_f} \cdot 100\% = \frac{|0,00235 - 0,00231|}{0,00235} \cdot 100 = 1.7\%$$

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

Кінцеву передатна функція формуючого фільтра

$$W_{\Phi\Phi}(p) = \frac{3248,9p}{(432,9p + 1)^2}$$

Повна модель ОК містить у собі повну модель каналів і модель входних дій. Схема моделювання повної моделі ОК наведена на рис. 2.29.

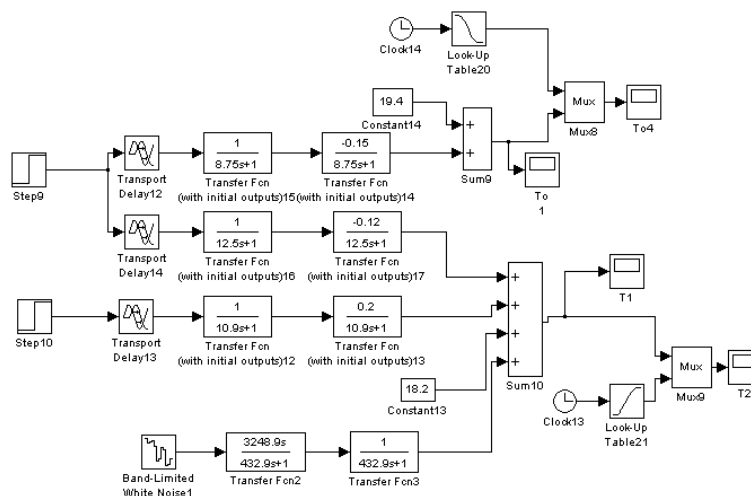


Рис. 2.30 – Схема моделювання повної моделі ОК

Проведемо експеримент з повною моделлю ОК. Результати експерименту в умовах дії стохастичних неконтрольованих збурень – на рис. 2.31,

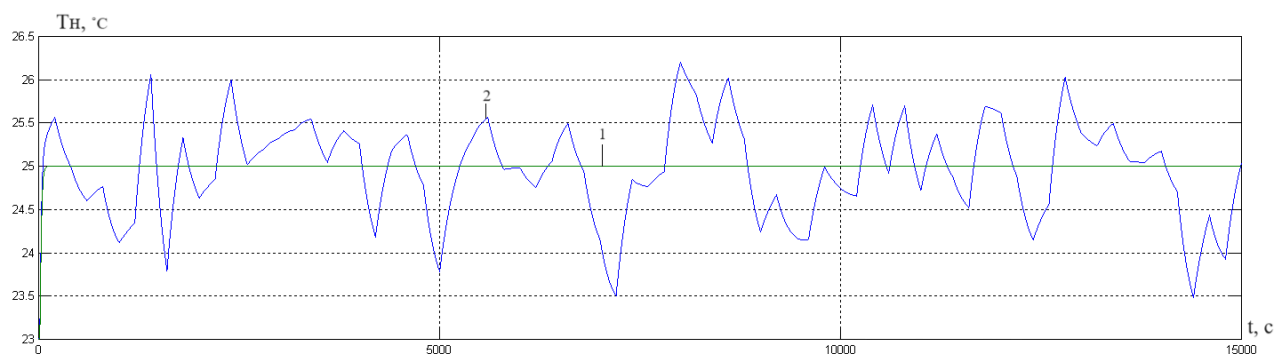


Рис. 2.31 – Результати експерименту в умовах дії стохастичних неконтрольованих збурень: 1 – без СНЗ; 2 – в умовах дії СНЗ.

2.5 Висновки за розділом

В цьому розділі розроблена концептуальна схема ОР яка складаючись з двох вхідних регулюючих впливів та двох регулюючих змінних має два прямих канали та один перехресний зв'язок. Після чого проведена ідентифікація (розробка моделей) каналів перетворення об'єкта регулювання, де були визначені передаточні функції моделі ОК, найбільш точними виявилися моделі ОК другого порядку, та описали статичні характеристики досліджуваного ОК. Далі була проведена ідентифікація математичних моделей збурень об'єкта регулювання статистичним методом, в результаті чого після дослідження вибрали модель неконтрольованих збурень №2 з найменшим значенням критерію оптимізації.

Для реалізація моделей на ПЕОМ використовувалась СІМ, модель ОК можна вважати адекватно, так як після моделювання ОК та проведення експериментів зі змінами u_1 та u_2 модель ОК достатньо точно відтворює дані отримані експериментальним шляхом. Відтворення моделей стохастичної складової неконтрольованих збурень здійснено методом формуючого фільтра

3 Розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання, порівняльний аналіз САР

3.1 Конкретизація задач регулювання технологічним агрегатом

Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів (див. табл. 1.1) температура повітря на виході з охолоджувача T_o , та на виході з нагрівача T_n має підтримуватися на рівні $10,4^{\circ}\text{C}$ та 23°C відповідно з точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. За цими параметрами припустимі короточасні відхилення до $\pm 1^{\circ}\text{C}$ протягом часу не більше 100 секунд. Регламентна зона за цими параметрами наведена на рис. 3.1 та 3.2

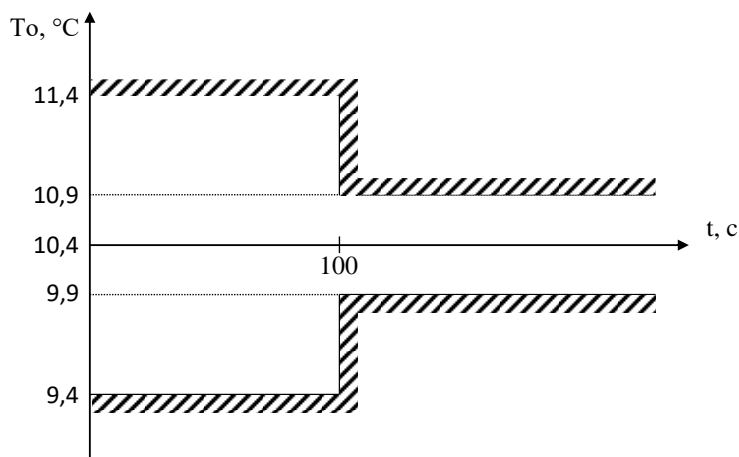


Рис. 3.1– Регламентна зона для температури повітря на виході з охолоджувача T_o

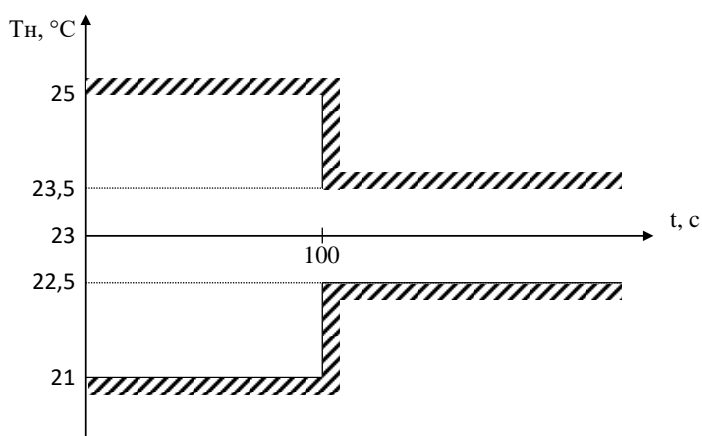


Рис. 3.2– Регламентна зона для температури повітря на виході з нагрівача T_n

В даному випадку в якості інтегрального критерію доцільно використати інтегральний модульний критерій :

$$J = \int_0^{t_M} \left[|\Delta T_o(t)| + \frac{|\Delta T_n(t)|}{2} \right] dt \quad (3.1)$$

де t_M – час моделювання;

$\Delta T_o(t)$, ΔT_n – відхилення температури від заданого значення.

Для системи керування процесу кондиціонування повітря доступною, крім інформації про бажаний стан ОК ($T_o^{3Д}$, $T_n^{3Д}$), є інформація про поточний стан ОК (T_o , T_n). Такий обсяг інформації для формування керуючого впливу (u_1 , u_2) достатній для реалізації замкненого принципу керування. Тому саме цей принцип і буде покладено в основу розроблюваної САР температури базової структури. Структурна схема цього принципу управління приведена на рис. 3.3.

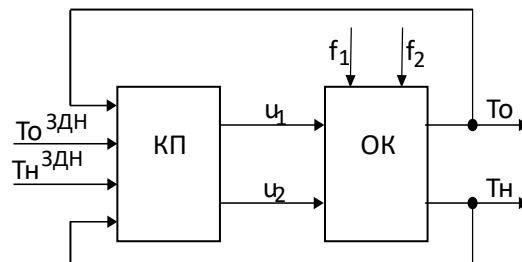


Рис. 3.3 – Структурна схема системи керування, що відповідає замкненому принципу керування

3.2 Параметричний синтез і аналіз САР базової структури

Координатна схема процесу кондиціонування повітря наведена на рис. 2.1. Відповідно до неї та до структурної схеми, що відповідає замкненому принципу керування (рис. 3.3), структурна схема САР матиме вигляд, наведений на рис. 3.4.

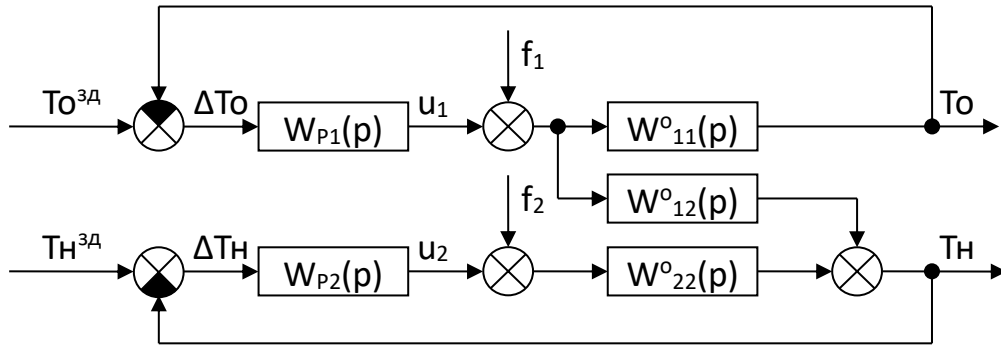


Рис. 3.4 – Структурна схема САР температури кондиціонування повітря базової структури

На рисунку:

u_1 – положення регулюючого органу витрат холодної води;

u_2 – положення регулюючого органу витрат гарячої води;

T_o – температура повітря після охолоджувача;

T_n – температура повітря після нагрівача;

f_1, f_2 – вектор неконтрольованих збурень;

$W_{p1}(p)$ – передатна функція регулятора температури повітря після охолоджувача;

$W_{p2}(p)$ – передатна функція регулятора температури повітря після нагрівача;

$T_o^{зд}, T_n^{зд}$ – задане значення регульованої координати;

$\Delta T_o, \Delta T_n$ – помилка регулювання.

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

Передатна функція ПІ-регулятора

$$W_p(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{из} p} \right)$$

Передатна функція ПІД-регулятора

$$W_P(p) = K_P \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{I3}p} + \frac{T_{IP}p}{0,2 \cdot T_{IP}p + 1} \right)$$

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

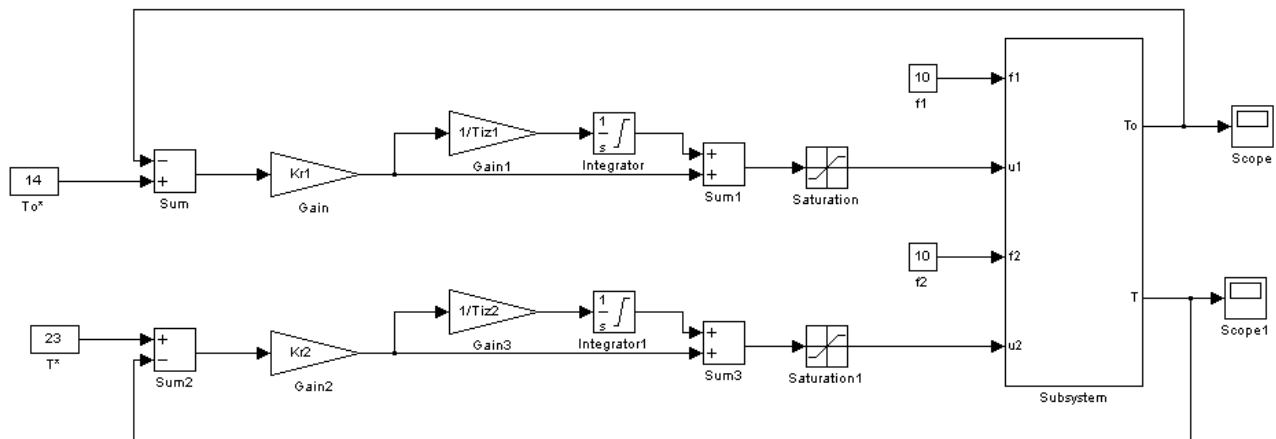


Рис. 3.5 – Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

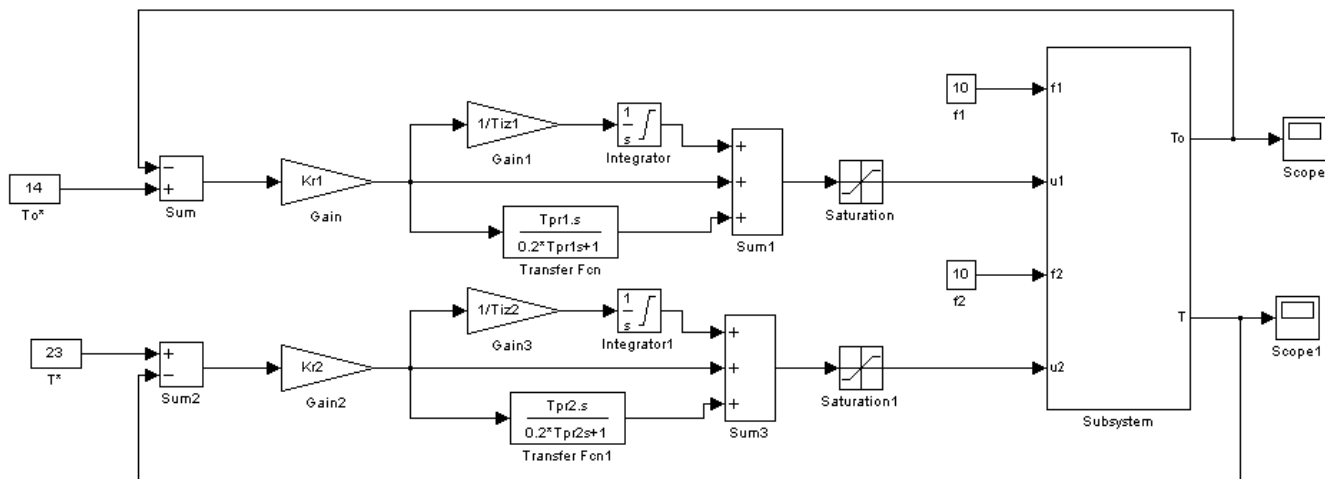


Рис. 3.6 – Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором

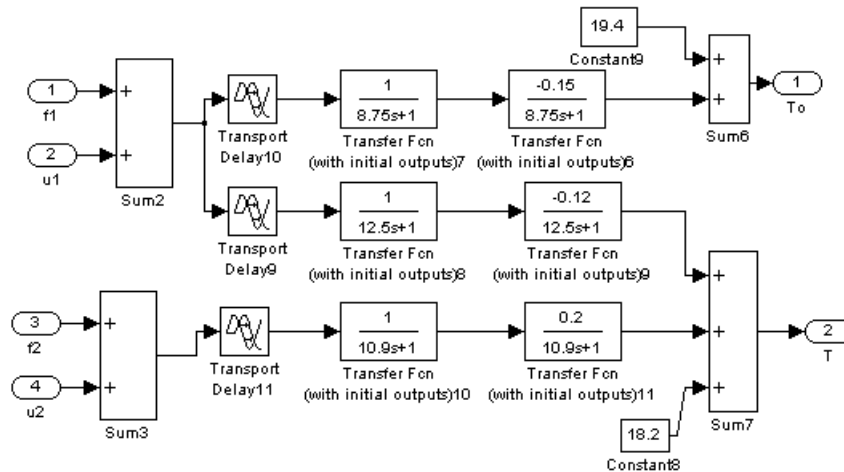


Рис. 3.7 – Структурна схема моделювання ОК

Передаточні функції моделі 1-го порядку ОК:

$$W_o(p) = \frac{-0,15 \cdot e^{-23,5p}}{10p + 1}$$

$$W_o(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-18,75p}}{15,63p + 1}$$

Розрахувати початкові наближення налаштувань регуляторів.

Розрахунок налаштувань ПІ-регуляторів

Регулятор $W_{P1}(p)$

$$K_{P1} = \frac{1,1 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,1 \cdot 10}{-0,15 \cdot 23,5} = -3,1 \text{ \%х.р.о. /}^\circ\text{C}$$

$$T_{I31} = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 23,5 = 27 \text{ с}$$

Регулятор $W_{P2}(p)$

$$K_{P2} = \frac{1,1 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,1 \cdot 15,63}{0,2 \cdot 18,75} = 4,6 \text{ \%х.р.о. /}^\circ\text{C}$$

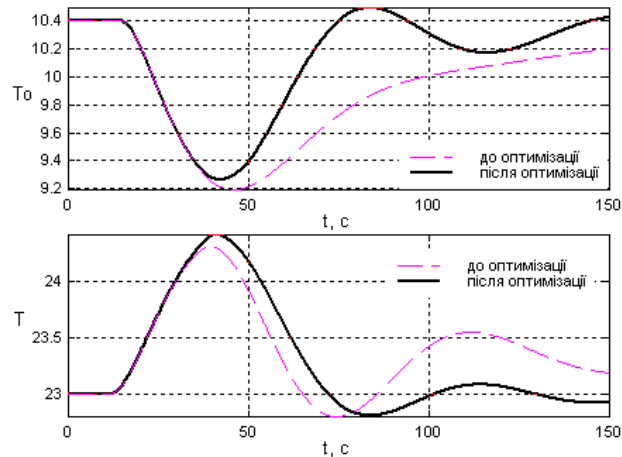
$$T_{I32} = 2,0 \cdot \tau_O = 2,0 \cdot 18,75 = 37,5 \text{ с}$$

Розрахунок налаштувань ПІД-регуляторів

Регулятор $W_{P1}(p)$

$$K_{P1} = \frac{1,2 \cdot T_O}{K_O \cdot \tau_O} = \frac{1,2 \cdot 10}{-0,15 \cdot 23,5} = -3,4 \text{ \%х.р.о. /}^\circ\text{C}$$

$$T_{I31} = 1,4 \cdot \tau_O = 1,4 \cdot 23,5 = 32,9 \text{ с}$$



| Ім'я змінної | Оптимальне значення | Нижня межа | Початкове наближення | Верхня межа | Значення критерію оптимальності: |
|--------------|---------------------|------------|----------------------|-------------|---|
| Kr1 | -6.2563 | -20 | -3.1 | 0 | до - 110.0528 |
| Tiz1 | 27.758 | 1 | 28 | 50 | після - 72.2998 |
| Kr2 | 1.1349 | 0 | 4.6 | 20 | Кількість кроків процедури оптимізації: |
| Tiz2 | 5.2042 | 1 | 37.5 | 100 | максимальна - 1000 |
| | | | | | фактична - 319 |

Рис. 3.9 – Результати оптимізації налаштувань ПІ-регулятора

Порівняємо перехідні процеси в САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості. Результати порівняння зведено в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результатів порівняння САР з ПІ-регулятором до і після оптимізації

| САР з ПІ-регулятором | Прямі показники якості | | | | Критерій |
|----------------------|--|----------------------------|---|----------------------------|----------|
| | $\Delta T_0^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$ | $T_{\text{пп}1}, \text{c}$ | $\Delta T_{\text{н}}^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$ | $T_{\text{пп}2}, \text{c}$ | |
| до оптимізації | 1,2 | 90 | 1,35 | 120 | 110 |
| після оптимізації | 1,13 | 62 | 1,4 | 62 | 72 |

Для оптимального параметричного синтезу САР температур кондиціонування повітря з ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рисунку 3.10. Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора наведені на рисунку 3.11.

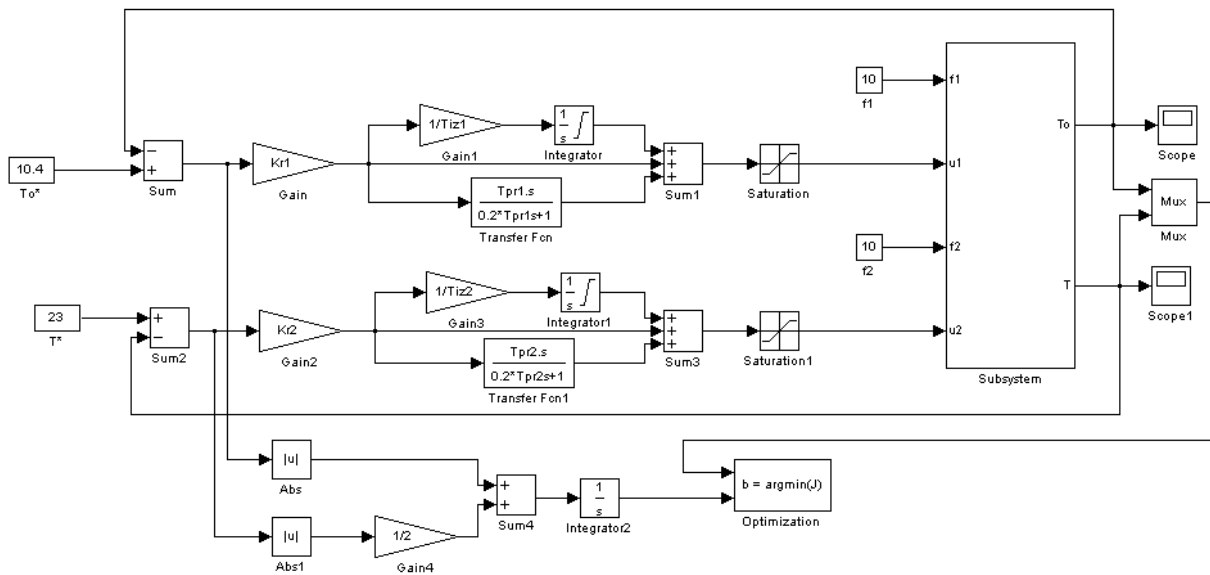
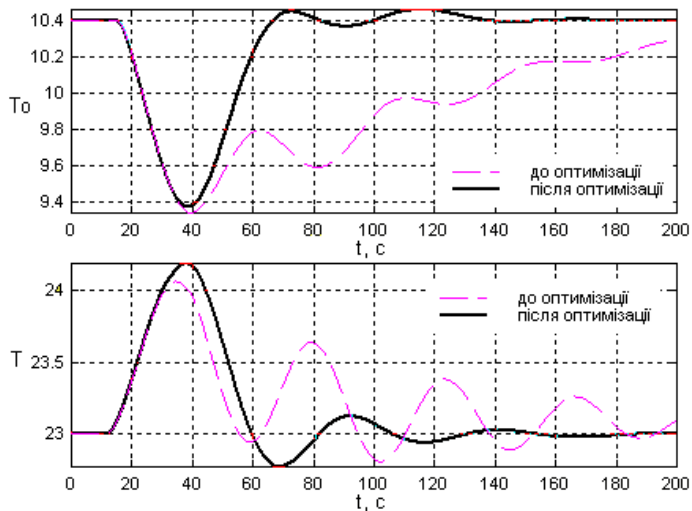


Рис. 3.10 - Структурна схема моделювання САР для оптимізації налаштувань ПІД-регулятора



| Ім'я змінної | Оптимальне значення | Нижня межа | Початкове наближення | Верхня межа | Значення критерію оптимальності: |
|--------------|---------------------|------------|----------------------|-------------|---|
| Kr1 | -6.7827 | -20 | -3.4 | 0 | до - 116.3246 |
| Tiz1 | 18.2871 | 0 | 32.9 | 100 | після - 50.2614 |
| Tpr1 | 7.9025 | 0 | 23.5 | 100 | Кількість кроків процедури оптимізації: максимальна - 1000 фактична - 934 |
| Kr2 | 2.6832 | 0 | 5 | 50 | |
| Tiz2 | 7.9539 | 0 | 26.25 | 100 | |
| Tpr2 | 16.8292 | 0 | 18.75 | 50 | |

Рис. 3.11 – Результати оптимізації налаштувань ПІД-регулятора

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

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

| САР з ПІД-регулятором | Прямі показники якості | | | | Критерій |
|-----------------------|---------------------------------|----------------------|--|----------------------|----------|
| | $\Delta T_o^{\text{МАКС}}$, °С | $T_{\text{пп1}}$, с | $\Delta T_{\text{н}}^{\text{МАКС}}$, °С | $T_{\text{пп2}}$, с | |
| до оптимізації | 1,15 | 100 | 1,1 | 85 | 116 |
| після оптимізації | 1,02 | 53 | 1,2 | 52 | 50 |

Для проведення порівняльного аналізу САР з ПІ- та ПІД-регулятором будемо використовувати структурну схему моделювання, наведену на рис. 3.12. При цьому структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором наведена на рис.3.13, а САР з ПІД-регулятором - на рис. 3.14. Результати порівняння варіантів САР наведені на рис. 3.15 і в таблиці 3.3.

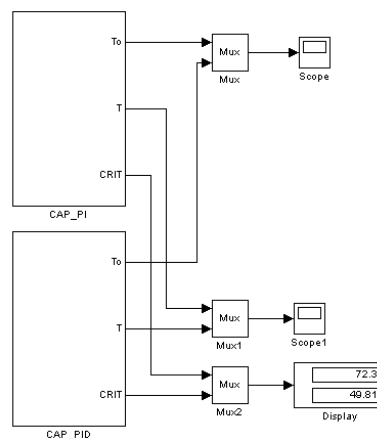


Рис. 3.12 - Структурна схема моделювання для порівняльного аналізу варіантів САР

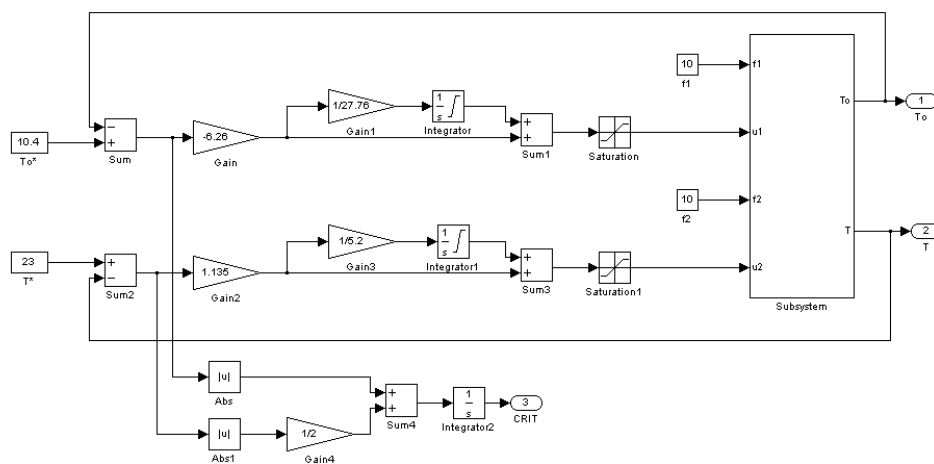


Рис. 3.13– Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором

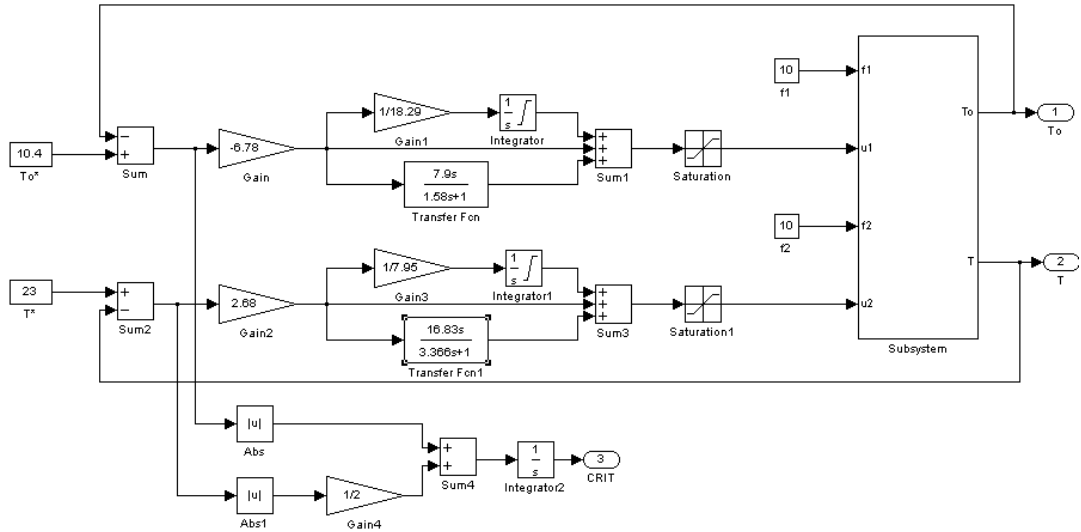


Рис. 3.14 – Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором

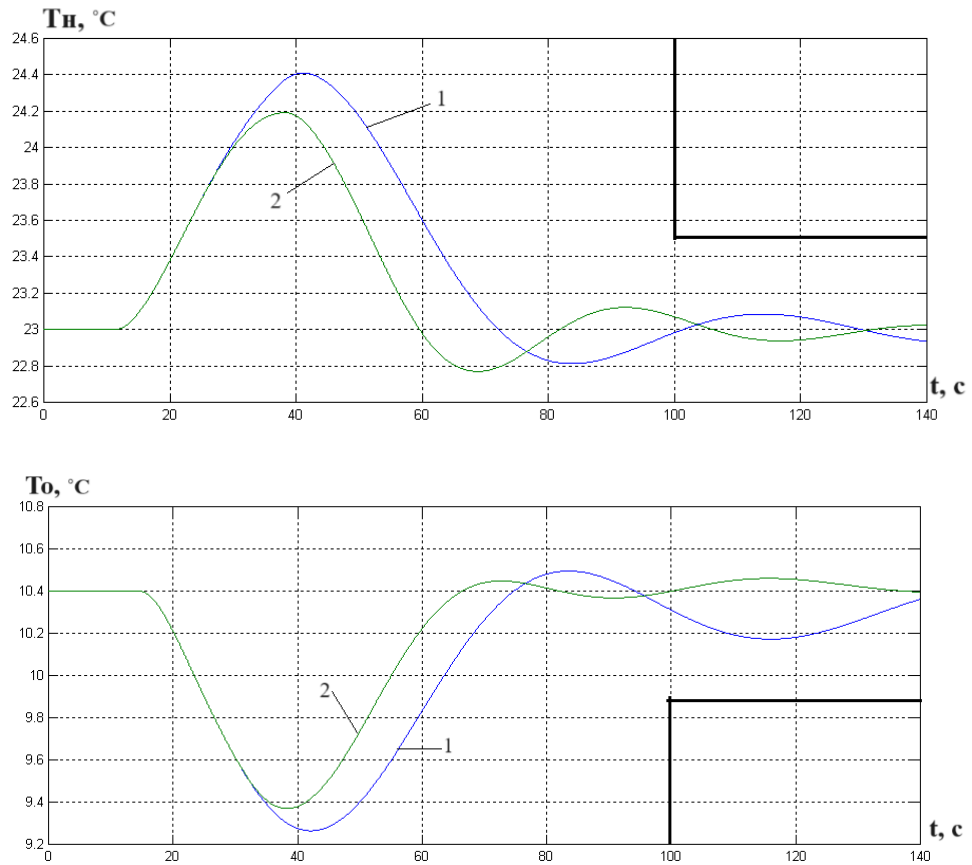


Рис. 3.15 – Результати порівняння варіантів САР: 1 – САР з ПІ-регулятором; 2 – САР з ПІД-регулятором.

Таблиця 3.3 – Результати порівняння варіантів САР

| САР | Прямі показники якості | | | | Критерій |
|-----|--|----------------------------|---|----------------------------|----------|
| | $\Delta T_o^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$ | $T_{\text{пп1}}, \text{c}$ | $\Delta T_{\text{н}}^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$ | $T_{\text{пп2}}, \text{c}$ | |
| ПІ | 1,13 | 62 | 1,4 | 62 | 72 |
| ПІД | 1,02 | 53 | 1,2 | 52 | 50 |

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

В процесі роботи теплообмінника може змінюватися час запізнення в каналах ОК. Слід відзначити, що внаслідок нелінійності, параметри каналів можуть варіювати в межах до $\pm 20\%$. При цьому дослідження САР на грубість слід проводити в умовах дії детермінованих ступінчастих неконтрольованих збурень $10\% \text{х.р.о.}$. Структурні схеми моделювання для аналізу САР з ПІ- та ПІД-регуляторами на грубість наведені на рис. 3.16, 3.17 и 3.18.

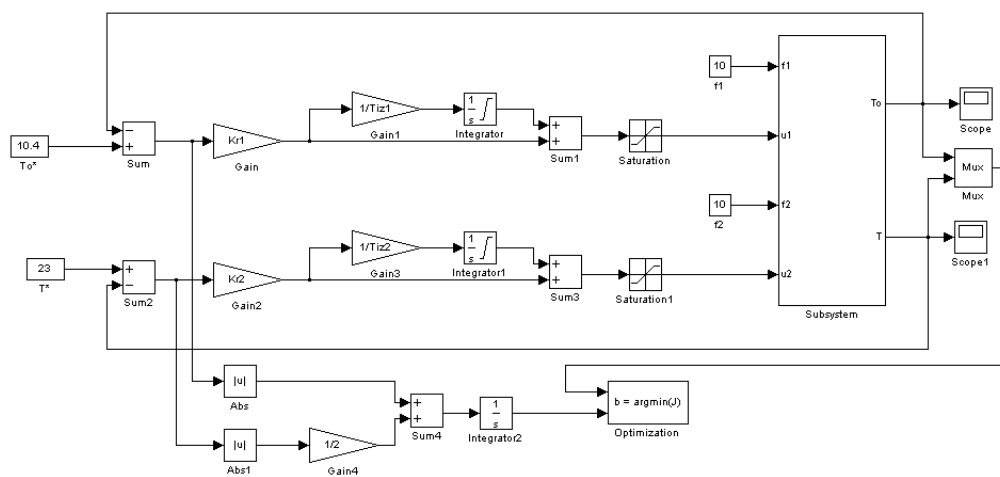


Рис. 3.16 - Структурна схема моделювання для аналізу САР з ПІ-регулятором на грубість

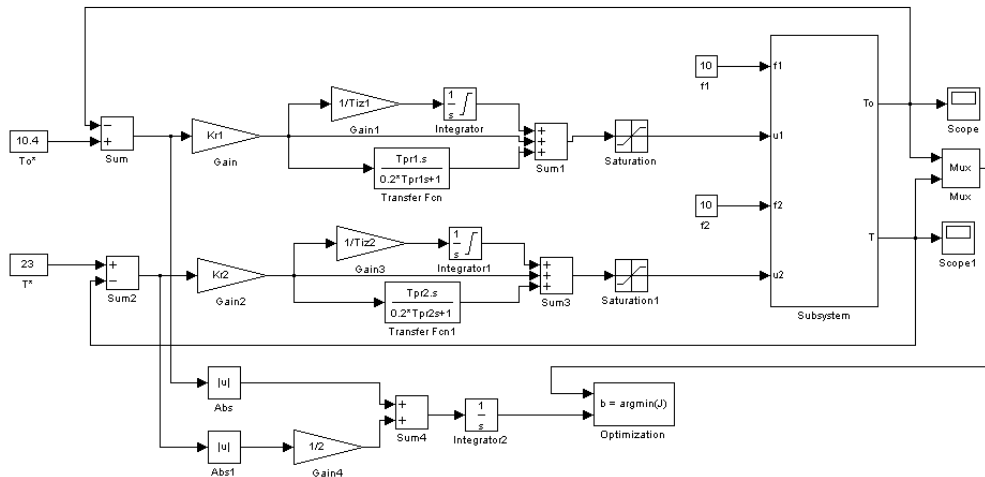


Рис. 3.17 - Структурна схема моделювання для аналізу САР з ПІД-регулятором на грубість

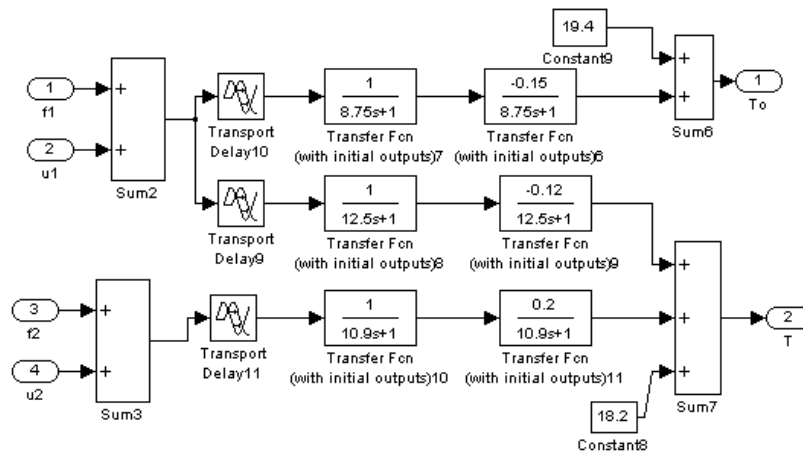


Рис. 3.18 - Структурна схема моделювання ОК для аналізу САР на грубість

Результати оцінки САР з ПІ-регулятором на грубість наведені на рис. 3.19, а САР з ПІД-регулятором - на рис. 3.20. Як видно з результатів, САР і з ПІ-регулятором, і з ПІД-регулятором є грубою, оскільки в умовах варіації параметрів ОК дає перехідні процеси, що сходяться. Але також в умовах дії збурень детермінованого характеру перехідні процеси в САР виходять за рамки регламентних зон.

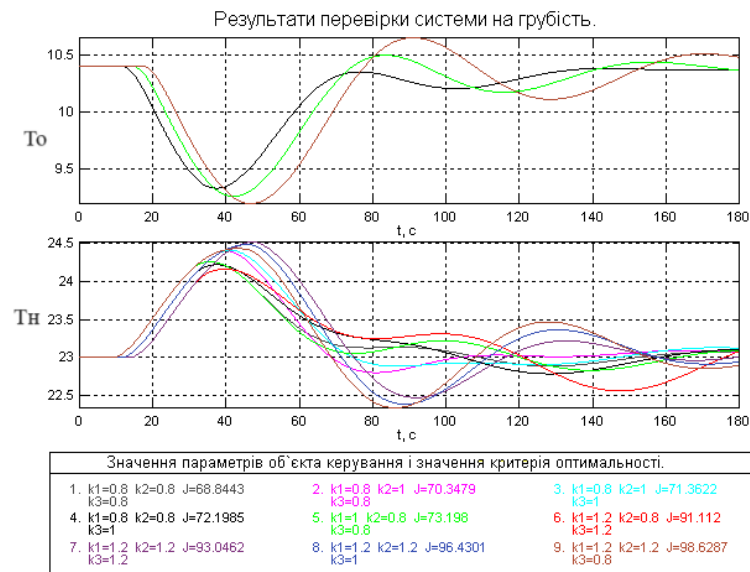


Рис. 3.19 - Аналіз на грубість САР з ПІ-регулятором в умовах дії детермінованих контрольованих та неконтрольованих збурень

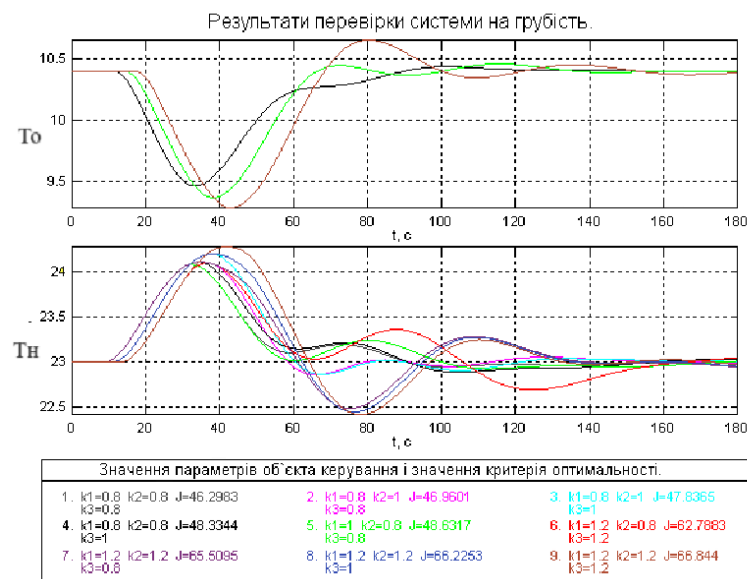


Рис. 3.20 - Аналіз на грубість САР з ПІД-регулятором в умовах дії детермінованих контрольованих та неконтрольованих збурень

Як видно з результатів «Найсприятливішою» для керування є САР з ПІ-регулятором з часами запізнення в каналах ОК, меншими на 20% від номінальних значень. «Найнесприятливішою» для керування є САР з ПІ-регулятором з часом запізнення в прямому каналі “То – u1” ОК та в перехресному каналі ОК, на 20% більших від номінального, а в прямому каналі “Тн – u2” на 20% менше.

Схема моделювання САР базової структури з ПІ-регулятором для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами ОК "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування наведено на рис. 3.21. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 3.22 і зведено в таблицю 6.4.

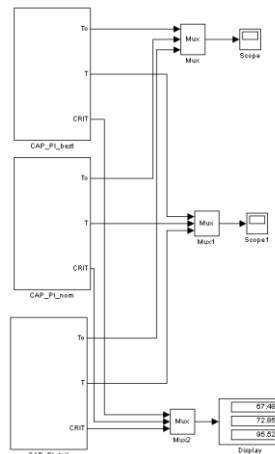


Рис. 3.21 – Схема моделювання САР базової структури з ПІ-регулятором для порівняння варіантів з номінальними, "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування параметрами ОК

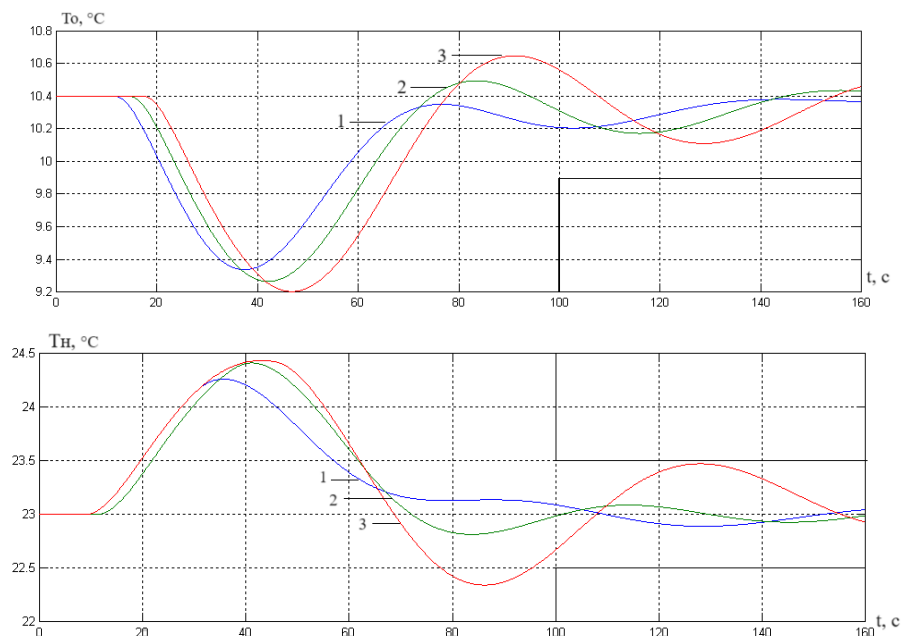


Рис. 3.22 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІ-регулятором: 1 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 2 – при номінальних параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК.

Таблиця 3.4 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІ-регулятором

| Варіант САР (параметри ОК) | Прямі показники якості | | | | Критерій |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------|----------|
| | $\Delta T_o^{\text{МАКС}}$, °C | $T_{\text{пп1}}$, с | $\Delta T_n^{\text{МАКС}}$, °C | $T_{\text{пп2}}$, с | |
| номінальні | 1,13 | 62 | 1,4 | 62 | 72 |
| «найсприятливіші» | 1,07 | 56 | 1,26 | 57 | 67 |
| «найнесприятливіші» | 1,2 | 67 | 1,43 | 95,5 | 95 |

Як видно з результатів «Найсприятливішою» для керування є САР з ПІД-регулятором з часами запізнення в каналах ОК, меншими на 20% від номінальних значень. «Найнесприятливішою» для керування є САР з ПІД-регулятором з часами запізнення в каналах ОК, на 20% більших від номінального.

Схема моделювання САР базової структури з ПІД-регулятором для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами ОК "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування наведено на рис. 3.23. Результати порівняння варіантів САР наведено на рис. 3.24 і зведено в таблицю 3.5.

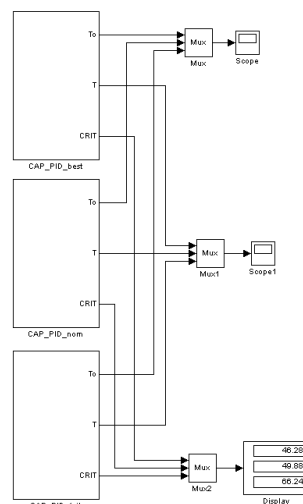


Рис. 3.23 – Схема моделювання САР базової структури з ПІД-регулятором для порівняння варіантів з номінальними, "найсприятливішими" та "найнесприятливішими" для керування параметрами ОК

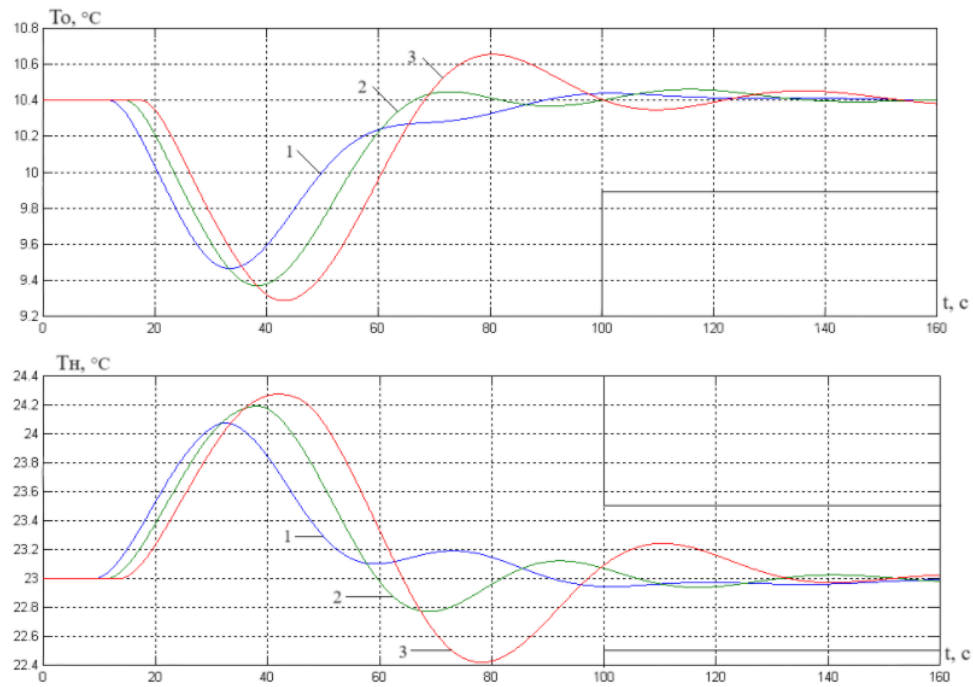


Рис. 3.24 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІД-регулятором: 1 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 2 – при номінальних параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК.

Таблиця 3.5 – Результати порівняння варіантів САР базової структури з ПІД-регулятором

| Варіант САР (параметри ОК) | Прямі показники якості | | | | Критерій |
|-------------------------------|--|----------------------------|--|----------------------------|----------|
| | $\Delta T_o^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$ | $T_{\text{ПП1}}, \text{c}$ | $\Delta T_n^{\text{МАКС}}, ^\circ\text{C}$ | $T_{\text{ПП2}}, \text{c}$ | |
| номінальні | 1,02 | 53 | 1,2 | 52 | 49,88 |
| «найсприятливіші» | 0,93 | 47 | 1,07 | 46 | 46,28 |
| «найнесприятливіші» | 1,1 | 59 | 1,27 | 84 | 66,24 |

Для оцінки САР на грубість у сталому режимі будемо використовувати схеми моделювання, наведені на рис. 3.25 - 3.27. Результати моделювання САР з ПІ-регулятором наведені на рис. 3.28, а з ПІД-регулятором - на рис. 3.29.

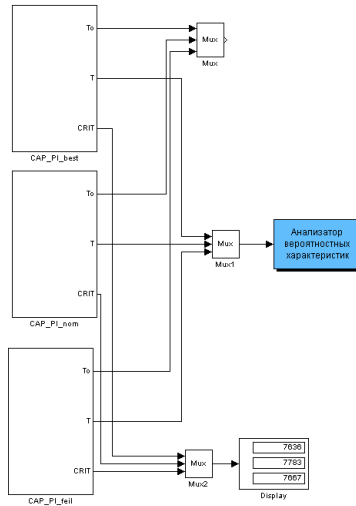


Рис. 3.25 - Структурна схема моделювання САР з ПІ-регулятором для оцінки грубості у сталих режимах

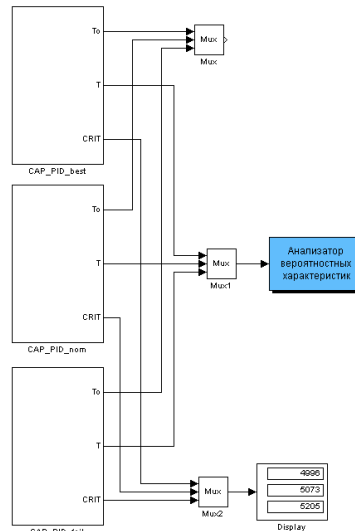


Рис. 3.26 - Структурна схема моделювання САР з ПІД-регулятором для оцінки грубості у сталих режимах

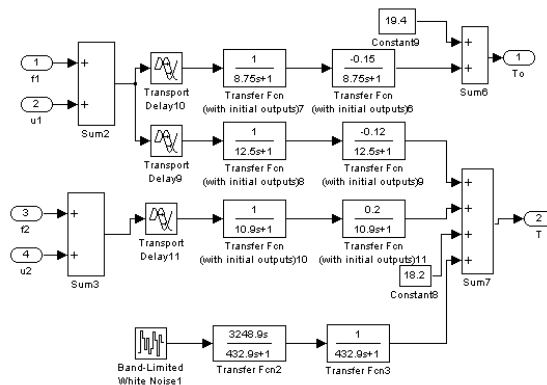


Рис. 3.27 - Структурна схема моделювання ОК для оцінки грубості САР у сталих режимах

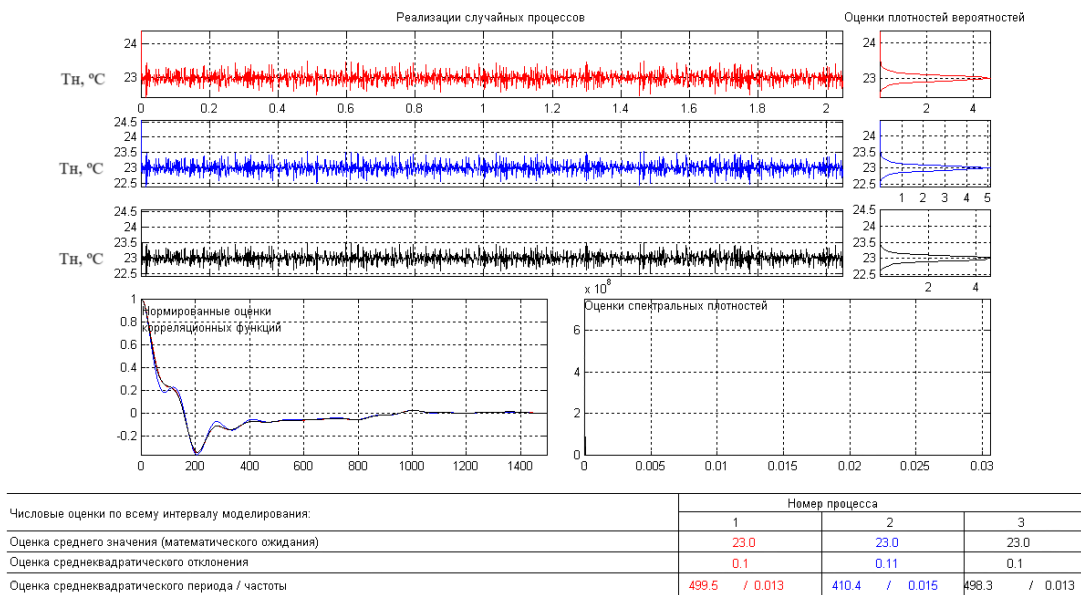


Рис. 3.28 – Результати моделювання САР з ПІ-регулятором

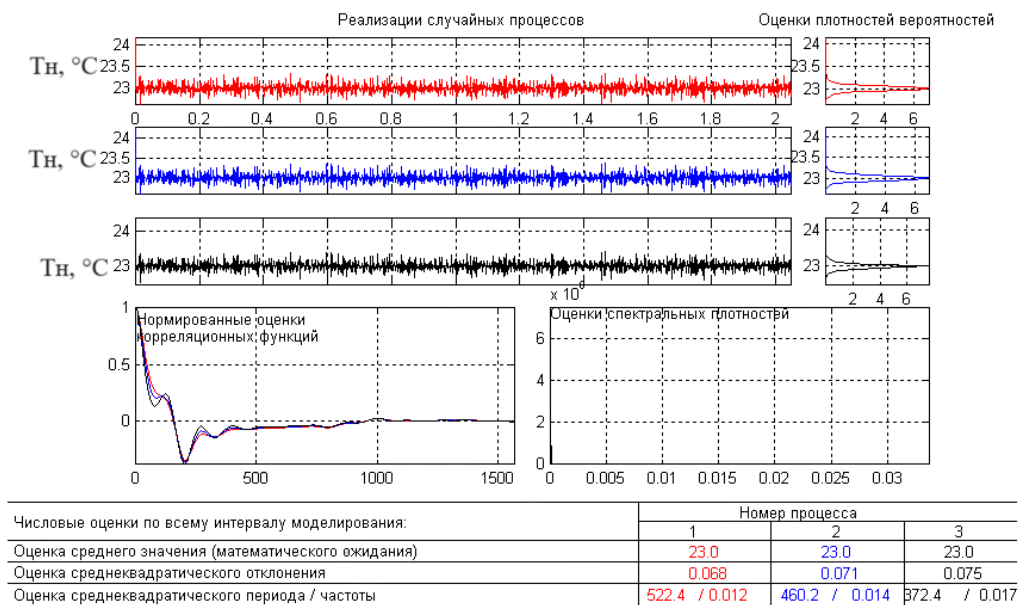


Рис. 3.29 – Результати моделювання САР з ПІД-регулятором

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

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

| Показники якості | Значення параметрів ОК | | |
|--------------------------------|------------------------|------------|---------------------|
| | «найсприятливіші» | номінальні | «найнесприятливіші» |
| Математичне очікування | 23 | 23 | 23 |
| Середньоквадратичне відхилення | 0,1 | 0,11 | 0,1 |
| Середньоквадратичний період | 499,5 | 410,4 | 498,3 |
| Інтегральний критерій | 7636 | 7783 | 7667 |

Таблиця 3.7 – Результати оцінки САР з ПІД-регулятором на грубість в сталих процесах

| Показники якості | Значення параметрів ОК | | |
|--------------------------------|------------------------|------------|---------------------|
| | «найсприятливіші» | номінальні | «найнесприятливіші» |
| Математичне очікування | 23 | 23 | 23 |
| Середньоквадратичне відхилення | 0,068 | 0,071 | 0,075 |
| Середньоквадратичний період | 522,4 | 460,2 | 372,4 |
| Інтегральний критерій | 4996 | 5073 | 5205 |

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

Причиною недостатньої точності САР можуть бути зовнішні умови: вплив інтенсивних контрольованих і неконтрольованих збурень, інтенсивні зміни завдання САР, а також внутрішні особливості ОК і САР

У нашому випадку основною причиною цього є вплив контуру регулювання температури охолодження повітря на контур регулювання температури кондиціонованого повітря. Основним способом підвищення динамічної точності САР температури кондиціонованого повітря у складі двоканальної САР є

забезпечення автономності контуру регулювання температури кондиціонованого повітря.

Основою для підвищення динамічної точності САР послужить принцип двоканальності, суть якого полягає у введенні додаткового каналу впливу через коригуючий зв'язок. Відповідно до принципу автономності структурна схема автономної САР матиме вигляд, наведений на рис. 3.30.

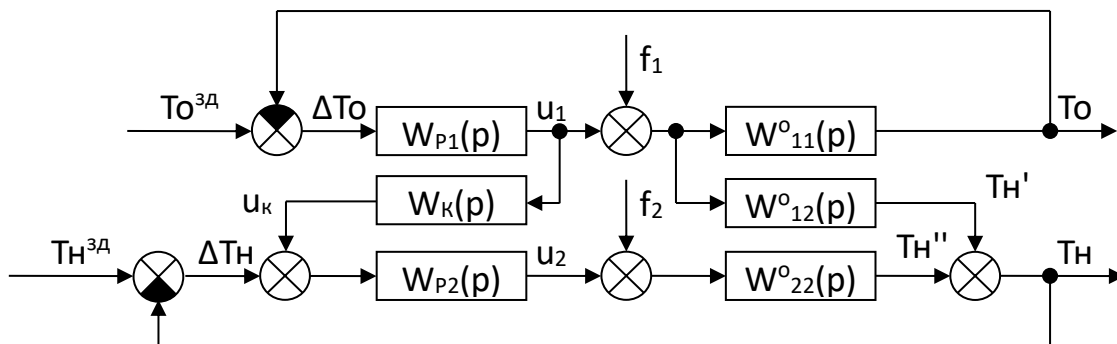


Рис. 3.30. – Структурна схема автономної САР

На схемі $W_K(p)$ - передатна функція коригуючого зв'язку.

Обов'язковою умовою реалізації САР є фізична можливість організації додаткового каналу впливу для контрольованого збурення, а для САР, що розглядається, така можливість існує. Достатньою умовою реалізації САР є фізична реалізованість передаточної функції коригуючого зв'язку.

Умови для забезпечення автономності каналу регулювання T_n від каналу регулювання T_o :

$$T_n' + T_n'' = T_n = 0$$

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

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

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

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

Якщо

$$W_{12}^O(p) = \frac{-0,12 \cdot e^{-48,5p}}{16,25p+1}; \quad W_{22}^O(p) = \frac{0,2 \cdot e^{-18,75p}}{15,63p+1};$$

$$W_{P2}(p) = 2,68 \cdot \left(1 + \frac{1}{8p} + 16,8p\right) = 2,68 \cdot \frac{133,6p^2 + 8p + 1}{8p}$$

Тоді

$$\begin{aligned} W_K(p) &= -\frac{W_{12}^0(p)}{W_{P2}(p) \cdot W_{22}^0(p)} = -\frac{\frac{-0,12 \cdot e^{-48,5p}}{16,25p + 1}}{2,68 \cdot \frac{133,6p^2 + 8p + 1}{8p} \cdot \frac{0,2 \cdot e^{-18,75p}}{15,63p + 1}} = \\ &= -\frac{-0,12}{2,68 \cdot 0,2} \cdot \frac{e^{-48,5p}}{e^{-18,75p}} \cdot \frac{8p \cdot (15,63p + 1)}{(16,25p + 1) \cdot (133,6p^2 + 8p + 1)} = \\ &= 0,22 \cdot e^{-29,75} \cdot \frac{8p \cdot (15,63p + 1)}{(16,25p + 1) \cdot (133,6p^2 + 8p + 1)} \end{aligned}$$

У цьому випадку передаточної функції коригуючого зв'язку буде такою:

$$W_K(p) = 0,22 \cdot e^{-29,75} \cdot \frac{8p \cdot (15,63p + 1)}{(16,25p + 1) \cdot (133,6p^2 + 8p + 1)}$$

Структурна схема моделювання передаточної функції коригуючого зв'язку при одиничному ступінчатому впливі наведена на рис. 3.31, а його перехідна характеристика показана на рис. 3.32.

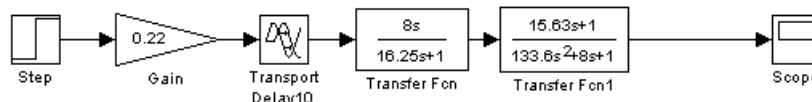


Рис. 3.31 – Структурна схема моделювання передаточної функції коригуючого зв'язку

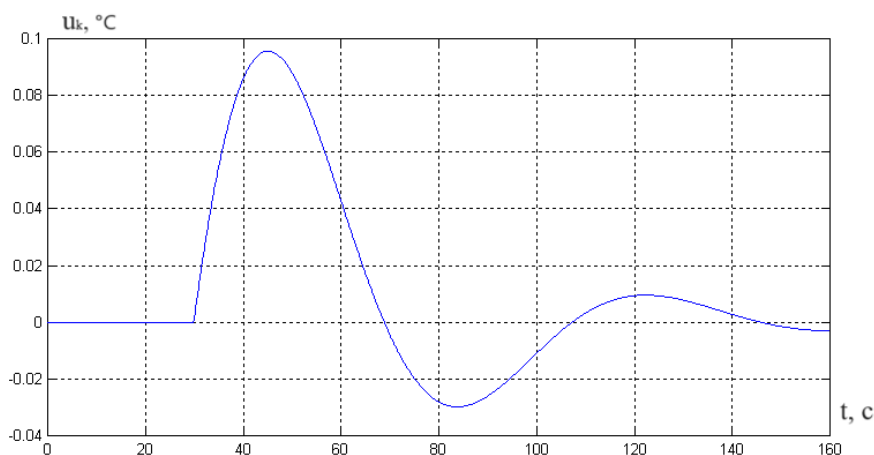


Рис. 3.32 – Перехідна характеристика коригуючого зв'язку

Отримана передатна функція коригуючого зв'язку є занадто складною передаточною функцією, тому її доцільно спростити, зберігши її диференціюючі властивості. Спрощена передатна функція коригуючого зв'язку буде наступною:

$$W_K(p) = e^{-T_{K1}p} \cdot \frac{T_{K2}p}{(T_{K3}p + 1)^2} = e^{-T_{K1}p} \cdot \frac{T_{K2}p}{T_{K3}p + 1} \cdot \frac{1}{T_{K3}p + 1}$$

В якості початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку візьмемо наступні значення параметрів: $T_{K1} = 29,75$; $T_{K2} = 8$; $T_{K3} = 15,63$. Для уточнення початкових наближень параметрів коригуючих зв'язків скористаємося схемою моделювання, наведеною на рис. 3.33. Результати розрахунку початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку наведені на рис. 3.34, а результати моделювання показані на рис. 3.35.

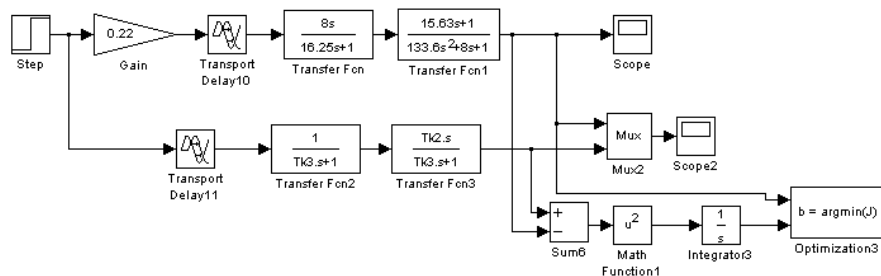
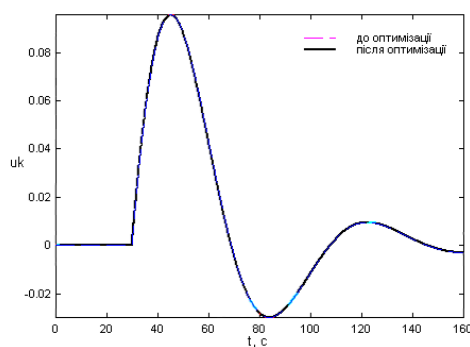


Рис. 3.33 – Схема моделювання уточнення початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку



| Ім'я змінної | Оптимальне значення | Нижня межа | Початкове наближення | Верхня межа | Значення критерію оптимальності: |
|--------------|---------------------|------------|----------------------|-------------|---|
| Tk1 | 32.7557 | 0 | 29 | 50 | до - 2.4558 |
| Tk2 | 2.2716 | -10 | 15 | 50 | після - 0.031697 |
| Tk3 | 8.2658 | 0 | 16 | 50 | |
| | | | | | Кількість кроків процедури оптимізації: |
| | | | | | максимальна - 1000 |
| | | | | | фактична - 128 |

Рис. 3.34 – Результати розрахунку початкових наближень параметрів коригуючого зв'язку

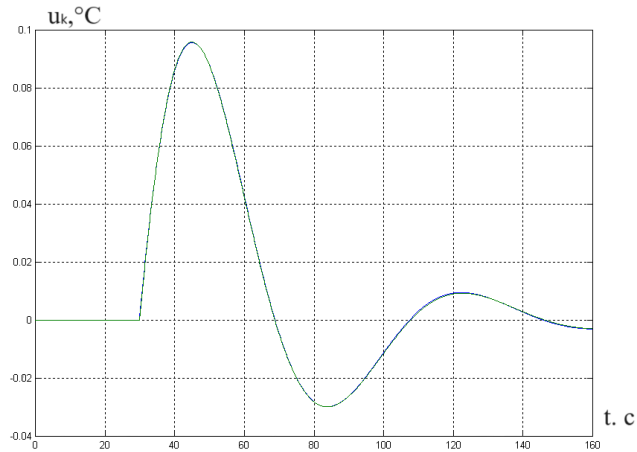


Рис. 3.35 – Перехідна характеристика розрахункової і спрощеного коригуючого зв'язку: синій- розрахунковий коригуючий зв'язок; зелений – спрощений коригуючий зв'язок.

Схема моделювання САР з підвищеною динамічною точністю для оптимального параметричного синтезу коригуючого зв'язку наведена на рис. 3.36, а результати оптимізації показані на рис. 3.37.

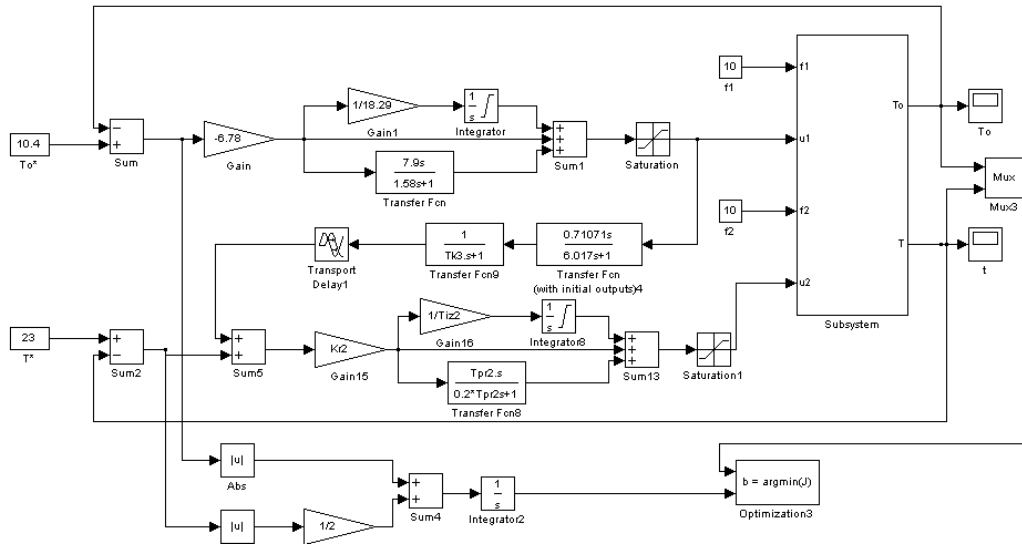


Рис. 3.36 – Схема моделювання САР з підвищеною динамічною точністю для оптимального параметричного синтезу коригуючого зв'язку

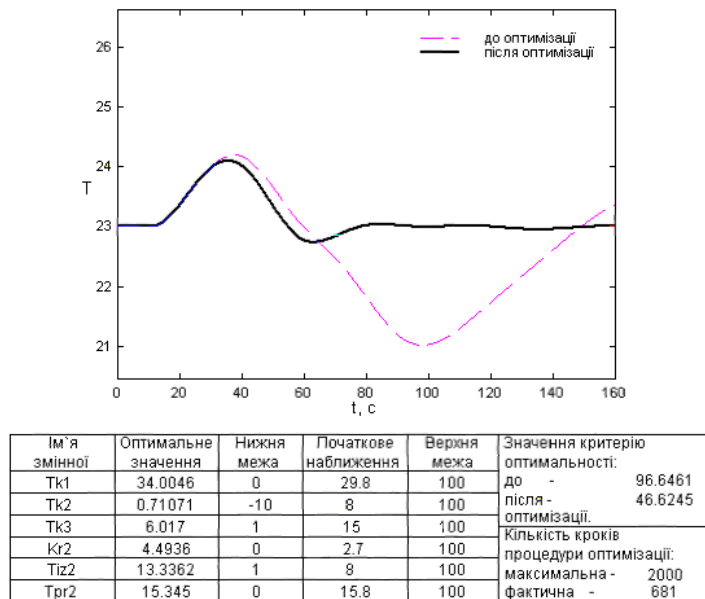


Рис. 3.37 – Результати оптимізації параметрів коригуючого зв'язку

Як і у випадку з САР базової структури, САР підвищеної динамічної точності вивчається на грубість в умовах зміни параметрів ОК, а саме час затримки в каналах ОК $\pm 20\%$.

Результати випробувань САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах зміни параметрів ОК наведені на рис. 3.38. Як видно з результатів оцінки САР на грубість, в умовах варіації параметрів САР дає збіжні перехідні процеси, а значить, САР груба.

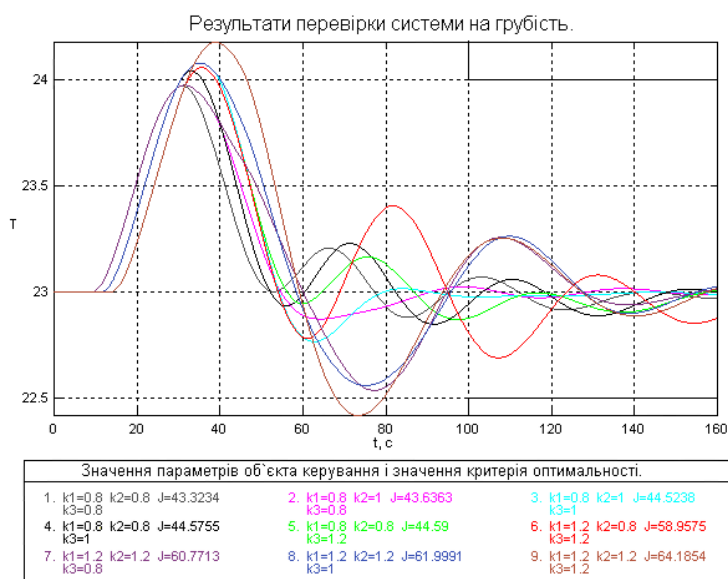


Рис. 3.38 – Аналіз САР підвищеної динамічної точності на грубість в умовах зміни параметрів ОК

Як видно з результатів оцінки CAP на грубість, найбільш «сприятливим» для контролю є номінальний час затримки по всіх каналах на 20% менше. Найбільш «несприятливою» для управління є комбінація параметрів ОК, що відповідають часу затримки на всіх каналах, які на 20% перевищують їх номінальні значення.

Схема моделювання CAP підвищеної динамічної точності для порівняння варіантів з номінальними параметрами, а також з параметрами CAP «найсприятливіші» і «найнесприятливіші» для контролю показаний на рис. 3.39. Результати порівняння варіантів CAP наведені на рис. 3.40 та узагальнено в таблиці 3.8.

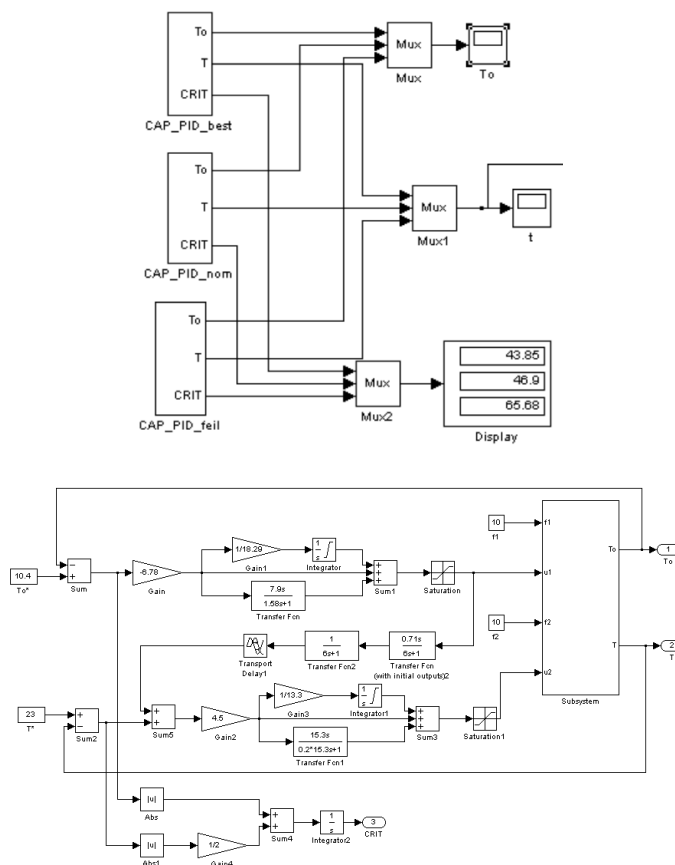


Рис. 3.39 – Покращена динамічна точність схеми моделювання CAP для порівняння варіантів з номінальними, «сприятливими» та «несприятливими» параметрами для керування ОК

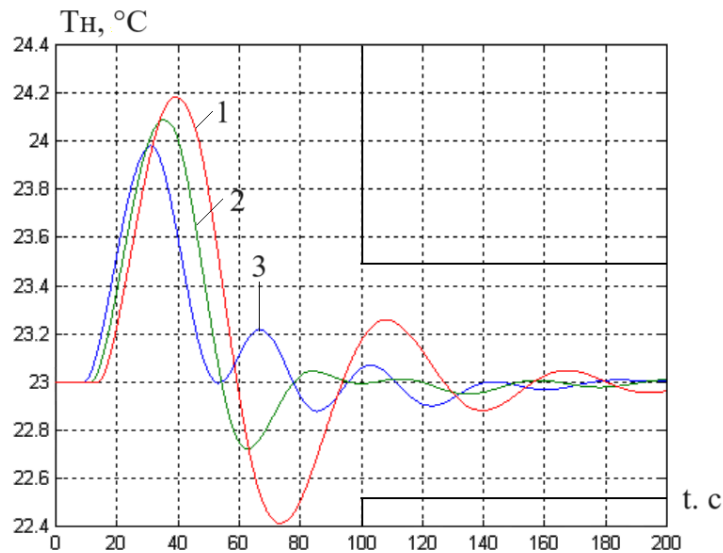


Рис. 3.40 – Результати порівняння варіантів САР з підвищеною динамічною точністю: 1 – при «найсприятливіших» для керування параметрах ОК; 2 – при номінальних параметрах ОК; 3 – при «найнесприятливіших» для керування параметрах ОК.

Таблиця 3.8 – Результати порівняння варіантів САР з підвищеною динамічною точністю

| Варіант САР (параметри ОК) | Прямі показники якості | | Критерій |
|-------------------------------|---------------------------------|---------------------|----------|
| | $\Delta T_n^{\text{МАКС}}$, °C | $T_{\text{пп}}$, с | |
| номінальні | 1,09 | 47 | 45,9 |
| «найсприятливіші» | 0,98 | 41 | 43,85 |
| «найнесприятливіші» | 1,19 | 80 | 65,68 |

Як видно з результатів аналізу САР на грубість, САР підвищеної динамічної точності є грубою, тому що при будь-якому поєднанні параметрів ОК дає збіжні перехідні процеси, які, до того ж, не виходять за межі зони незначних відхилень.

Для оцінки САР по грубості в стаціонарному стані скористаємося схемою моделювання, наведеною на рис. 3.41. Результати моделювання наведені на рис. 3.42 і таблицею 3.9.

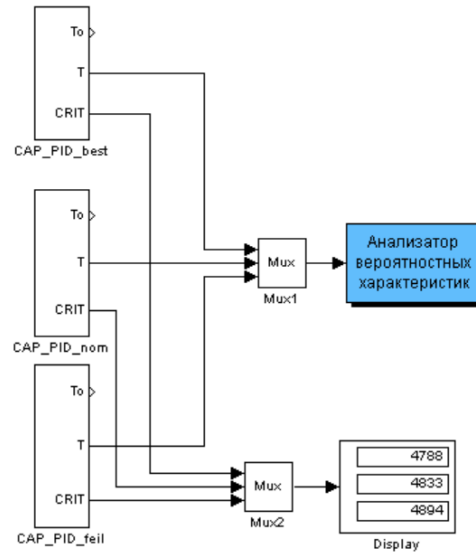


Рис. 3.41 – Схема моделювання САР підвищеної динамічної точності для оцінки
грубості в сталих режимах

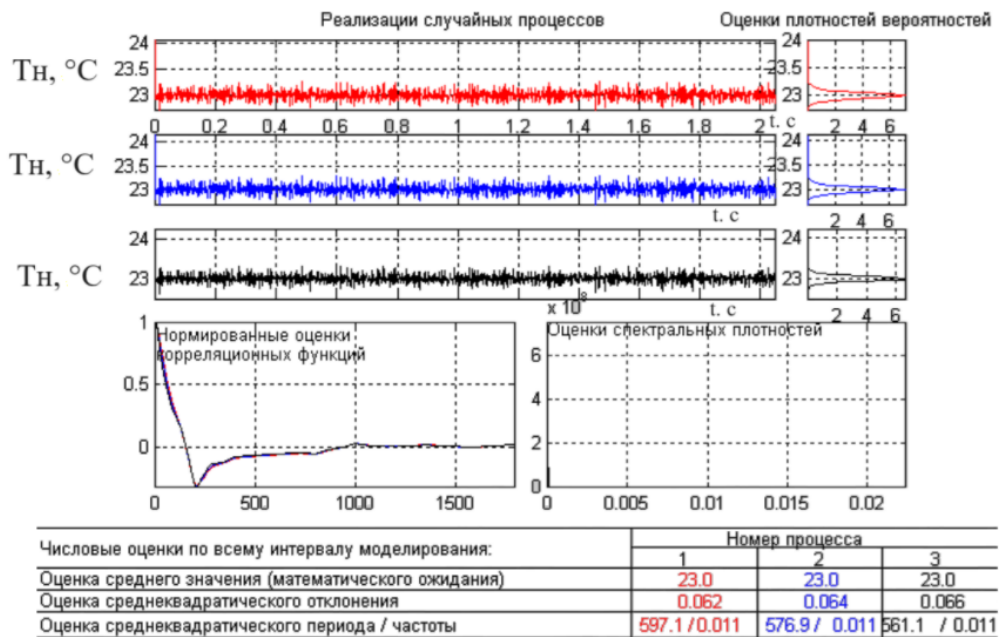


Рис. 3.42 - Результаты оцінки САР підвищеної динамічної точності на грубість у
сталих режимах

Таблиця 3.9 – Результати оцінки САР підвищеної динамічної точності для грубості в сталих режимах

| Показники якості | Значення параметрів ОК | | |
|--------------------------------|------------------------|------------|---------------------|
| | «найсприятливіші» | номінальні | «найнесприятливіші» |
| Математичне очікування | 23 | 23 | 23 |
| Середньоквадратичне відхилення | 0,062 | 0,064 | 0,066 |
| Середньоквадратичний період | 597,1 | 576,9 | 561,1 |
| Інтегральний критерій | 4788 | 4833 | 4894 |

Для порівняння якості роботи САР базової конструкції та підвищеної динамічної точності була розроблена структурна схема моделювання, яка наведена на рис. 3.43. Результати порівняння при неконтрольованих збуреннях $f_1=10$, $f_2=10$ результати порівняння наведені на рис. 3.44 і табл. 3.10, також проведемо експеримент при значенні $f_1=10$, $f_2=0$, результати порівняння наведені на рис. 3.45 і табл. 3.11, та коли неконтрольовані збурення відсутні, але змінимо $T_0^{зд}$ з 10,4 на 11,4 результати порівняння на рис. 3.46 і табл. 3.12

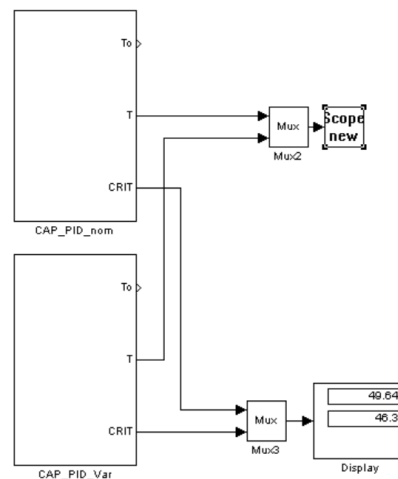


Рис. 3.43 - Структурна схема моделювання для порівняння САР базової структури та САР збільшеної динамічної точності у перехідних режимах

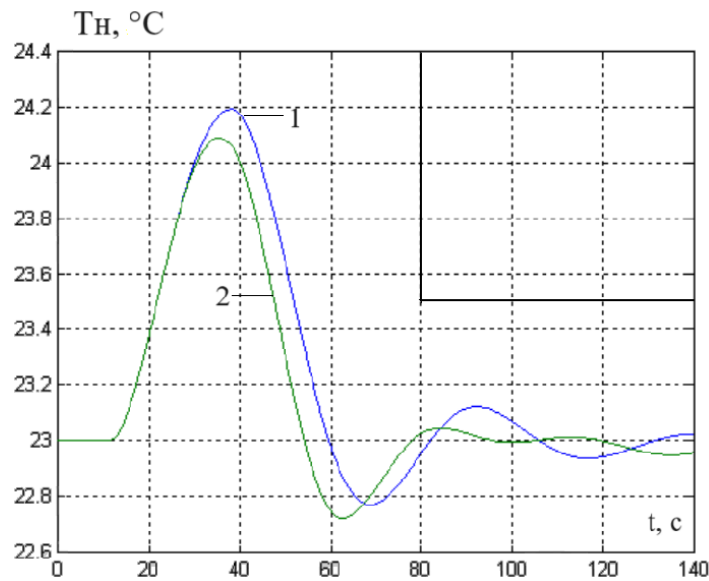


Рис. 3.44 – Перехідні процеси в САР коли $f_1=10$, $f_2=10$: 1 – базової структури; 2 – підвищеної динамічної точності.

Таблиця 3.10 – Результати порівняння базової структури САР і САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

| Структура САР | Прямі показники якості | | Критерій |
|--------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------|
| | $\Delta T_n^{\text{МАКС}}$ | $T_{\text{пн}}, \text{с}$ | |
| Базова | 1,2 | 52 | 49,88 |
| Підвищеної динамічної точності | 1,09 | 47 | 45.9 |

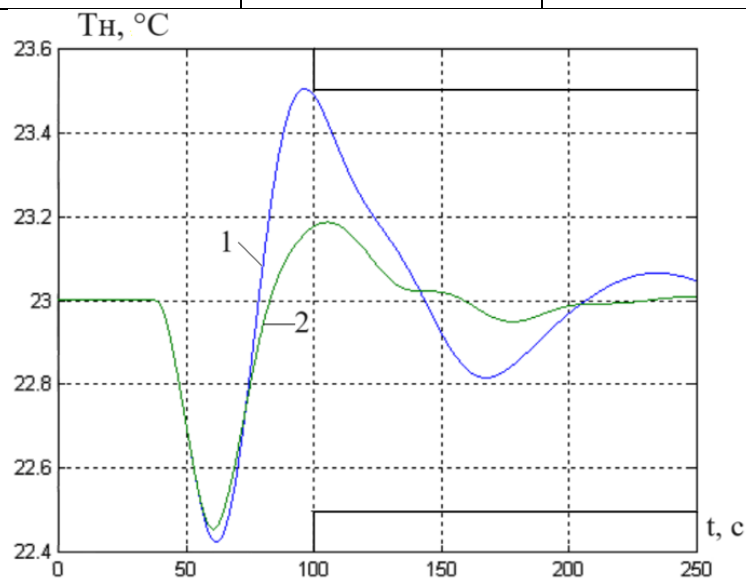


Рис. 3.45 – Перехідні процеси в САР коли $f_1=10$, $f_2=0$: 1 – базової структури; 2 – підвищеної динамічної точності.

Таблиця 3.11 – Результати порівняння базової структури САР і САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

| Структура САР | Прямі показники якості | | Критерій |
|--------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------|
| | $\Delta T_H^{\text{МАКС}}$ | $T_{\text{ПП}}, \text{с}$ | |
| Базова | 0,58 | 97 | 50,63 |
| Підвищеної динамічної точності | 0,54 | 65 | 41,3 |

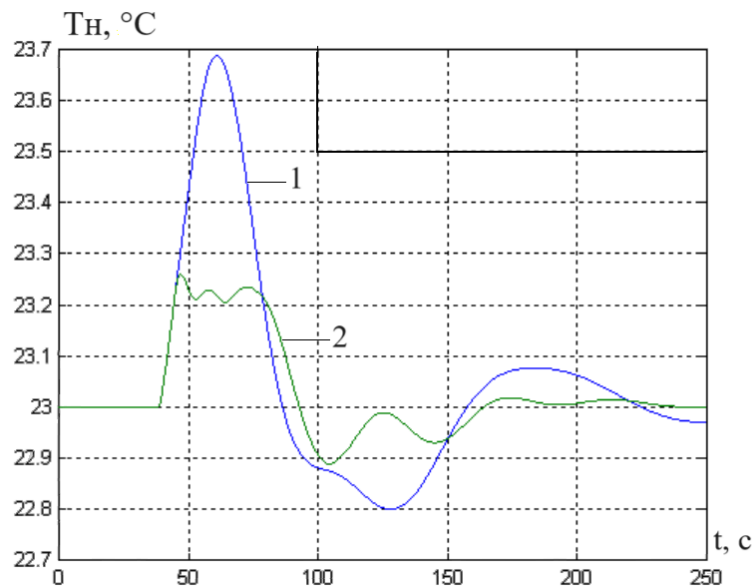


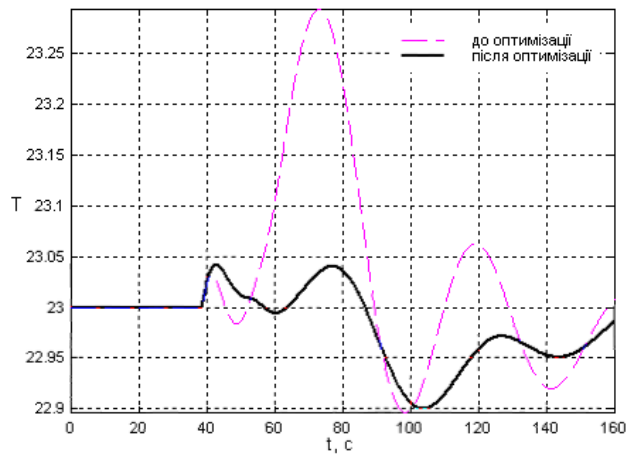
Рис. 3.46 – Перехідні процеси в САР при $T_0^{\text{зд}} = 11,4$, а f_1 та $f_2=0$: 1 – базової структури; 2 – підвищеної динамічної точності.

Таблиця 3.12 – Результати порівняння базової структури САР і САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

| Структура САР | Прямі показники якості | | Критерій |
|--------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------|
| | $\Delta T_H^{\text{МАКС}}$ | $T_{\text{ПП}}, \text{с}$ | |
| Базова | 0,68 | 71 | 44,39 |
| Підвищеної динамічної точності | 0,26 | 0 | 35,82 |

Додатково проведемо оптимізацію параметрів коригуючого зв'язку при зміні заданого значення $T_0^{\text{зд}} = 11,4$, та при відсутності неконтрольованих збурень, результати оптимізації наведені на рис. 3.47. Після цього знову порівняємо САР

базової конструкції та підвищеної динамічної точності при неконтрольованих збуреннях $f_1=10$, $f_2=10$ результати порівняння наведені на рис. 3.48, та коли неконтрольовані збурення відсутні, але змінимо $To^{зд}$ з 10,4 на 11,4 результати порівняння на рис. 3.49.



| Ім'я змінної | Оптимальне значення | Нижня межа | Початкове наближення | Верхня межа | Значення критерію оптимальності: |
|--------------|---------------------|------------|----------------------|-------------|---|
| Tk1 | 26.7356 | 0 | 26.9721 | 100 | до - 33.5201 |
| Tk2 | 2.4127 | -10 | 1.36279 | 100 | після - 30.9149 |
| Tk3 | 17.8628 | 1 | 11.3748 | 100 | оптимізації: |
| | | | | | Кількість кроків процедури оптимізації: |
| | | | | | максимальна - 2000 |
| | | | | | фактична - 93 |

Рис. 3.47 – Результати оптимізації параметрів коригуючого зв'язку при відсутності неконтрольованих збурень та $To^{зд} = 11,4$

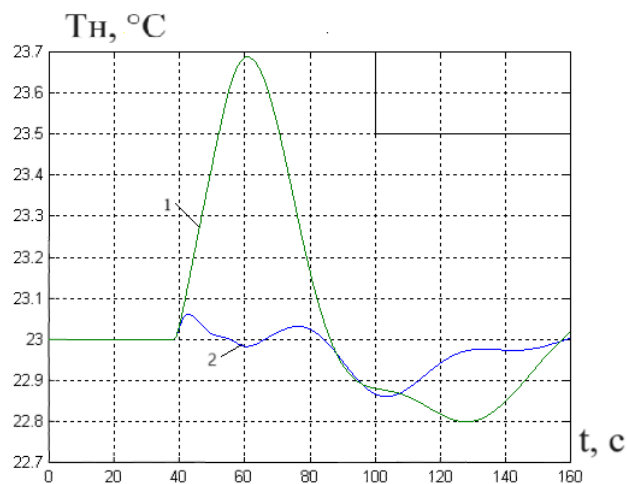


Рис. 3.48 – Перехідні процеси в САР при $To^{зд} = 11,4$, а f_1 та $f_2 = 0$: 1 – базової структури; 2 – підвищеної динамічної точності.

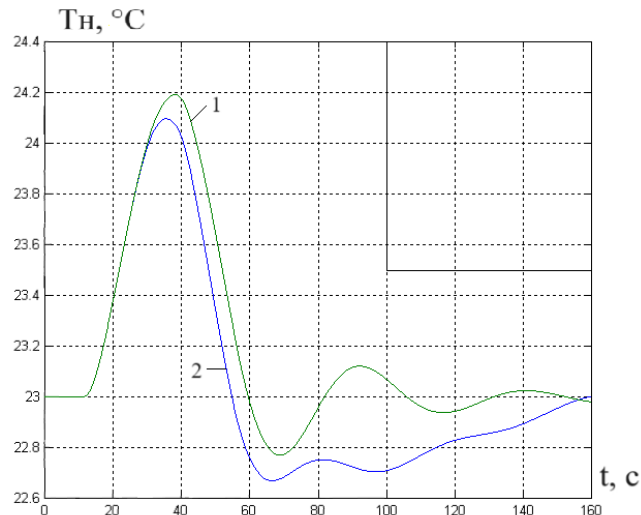


Рис. 3.49 – Перехідні процеси в САР коли $f1=10$, $f2=10$: 1 – базової структури; 2 – підвищеної динамічної точності.

Як видно з результатів порівняння перехідних процесів САР базової конструкції та підвищеної динамічної точності після оптимізації коригуючого зв'язку при відсутності неконтрольованих збурень та $To^{зд} = 11,4$, реакція каналу T_n на зміну заданого значення To мінімальна, але перехідні процеси в САР коли $f1=10$, $f2=10$ погіршилися.

Для порівняння якості базової структури САР і підвищеної динамічної точності в сталих режимах була розроблена структурна схема моделювання, яка наведена на рис. 3.50. Результати порівняння наведені на рис. 3.51 і у таблиці 3.13.

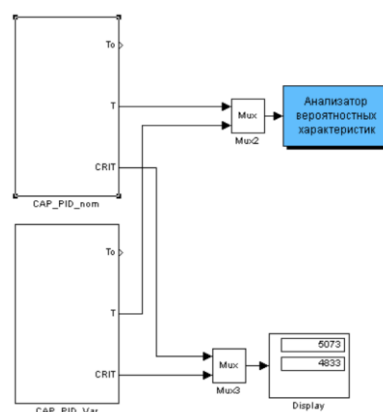


Рис. 3.50 – Структурна схема моделювання для порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності в сталих режимах

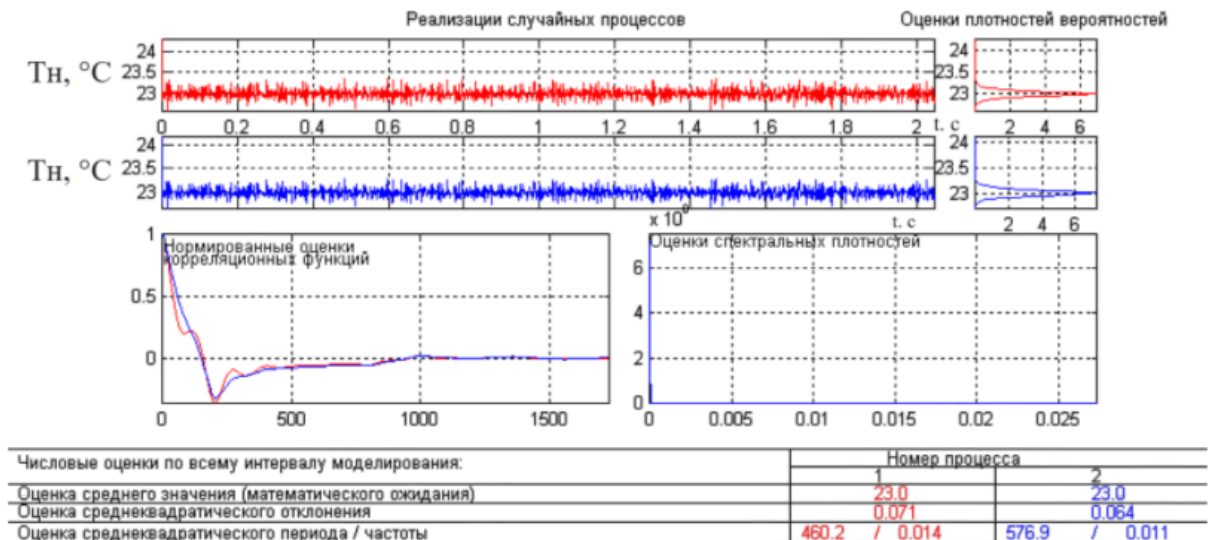


Рис. 3.51 – Результати порівняння САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

Таблиця 3.13 – Результати порівняння базової структури САР і САР підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

| Показники якості | Значення параметрів ОК | |
|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| | Базова | Підвищеної динамічної точності |
| Математичне очікування | 23 | 23 |
| Середньоквадратичне відхилення | 0,071 | 0,064 |
| Середньоквадратичний період | 460,2 | 576,9 |
| Інтегральний критерій | 5073 | 4833 |

Дослідження варіантів САР показали, що як базова структура САР, так і САР з підвищеною динамічною точністю є грубими.

3.4 Висновки з розділу

САР з ПІД-регулятором в перехідних режимах задовольняє гранично припустимим вимогам, а САР з ПІ-регулятором не задовольняє цим вимогам за максимальним динамічним відхиленням. В принципі, параметри регуляторів в результаті параметричної оптимізації змінюються досить суттєво, але і налаштування регуляторів, отримані за інженерними методиками, дають нам стійкі

перехідні процеси в САР. Тому можна зробити висновок, що інженерні методики розрахунку параметрів регулятора на практиці можуть застосуватися, хоча існує значний запас підвищення динамічної точності САР.

САР підвищеної динамічної точності задовольняє гранично припустимі вимогам за температурою охолодження повітря, та задовольняє – за температурою кондиціонованого повітря.

Після додавання коригуючого зв'язку максимальне динамічне відхилення зменшилося на 9%, час перехідного процесу зменшився на 10%, інтегральний критерій зменшився на 9%.

З усього вище сказаного можна зробити висновок, що за більшістю показників якості САР підвищеної динамічної точності є кращою, ніж САР з базовою структурою. Тому САР підвищеної динамічної точності використовувати доцільно.

4 КОНКРЕТИЗАЦІЯ ЗАДАЧІ І РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

4.1 Конкретизація задачі логічного керування технологічним процесом кондиціонування повітря

В якості об'єкта модернізації системи автоматизації обрана ділянка кондиціонування повітря.

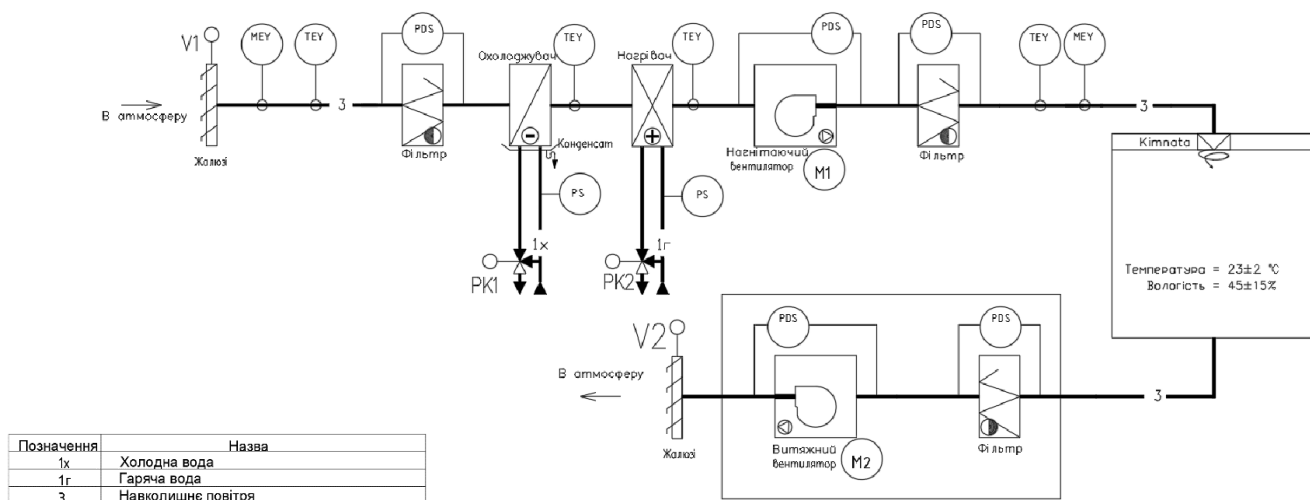


Рис. 4.1 – Апаратурно-технологічна схема процесу кондиціонування повітря

Вихідні дані розглянемо такі характеристики обладнання (рис. 4.1):

PK1 - u_1 – положення регулюючого органу подачі холодної води, % ;

PK2 - u_2 – положення регулюючого органу подачі гарячої води, %.

Опис технологічного процесу.

Кондиціонер має підготувати повітря з температурою $T_n = 23 \text{ }^\circ\text{C}$, та відносною вологістю $\varphi = 45\%$. Для досягнення заданої відносної вологості використовується охолодження повітря за допомогою водяного теплообмінника (охолоджувач) який має охолодити повітря згідно I-D діаграмі (рис. 1.2) до точки роси (100% відносної вологості), щоб вологовміст d становив $8,4 \text{ г/кг}$, цьому параметру відповідає температура $T_o = 10,4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Підготовку повітря забезпечує кондиціонер, розташований у внутрішньому приміщенні венткамери. Система використовує 100% свіжого повітря, транспортування повітря відбувається за допомогою вентилятора з назад загнутими лопатками. Перший ступінь фільтрації класу F5, охолодження повітря за допомогою водяного теплообмінника до температури $T_o = 10,4$ °C, нагрів повітря за допомогою водяного теплообмінника до температури $T_n = 23$ °C, другий ступінь фільтрації класу F9, після цього повітря потрапляє у приміщення. Витяжку повітря з приміщень забезпечує витяжний кондиціонер у внутрішньому виконанні, розташований у венткамері. Система автоматизації використовує датчики температури, вологості та інших параметрів для постійного моніторингу та регулювання умов кондиціонування повітря.

4.2 Формалізація регламентів функціонування технологічного агрегату: запуском, технологічною зупинкою та зупинки у випадку нештатної ситуації технологічного процесу у вигляді блок-схем та їх опис

Електродвигун жалюзі V1, V2 - керуються дискретними сигналами, жалюзі захищають кондиціонер від несприятливих погодних умов та бруду коли кондиціонер не працює, електродвигун вентилятора M1 - керується дискретним сигналом, вентилятор подає підготовлене повітря до приміщення, електродвигун вентилятора M2 - керується дискретним сигналом, вентилятор видаляє повітря з приміщення, клапан подачі холодної води до охолоджувача - аналогової дії (PK1), положення клапана впливає на вологість повітря, клапан подачі гарячої води до нагрівача - аналогової дії (PK2), положення клапана впливає на температуру повітря. Також використаємо дані попередніх досліджень з ідентифікації ОК та CAP.

В нашому випадку використовується комбінований принцип побудови систем, тобто частина керуючих впливів формується на основі розімкнутого принципу, а частина – замкнутого. Прикладом розімкнутого принципу є

електродвигуни вентиляторів, а прикладом замкнутого принципу, регулюючі клапани подачі води до теплообмінників.

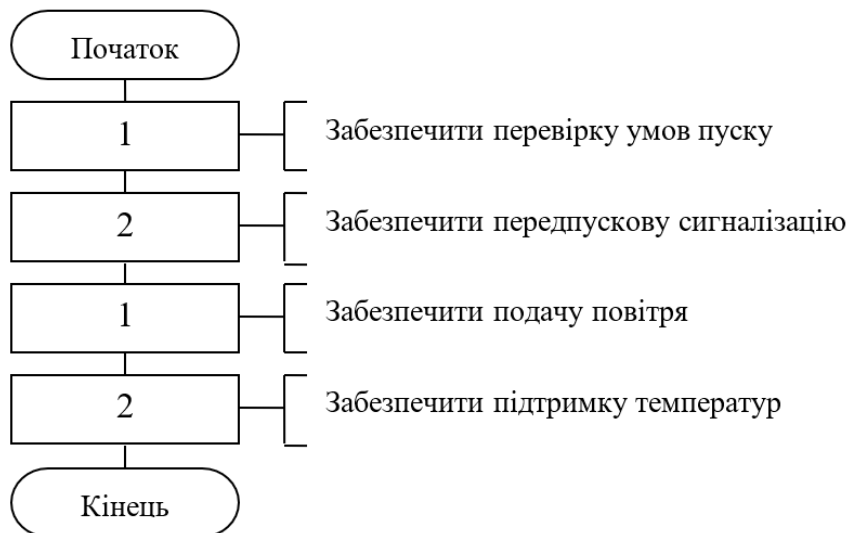


Рис. 4.2 – Блок-схема регламенту на пуск

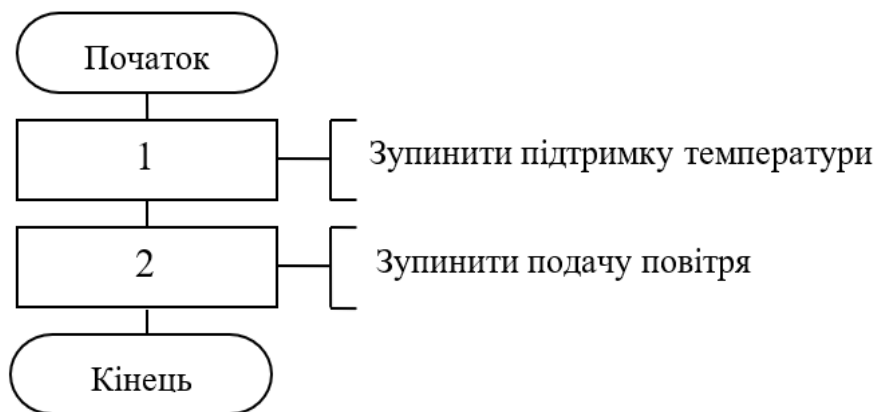


Рис. 4.3 – Блок-схема регламенту на зупинку

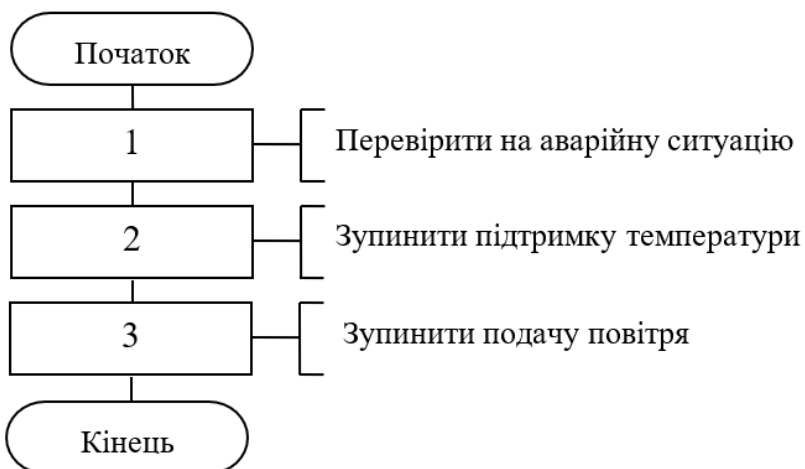


Рис. 4.4 – Блок-схема регламенту аварійної зупинки

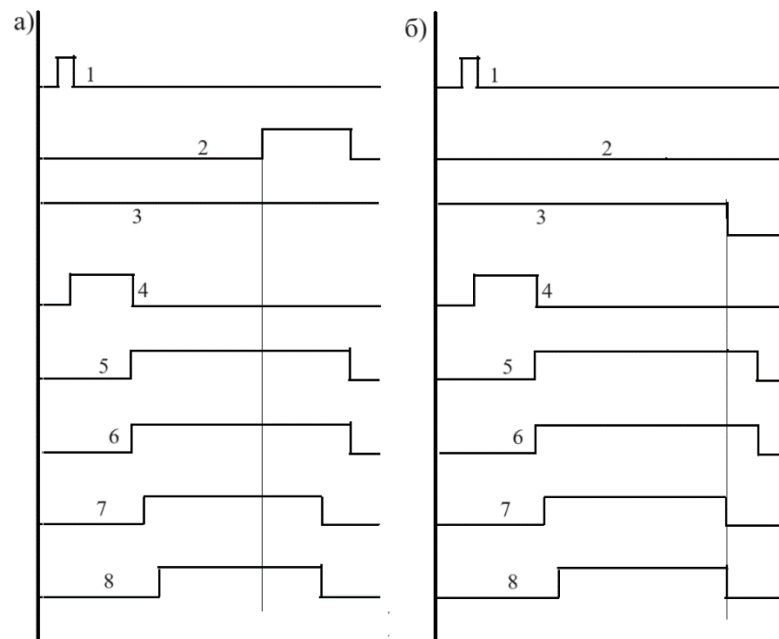


Рис. 4.5 – Циклограма процесів а) технологічний пуск - технологічна зупинка ТП б) технологічний пуск - аварійна зупинка ТП

- 1 - Сигнал натискання кнопки «Пуск»
- 2 - Сигнал натискання кнопки «Стоп»
- 3 - Сигнал наявності тиску холодної та гарячої води
- 4 - Сигнал спрацьовування ППЗС
- 5 - Сигнал спрацьовування V1
- 6 - Сигнал спрацьовування V2
- 7 - Сигнал спрацьовування M1
- 8 - Сигнал спрацьовування M2

4.3 Розробка алгоритмів автоматичного керування: пуском, технологічною та аварійною зупинкою (циклом роботи) технологічного агрегату у вигляді блок-схем та їх опис

Перевірку умов, необхідних для пуску виконують за допомогою послідовної перевірки сигналів від датчиків – реле тиску PS1, PS2 до яких відносяться тиск води у двох теплообмінниках. Наявність сигналів свідчить про наявність необхідних умов.

За наявності вказаних умов розпочинається процедура пуску, а за відсутності будь-якої з умов процедура припиняється. Після чого необхідно сповістити персонал про початок ведення технологічного процесу, для цього використовується звукова сигналізація, що включається на деякий час, після виключення сигналізації необхідно забезпечити безперешкодну подачу повітря в кондиціонер, відкриваємо жалюзі V1 та V2, через 5 секунд запускаємо електродвигун вентилятора M1, та ще через 5 секунд M2. Далі відкриваємо РК1 на 80%. При температурі $T_o < 25\text{ }^\circ\text{C}$ підключаємо контур регулювання температури на виході з нагрівача (T_n) який керує РК2, а після умови $T_o < 15\text{ }^\circ\text{C}$, вмикається контр регулювання температури на виході з охолоджувача (T_o), що в свою чергу керує клапаном РК1. Алгоритм технологічного пуску вказаний у блок-схемі рисунку 4.6.



Рис. 4.6 – Блок-схема алгоритму управління пуском ділянки в роботу

Щоб виконати зупинку технологічного процесу треба натиснути кнопку «Stop», після чого відключиться контур регулювання температури на виході з охолоджувача, в наслідок чого закриється клапан РК1, через деякий час температура на датчику T_o перевище значення в $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ тим самим подав сигнали на відключення контуру регулювання температури на виході з нагрівача, в наслідок чого закриється клапан РК2, також подається сигнал на вимкнення отримають двигуни вентиляторів М1 та М2 та через деякий час жалюзі V1 та V2. Алгоритм технологічної зупинки вказаний у блок-схемі на рисунку 4.7.

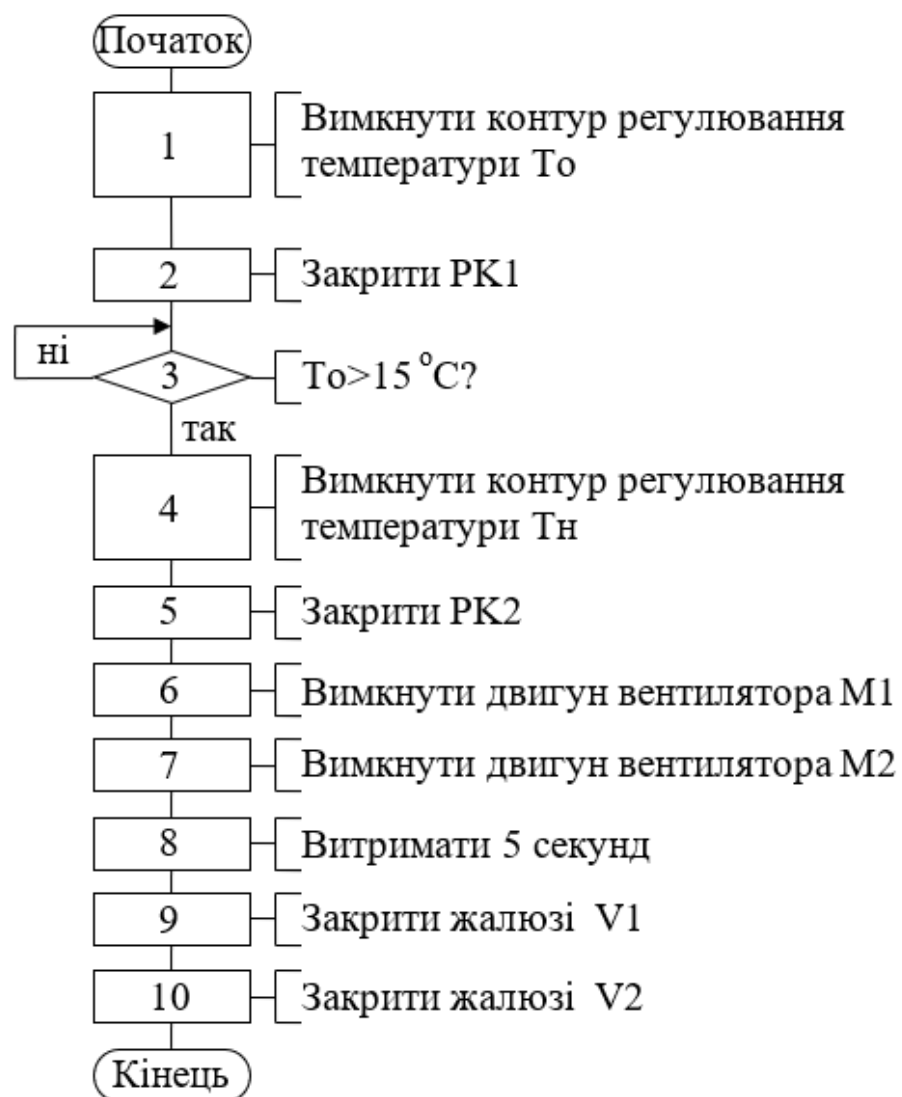


Рис. 4.7 – Блок-схема алгоритму управління нормальною зупинкою

У разі коли установка кондиціонування працює у нормальному режимі та при цьому стає відсутній один з сигналів – тиск холодної води, тиск гарячої води,

система переходить в режим аварійної зупинки. Аварійна зупинка здійснюється наступним чином - вимикається контур регулювання температур, вимикається вентилятор M1, вимикається вентилятор M2, та через 5 секунд закриваються жалюзі V1 та V2. Алгоритм аварійної зупинки вказаний у блок-схемі рисунку 4.8.

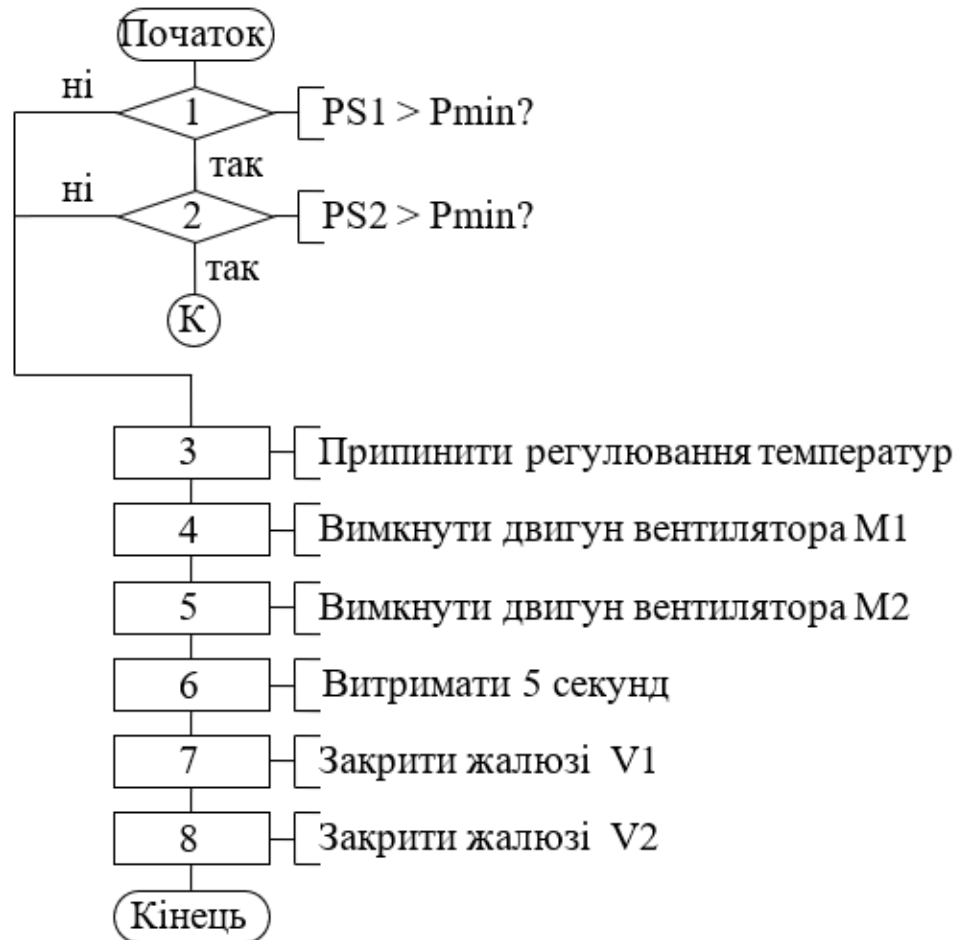


Рис. 4.8 – Блок-схема алгоритму управління аварійною зупинкою

Підчас ТП можуть відбуватися аварійні ситуації, розглянемо одну з них.

Змоделюємо подію, забився фільтр та спрацювало реле тиску та подало сигнал на екран оператора, якщо не відреагувати на повідомлення, фільтр заб'ється ще більше та знову спрацює реле тиску котре зупинить ТП.

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

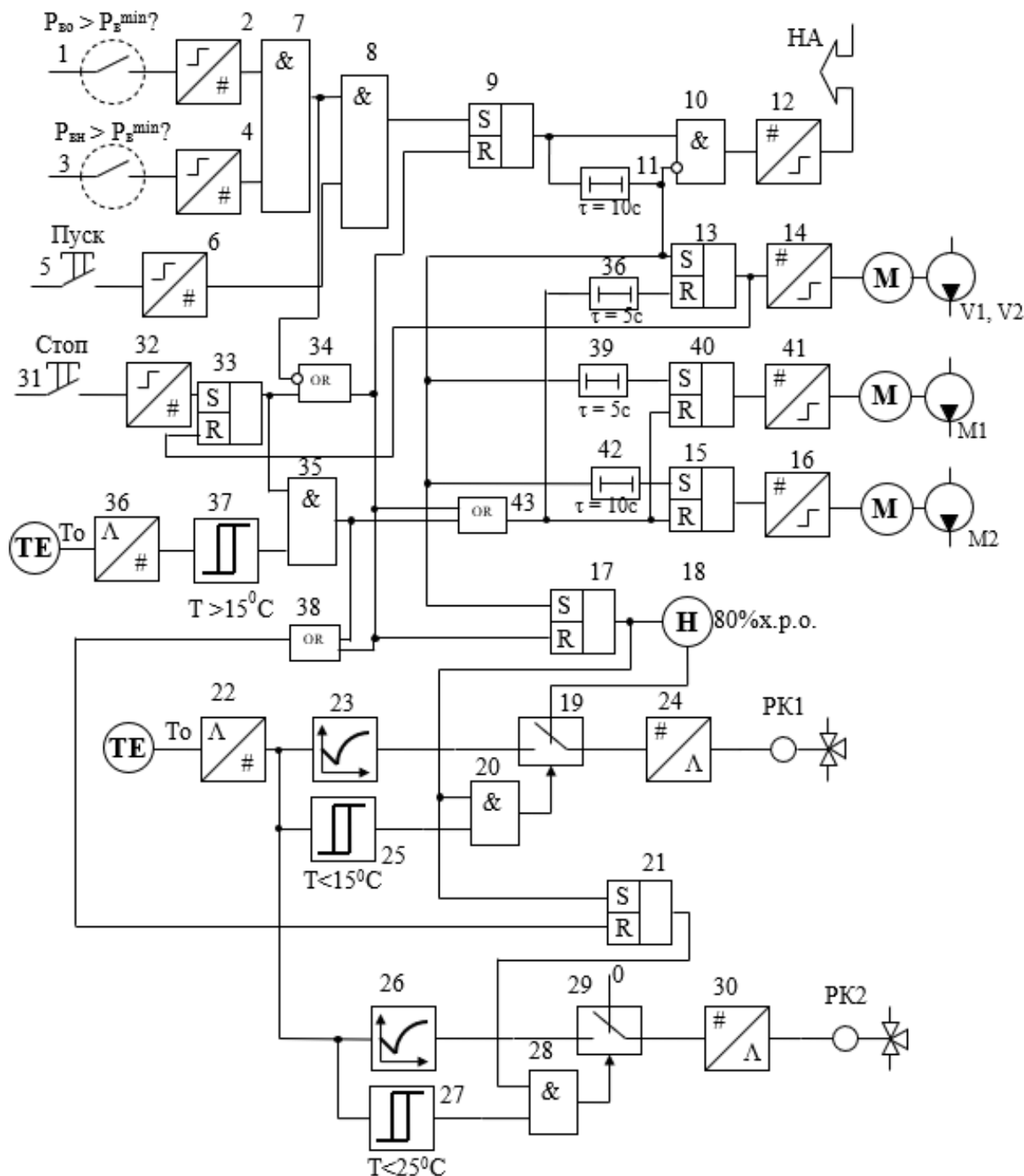


Рис. 4.9 - Функціонально-логічна схема управління процесом

Для розробки цієї схеми необхідні алгоритм автоматичного управління пуском апарату і його зупином. Формування умов необхідних для запуску здійснюється елементом 7 та 8 по сигналам від датчика тиску холодної води 1,

датчика тиску гарячої води 3 та кнопки пуск 5, які поступають в схему через ДЦП 2, 4, 6. Підхоплення сигналу пуск виконує RS-тригер 9. Після появи логічної 1 на виході RS вмикається передпускова сигналізація звукова (ППЗС). Витримку часу забезпечує таймер 11. Формує сигнал ППЗС елемент 10 через ЦДП 12. По завершенні ППЗС від таймера 11 починає свою роботу установка. Вмикається RS – тригери 13, через таймер 39 на 40, та через таймер 42 на 15, разом з ним 17. Сигнал з тригера 13 формує та подає сигнал на відкриття жалюзі V1, V2, з тригера 40 та 15 на запуск двигунів M1, M2, а з тригера 17 формується та подається сигнал на відкриття РК1 на 80%, та подає логічну одиницю на RS-тригер 20, що вмикає контр регулювання T_n за умови $T_o < 25^{\circ}\text{C}$ для цього використовуються елементи 27, 28 та 29. Після відкриття РК1 температура T_o починає зменшуватися й після того як умова $T_o \leq 15^{\circ}\text{C}$ орган 25 подає сигнал перемикання елемент 20 після чого вмикається контур регулювання T_o . Зупинка починається з сигналу від елемента 31 який потрапляє через ДЦП 32 на RS – тригер 33, а після на ресет тригера 9 та 17 тим самим вимикає КР регулювання температури T_o тим самим закриває КР1. Після чого температура починає зростати, що дає нам зрозуміти, що КР1 насправді вимкнено. При умовах коли $T_o > 15^{\circ}\text{C}$ та наявності сигналу логічної одиниці з елемента 33, сигнал йде на ресет елементу 15 після чого зупиняються двигуни вентиляторів M1, M2, та на ресет елементу 21 тим самим вимикає КР регулювання температури T_n , тим самим закриває КР2, в той самий час сигнал потрапляє на таймер 36 який через 5 секунд передає сигнал на ресет елемента 13 після чого закриваються жалюзі V1, V2 та логічна одиниця потрапляє на ресет елементу 33. У разі коли установка кондиціонування працює у нормальному режимі та при цьому сигнал від датчика тиску холодної води 1, або датчика тиску гарячої води 3 – логічний 0, то сигнал потрапляє через інвертований вхід елемента 34 логічна 1 з якого потрапляє на ресет елементів 9, 15, 40, 17, 20 та на таймер 36, який через 10 секунд передає сигнал на ресет елементу 13 та 33. Тобто спочатку вимикаються двигуни вентиляторів та РК температур, а через 5 секунд закриваються жалюзі, та скидається сигнал «Стоп».

4.5 Імітаційне моделювання системи логічного керування.

Нижче наведено моделювання роботи САК здійснюване в середовищі MATLAB використані характеристики ОК та параметри налаштування регуляторів повинні бути ідентичними здобутим у попередніх КП (курс «ТАК»).. В програмі ми повторили всі взаємозв'язки що були наведені в функціонально-логічній схемі, але додали деякі елементи через особливості ПЗ (рис. 4.9) аби перевірити правильність роботи. На рис. 4.10 наведена схема моделювання роботи САК, реалізована в середовищі імітаційного моделювання.

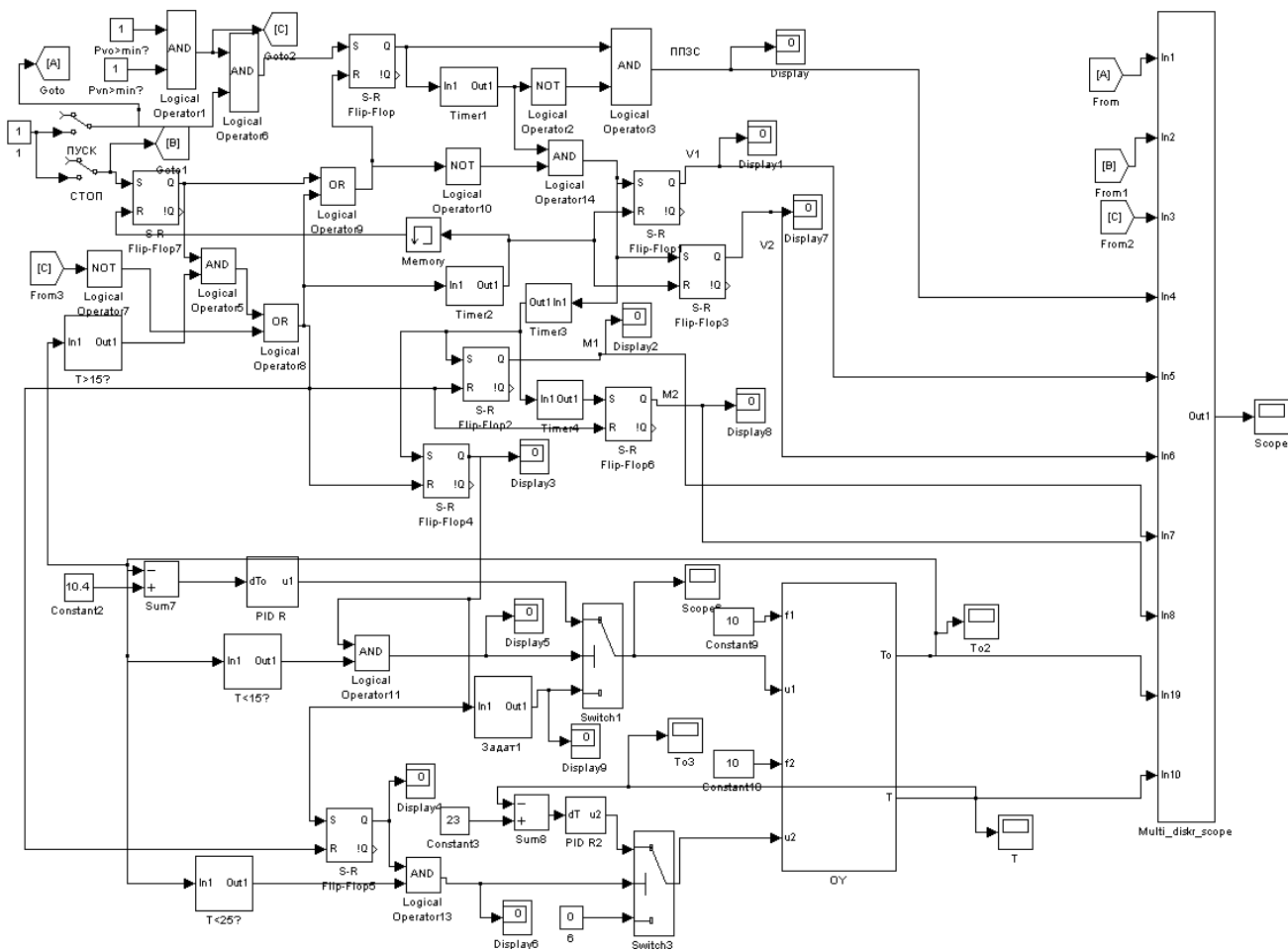


Рис. 4.10 – Реалізація функціонально-логічної схеми ТП в середовищі імітаційного моделювання

Модель функціонально-логічної схеми ТП в середовищі імітаційного моделювання, управління пуском апарату і його зупином. Блоками $PS1 > \min?$ та

PS2>min? моделюємо сигнали від датчиків тиску холодної та гарячої води. При натисканні «Пуск» та дотримання умов запуску через логічні елементи «І» та через RS-тригер запускає ППЗС та на таймер 1 який вмикає її. По завершенні ППЗС від таймера 1 починає свою роботу установка. Логічна 1 йде на RS – тригери які відкривають жалюзі, через 5 секунд вмикають двигун M1 та ще через 5 секунд M2 подається сигнал на відкриття РК1 на 80% через блок «Задат1», разом з цим йде сигнал на RS – тригер 5 що вмикає КР Тн, за умови $T_o < 25^{\circ}\text{C}$ задатчик перемикається у положення 2. Після відкриття РК1 температура T_o починає зменшуватися й після того як умова $T_o \leq 15^{\circ}\text{C}$ задатчик перемикається у положення 2 вмикаючи КР T_o . При натисканні кнопки «Стоп» сигнал надходить на тригер 7, а після на ресет тригера 8 та 4 тим самим вмикає КР регулювання температури T_o , тим самим закриває КР1. Після чого температура починає зростати. При умовах коли $T_o > 15^{\circ}\text{C}$ та наявності сигналу логічної одиниці з тригеру 7, сигнал йде на ресет тригерів 2, 6 після чого зупиняються двигуни вентиляторів M1, M2, та на ресет тригеру 5 тим самим вмикає КР регулювання температури Тн, тим самим закриває КР2. В той самий час сигнал потрапляє на таймер 2 який через 5 секунд передає сигнал на ресет тригерів 1, 3 після чого закриваються жалюзі V1, V2 та логічна одиниця потрапляє на ресет тригеру 7. У разі коли установка кондиціонування працює у нормальному режимі та при цьому сигнал від датчика тиску холодної або гарячої води – логічний 0, то сигнал потрапляє через логічний оператор «Not» після якого логічна 1 потрапляє на ресет тригерів 4, 5, 8, 2, 6 та на таймер 2, який через 5 секунд передає сигнал на ресет тригерів 1, 3, 8. Тобто спочатку вмикаються двигуни вентиляторів та РК температур, а через 5 секунд закриваються жалюзі, та скидається сигнал «Стоп».

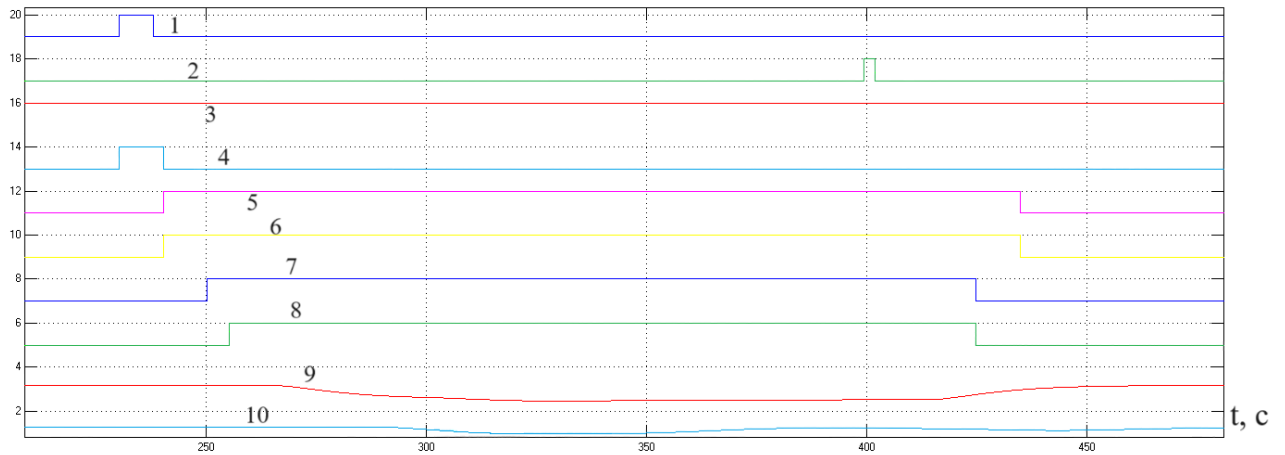


Рис. 4.11 – Циклограма процесу пусків та зупинки ТП

- 1 - Сигнал натискання кнопки «Пуск»
- 2 - Сигнал натискання кнопки «Стоп»
- 3 - Сигнал наявності тиску холодної та гарячої води
- 4 - Сигнал спрацьовування ППЗС
- 5 - Сигнал спрацьовування V1
- 6 - Сигнал спрацьовування V2
- 7 - Сигнал спрацьовування M1
- 8 - Сигнал спрацьовування M2
- 9 - Значення з термометру T_o
- 10 - Значення з термометру T_n

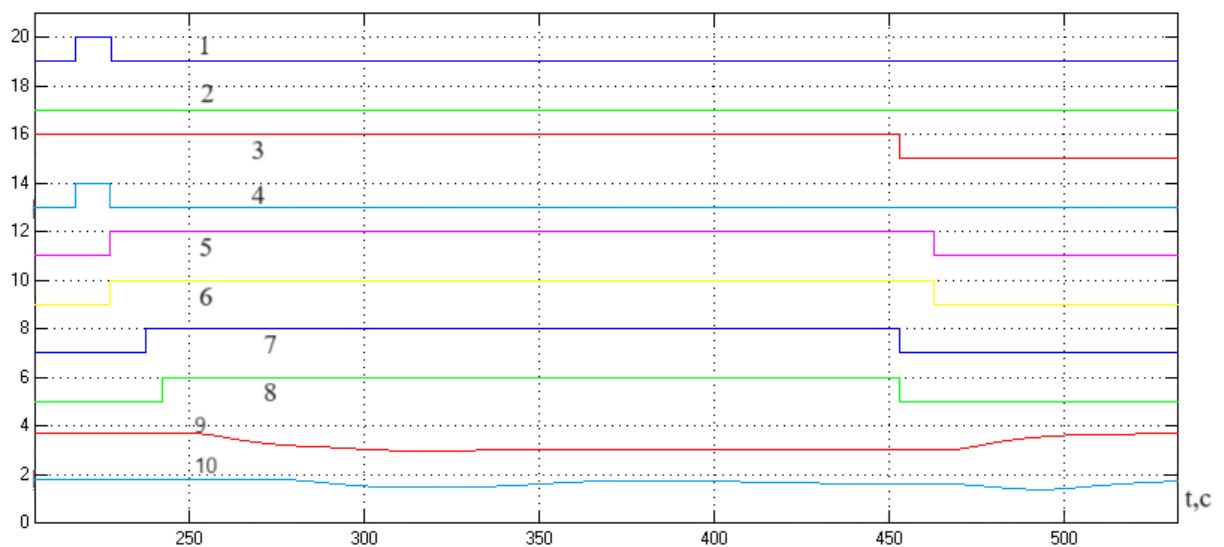


Рис. 4.12 – Циклограма процесу пусків та аварійної зупинки ТП

- 1 - Сигнал натискання кнопки «Пуск»
- 2 - Сигнал натискання кнопки «Стоп»
- 3 - Сигнал наявності тиску холодної та гарячої води
- 4 - Сигнал спрацьовування ППЗС
- 5 - Сигнал спрацьовування V1
- 6 - Сигнал спрацьовування V2
- 7 - Сигнал спрацьовування M1
- 8 - Сигнал спрацьовування M2
- 9 - Значення з термометру T_o
- 10 - Значення з термометру T_n

4.6 Висновки за розділом

В розроблено алгоритми пуску, технологічної зупинки та відпрацювання нештатних ситуацій. Розроблені алгоритми було протестовано в середовищі імітаційного моделювання, результати моделювання у вигляді циклограм (рис. 4.11, 4.12) відповідають циклограмам процесу (рис. 4.5.). Провівши моделювання функціонально-логічної схеми ТП в середовищі імітаційного моделювання, можемо стверджувати що циклограма процесу пусків, зупинки та аварійної зупинки ТП, у цілому, відповідають реальним технологічним процесам в обраній ділянці.

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

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

В даному розділі описана інформація щодо технічних засобів, які використовуються у технологічному процесі кондиціонування повітря (див. розділ 1) Охарактеризуємо параметри приміщення, де буде експлуатуватися система керування (табл. 5.1).

Табл. 5.1 Середовища та їх параметри

| | |
|--------------------|---|
| Перелік середовищ: | Діапазон зміни параметрів вимірювання |
| Повітря | $T = 5 - 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\varphi = 0 - 100 \%$ |
| Технологічна вода | $T = 6 - 87 \text{ }^{\circ}\text{C}$ |

«Правила будови електроустановок. електрообладнання спеціальних установок ДНАОП 0.00-1.32-01» встановлюють (табл. 5.1, 5.2, 5.3.):

Табл. 5.1 – Допустимий рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних машин (стаціонарних і пересувних) у залежності від класу вибухонебезпечної зони

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

Табл. 5.2 – Допустимий рівень вибухозахисту і ступінь захисту оболонки електричних апаратів і приладів (стаціонарних, пересувних і переносних) у залежності від класу вибухонебезпечної зони

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

Для нашого обладнання не має загрози вибуху тому воно не потребує захисту від вибуху.

Приміщення відноситься до П-Па пожежонебезпечної зони - простір у приміщенні, в якому знаходиться тверді горючі речовини і матеріали.

Також норми встановлюють:

Табл. 5.3 – Мінімальний ступінь захисту оболонок електричних машин у залежності від класу пожежонебезпечної зони

| Вид установки та умови роботи | Ступінь захисту оболонок для пожежонебезпечних зон класу | | | |
|---|--|------|------|-------|
| | П-I | П-II | П-Па | 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 |

По класифікації вибухонебезпечності обладнання та приміщень робоче середовище відноситься до П-Па пожежонебезпечної зони - простір у приміщенні, в якому знаходяться тверді горючі речовини і матеріали (IP44).

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

«Датчики для повітропроводів QFM2160 призначені для використання в повітропроводах вентиляційних установок і блоків кондиціонування з метою визначення відносної вологості і температури повітря. Датчики використовуються як датчики контролю в системах припливного та витяжного повітря [9]».



Рис 5.1 Simens *QFM2160*

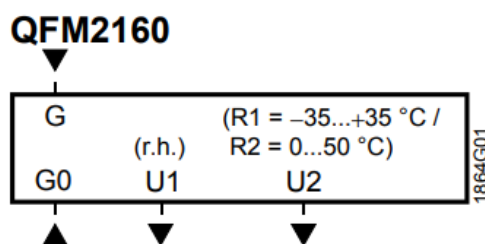


Рис. 5.2 Схема підключення уніфікованого датчика температури та вологості Simens QFM2160

G, G0-Робоча напруга AC 24 V (SELV) або DC 13.5...35 V

U1 Сигнальний вихід 0...10 В пост. тока для відносної вологості 0...100%

U2 Сигнальний вихід 4...20 мА для температурного діапазону 0...50°C

Технічні характеристики:

Діапазон вимірювання 0...+50 °C

0...95 % r. h. (без конденсата)

Ступінь захисту IP 54

Робоча напруга 24 V AC/ 13,5...35V

Вихідний сигнал для відносної вологості 0...10 V DC / 4...20мА

Вихідний сигнал для температури 0...10 V DC / 4...20 мА / T1 / LG-Ni 1000

Точність вимірювань відносної вологості ±2%

Точність вимірювань температури ±1%

Матеріал захисної арматури полікарбонат

Датчики призначені для використання в установках вентиляції та кондиціонування повітря для:

- контролю або обмеження температури подачі
- Обмеження температури зворотного повітря



Рис 5.3 Simens QAE2164

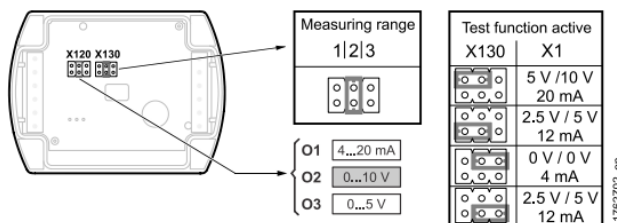


Рис. 5.4 Встановлюючий елемент

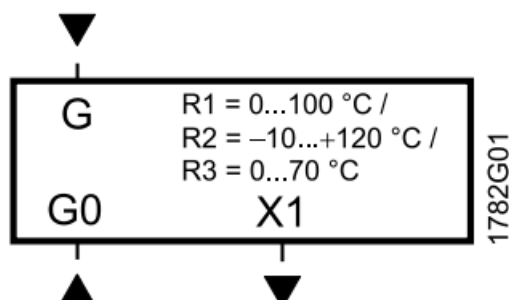


Рис. 5.5 – Схема підключення уніфікованого датчика температури Simens QAE2164

G, G0-Робоча напруга AC 24 V (SELV) або DC 13.5...35 V

X1-Вихідний сигнал DC 0...5 V, DC 0...10 V, 4...20 mA. для діапазону вимірювання -10...+120 °C, 0...100 °C або 0...70 °C

Технічні характеристики:

Діапазон вимірювання 0...+70°C

Ступінь захисту IP 54

Робоча напруга 24 V AC/ 13,5...35V

Вихідний сигнал 0...10 V DC /

4...20mA (3-провода)

Термометр опору Pt 1000

Клас допуску B

Матеріал захисної арматури

полікарбонат

«КР - реле тиску призначені для використання в системах охолодження та кондиціонування повітря для захисту від надмірно низького тиску всмоктування або надмірно високого тиску нагнітання. Реле тиску КР також використовуються для запуску і зупинки холодильних компресорів і вентиляторів на конденсаторах повітряного охолодження. Реле тиску КР можна підключити безпосередньо до однофазного двигуна змінного струму до прибіл. 2кВт або встановити в ланцюзі керування DC двигунами чи великими двигунами змінного струму [10]».



Рис. 5.6 - Реле тиску danfoss KP17W

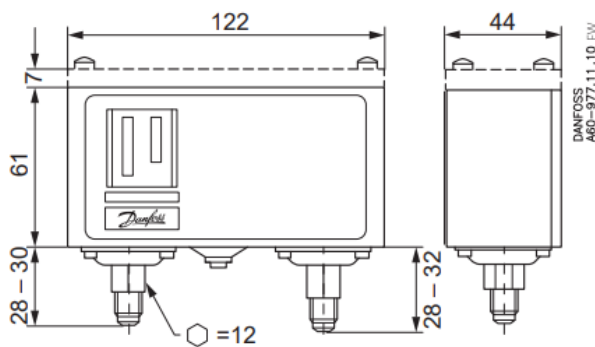


Рис 5.7 - Диф-реле тиску з підключенням під розвальцьовку KP17W

Матеріал: Олов'яно-бронзовий сплав.

Ступінь захисту корпусу IP44

КР реле тиску, низький тиск

Температура навколишнього

середовища: $-40 - 65^{\circ}\text{C}$ ($+80^{\circ}\text{C}$ не більше 2 годин).

Температура робочого середовища:

$-50 - 100^{\circ}\text{C}$

Лінія Низьк.Тиску: Макс.Допуст.Тиск /

Макс.Роб.Тиск = 17 бар

Контактне навантаження, АС:

АС1: 16 А, 400 В

АС3: 16 А, 400 В

АС15: 10А, 400 В

DC13: 12 Вт, Керуючий струм 220 В

Макс. пусковий струм: 112А, 400 В

«Реле тиску Fox F4 застосовується для послідовного увімкнення або вимкнення окремих частин машини та для здійснення дистанційного керування. Реле тиску може забезпечити контроль тиску в гідросистемі з подачею електричного сигналу, що свідчить, наприклад, про перевантаження системи[11]».



Рис. 5.8 - Реле тиску F4SP1/M3



Рис 5.9 - Схема Реле тиску F4SP1/M3

Матеріал корпусу: Сталь

Тип: Поршневий

Робоча температура: від $-25 \dots + 85^{\circ} \text{C}$

Різьблення: G1 / 4 "

Максимальний робочий тиск, бар: 300

Діапазон перемикання тиску, бар: 1,0 - 12,0

Частота перемикання, циклів / хв.: 90

Тип конвектора: 30x30

Похибка: $\pm 4\%$

Ущільнення: NBR

Ступінь захисту IP: 65

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

AVK24A Електроприводи з конденсаторним поверненням від компанії Velimo. Цей пристрій призначений для управління сидельним клапаном, для води.



Рис. 5.10 – Виконавчий механізм Velimo

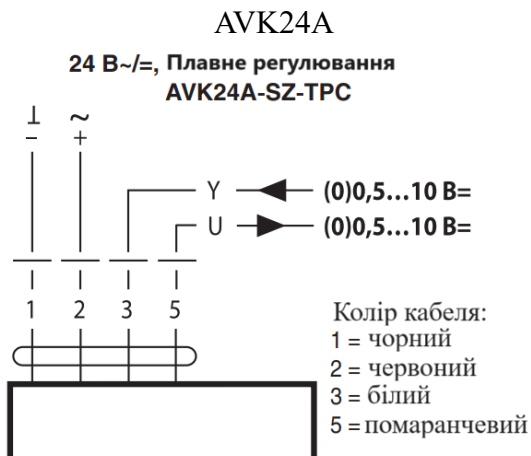


Рис 5.11 – Схема підключення виконавчий механізм

Напруга живлення 24 В ~, 50/60 Гц;

Діапазон напруги живлення:

19,2 ... 28,8 V AC

21,6 ... 28,8 V DC

Температура експлуатації 0 ... +50 °C

Розрахункова потужність 9,5 Wа

Управляючий сигнал Y 0 ... 10 DC

Ступінь захисту корпусу IP54

Номінальний імпульс напруги 0,8 кВ

Хід штока 32 мм

Час ходу штока 150 с/32 мм

Час спрацьовування охоронної функції

(конденсатора) 35 с / 32 мм

3х-ходовий фланцевий сидельний клапан PN16 DN 15...100 для регулювання потоків води

Застосування

- водяні контури в установках підготовки повітря;
- водяні контури в опалювальних установках.

Принцип роботи

Сідельний клапан приводиться в дію електроприводом лінійної дії. Електроприводом керують стандартним аналоговим сигналом або за 3х-точковою схемою і пересуває конус клапана - робочий елемент - у положення, що відповідає керівному сигналу.



Рис. 5.12 – 3х-ходовий фланцевий сідельний клапан PN16

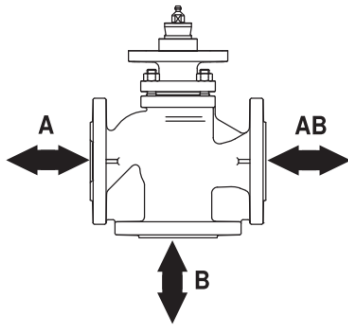


Рис. 5.13 – напрями потоку

Технічні дані X7...C

Робоче середовище: Холодна або гаряча вода, вода з антиф-ризом $\leq 0\%$ від об'єму. ризом $\leq 50\%$ від об'єму.

Температура середовища: $+5\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +150\text{ }^{\circ}\text{C}$

Умовний тиск P_s 1600 кПа (PN 16)

Характеристика потоку

Ділянка А-АВ: рівнопроцентна

Ділянка В-АВ: лінійна

Амплітуда змін Ду15 $S_v > 50$

регульованого середовища S_v Ду20...50

$S_v > 100$

Величина витoku

Ділянка А-АВ: макс. 0.05% від $kvs.$

Ділянка В-АВ: макс. 1% від $Kvs.$

Трубне під'єднання

Фланець ISO 7005-2 (PN 16)

Допустимий перепад

DN 15...25 $\Delta p_{max} = 1000$ кПа

тиск. p_{max}

DN 32...100 $\Delta p_{max} = p_s$

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

Для даного випадку доцільніше вибрати централізований принцип побудови технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі, це коли до складу системи входить контролер, який виконує функції ПЗО та реалізує алгоритми керування, а реалізація АРМ ведеться на панелі оператора чи на промисловому комп'ютері.

Виконав аналіз технологічної схеми та функцій які повинна реалізовувати система керування складемо таблицю (табл. 5.4) зі списком параметрів які повинні вводитись і виводитись з контролера.

Табл. 5.4 – Список параметрів які вводяться і виводяться із контролера

| № пп | Назва параметра | Умовне позначення | Вид сигнал у А/D | Тип сигнал у I/O | Діапазон сигналу на вході/виході контролера | Позначення на схемі |
|------|--|-------------------|------------------|------------------|---|---------------------|
| 1 | Температура повітря на виході з охолоджувача | T _о | A | I | (0-20 мА) | AI1 |
| 2 | Температура повітря на виході з нагрівача | T _н | A | I | (0-20 мА) | AI2 |
| 3 | Температура повітря в приміщенні | T _{кім} | A | I | (0-20 мА) | AI3 |
| 4 | Відносна вологість повітря в приміщенні | φ _{кім} | A | I | (0-20 мА) | AI4 |
| 5 | Температура зовнішнього повітря | T _{зп} | A | I | (0-20 мА) | AI5 |
| 6 | Відносна вологість зовнішнього повітря | φ _{зп} | A | I | (0-20 мА) | AI6 |
| 7 | Керуюча дія ступінь відкриття клапану подачі холодної води | U_1 | A | O | (0-10 В) | AO1 |
| 8 | Керуюча дія ступінь відкриття клапану подачі гарячої води | U_2 | A | O | (0-10 В) | AO2 |
| 9 | Сигнал датчика контролю тиску холодної води у мережі | P _{v_c} | D | I | 24 V DC | DI1 |

| | | | | | | |
|----|---|--------|---|---|----------------------|------|
| 10 | Сигнал датчика контролю тиску гарячої води у мережі | Pv_h | D | I | 24 V DC | DI2 |
| 11 | Сигнал датчика перепаду тиску на вентиляторі №1 | dP_v1 | D | I | 24 V DC | DI3 |
| 12 | Сигнал датчика перепаду тиску на вентиляторі №2 | dP_v2 | D | I | 24 V DC | DI4 |
| 13 | Сигнал керування двигуном вентилятору №1 M1 | M1_c | D | O | «відкритий колектор» | DO1 |
| 14 | Сигнал с дод. контакту пускача двигуна M1 | M1_KM | D | I | 24 V DC | DI5 |
| 15 | Сигнал керування двигуном вентилятора №2 M2 | M2_c | D | O | «відкритий колектор» | DO2 |
| 16 | Сигнал с дод. контакту пускача двигуна M2 | M2_KM | D | I | 24 V DC | DI6 |
| 17 | Автоматичний вимикач M1 | QF1 | D | I | 24 V DC | DI7 |
| 18 | Автоматичний вимикач M2 | QF2 | D | I | 24 V DC | DI8 |
| 19 | Локальний режим M1 | SL1 | D | I | 24 V DC | DI9 |
| 20 | Локальний режим M2 | SL2 | D | I | 24 V DC | DI10 |
| 21 | Сигнал керування клапаном повітря (жалюзі) V1 | Kv1_c | D | O | «відкритий колектор» | DO3 |
| 22 | Сигнал датчика контролю закриття клапана K1 | Kv1_FB | D | I | 24 V DC | DI11 |
| 23 | Сигнал керування клапаном повітря (жалюзі) V2 | Kv2_c | D | O | «відкритий колектор» | DO4 |
| 24 | Сигнал датчика контролю закриття клапана K2 | Kv2_FB | D | I | 24 V DC | DI12 |
| 25 | Сигнал керування звук. сигнал. | HA | D | O | «відкритий колектор» | DO5 |

| | | | | | | |
|----|---|-------|---|---|---------|------|
| 26 | Сигнал датчика перепаду тиску на фільтрі №1 | dP_f1 | D | I | 24 V DC | DI13 |
| 27 | Сигнал датчика перепаду тиску на фільтрі №2 | dP_f2 | D | I | 24 V DC | DI14 |
| 28 | Сигнал датчика перепаду тиску на фільтрі №3 | dP_f3 | D | I | 24 V DC | DI15 |

Кількість каналів вводу\виводу:

AI – 6 , AO – 2, DI – 15, DO - 5

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

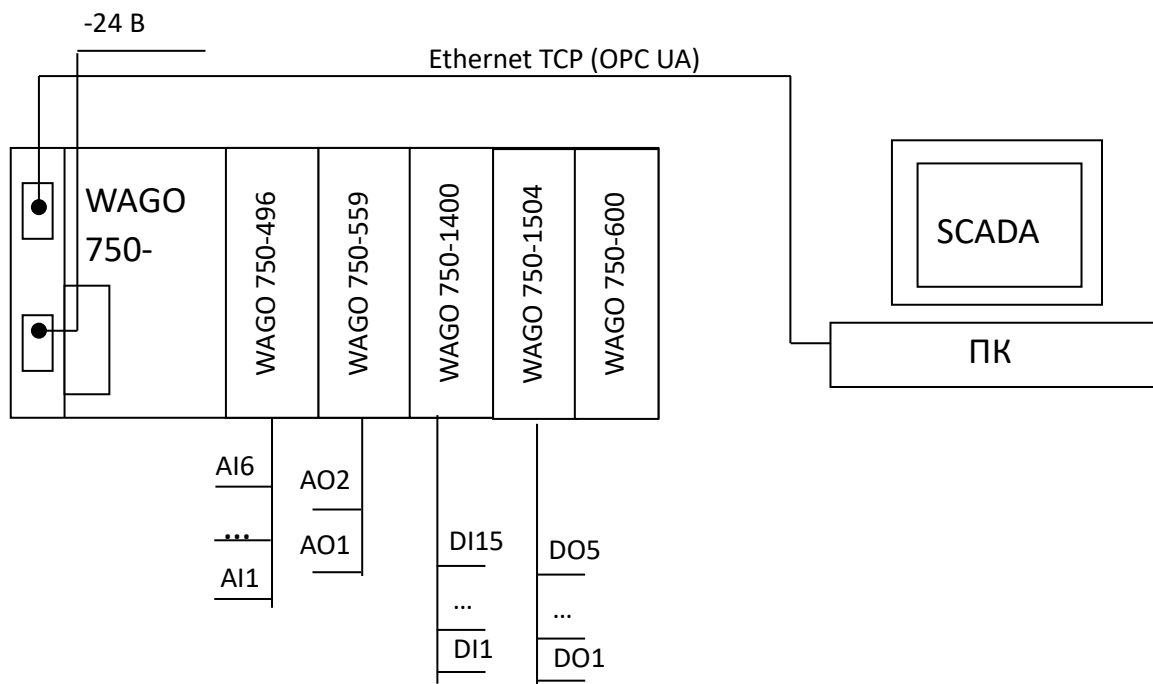


Рис. 5.14 – Схема технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування процесом кондиціонування повітря.

Для реалізації алгоритмів керування в модулях ПЗО контроллера повинні бути передбачені 6- аналогових входів, 2-аналогових виходи, 12-дискретних входів і 5-дискретних виходів.

Виходячи із сформованої таблиці 5.4, для реалізації алгоритмів керування скористаємося контролером WAGO PFC200 750-8212 з модулями ПЗО: AI WAGO 750-455, AO WAGO 750-559, DI WAGO 750-1400 та DO WAGO 750-1504.



Рис. 5.15 – Загальний вигляд контролера WAGO 750-8212.

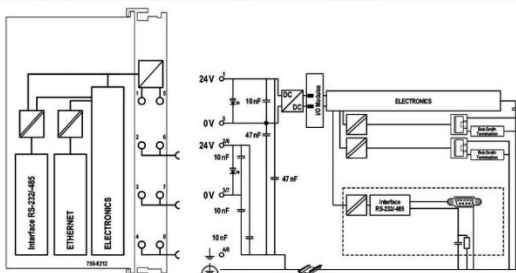


Рис. 5.16 – Схема підключення контролера WAGO 750-8212.

ТТХ

Виробник WAGO

Клас захисту IP20

Робоча температура 0...55 °C

Монтаж на DIN-рейку

Тип модуля програмований контролер PLC

Характеристики можливість розширення

Додаткові функції статус режиму роботи: світлодіод;

годинник реального часу

Напруга живлення 24V DC



Рис. 5.17 – Загальний вигляд ПЗО WAGO 750-496.

ТТХ

Виробник WAGO

Клас герметичності IP20

Монтаж на шину DIN

Промисловий модуль аналоговий вхід

Число входів 8

Робоча температура 0...55 °C

Вид ВХ1 0...20мА, 3,6...21мА, 4...20мА

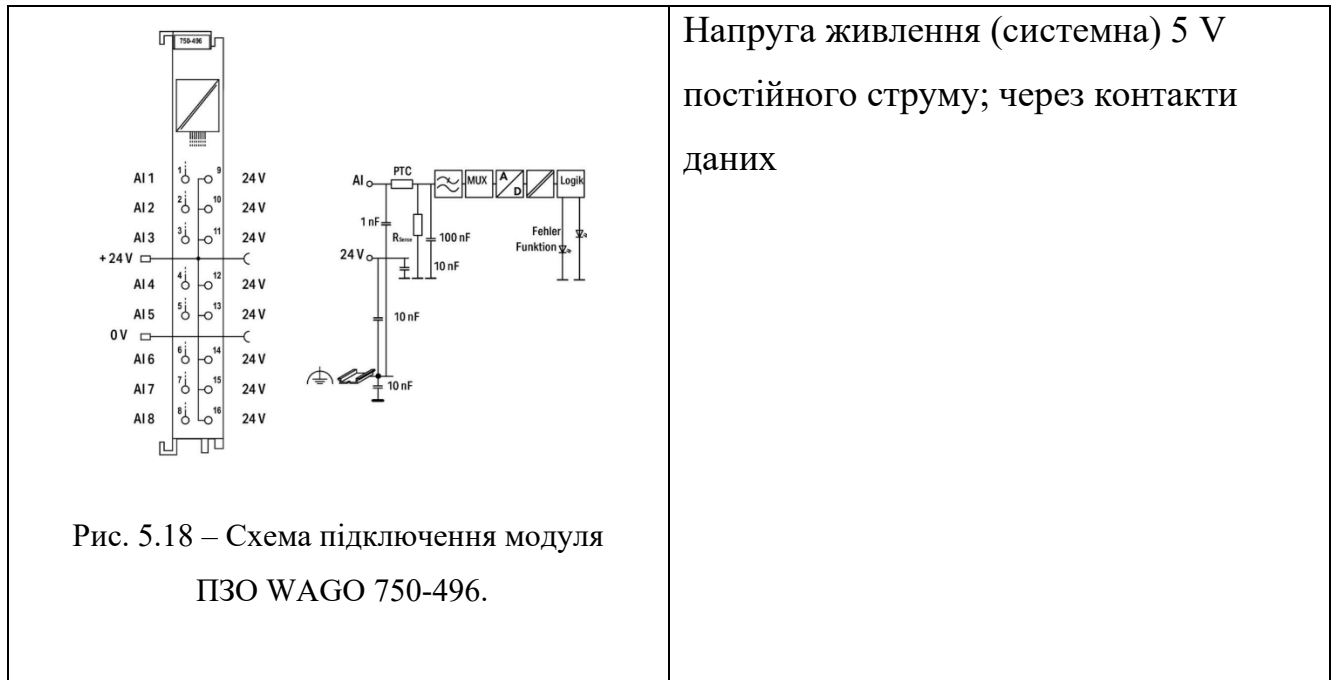


Рис. 5.18 – Схема підключення модуля ПЗО WAGO 750-496.

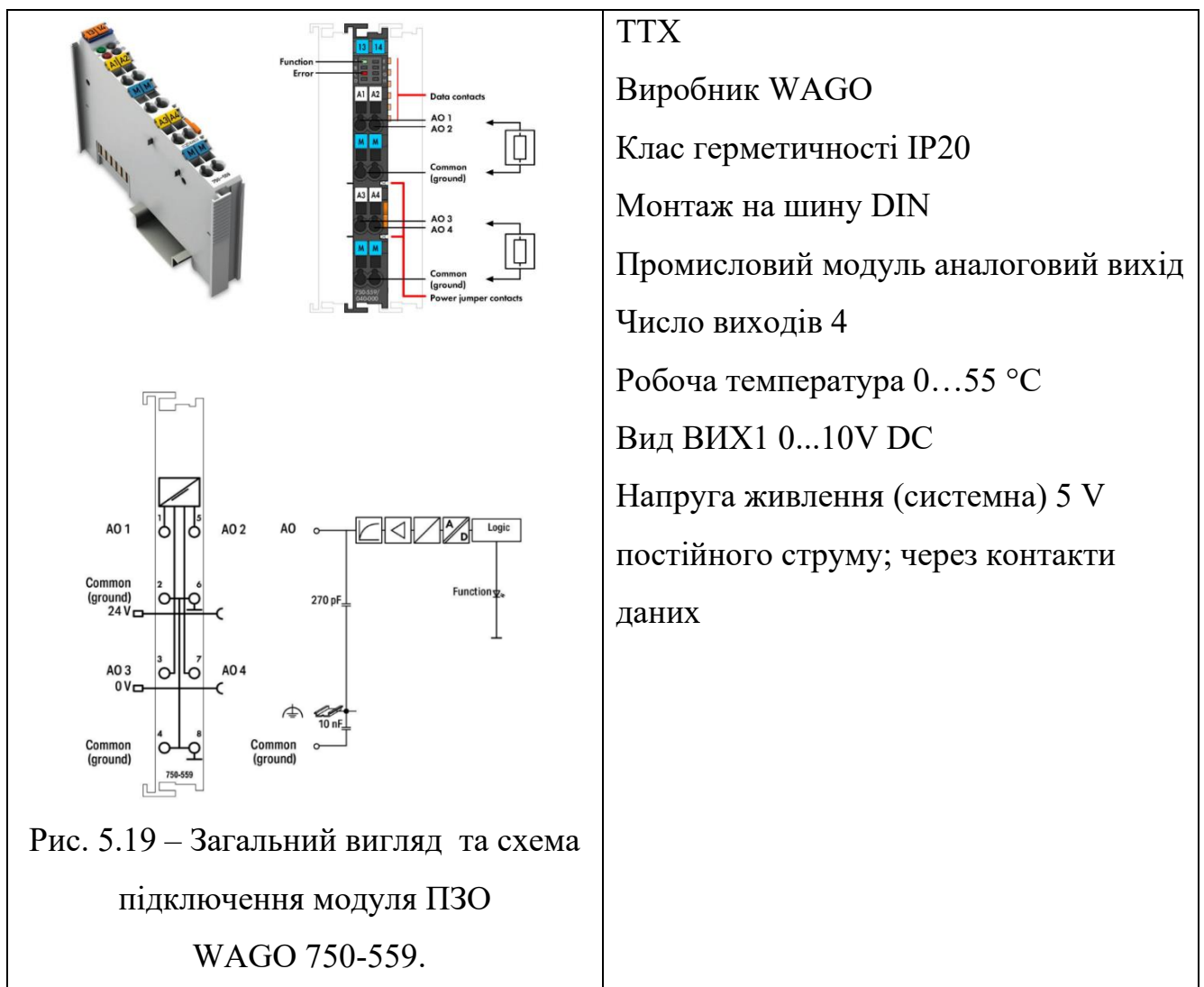


Рис. 5.19 – Загальний вигляд та схема підключення модуля ПЗО WAGO 750-559.

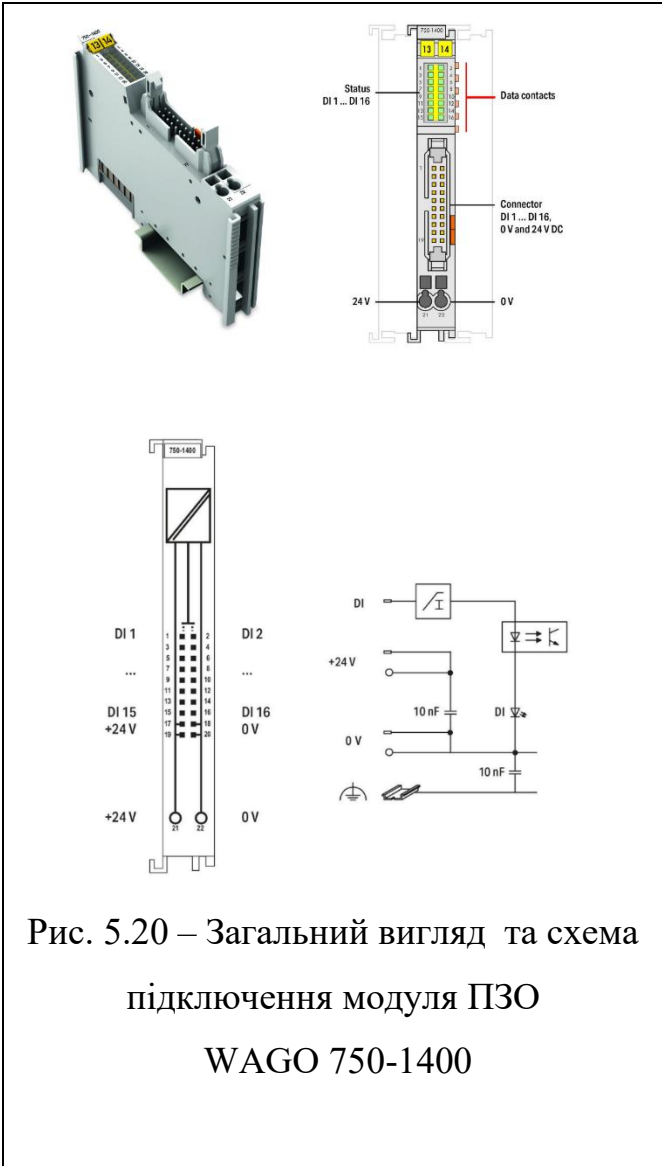
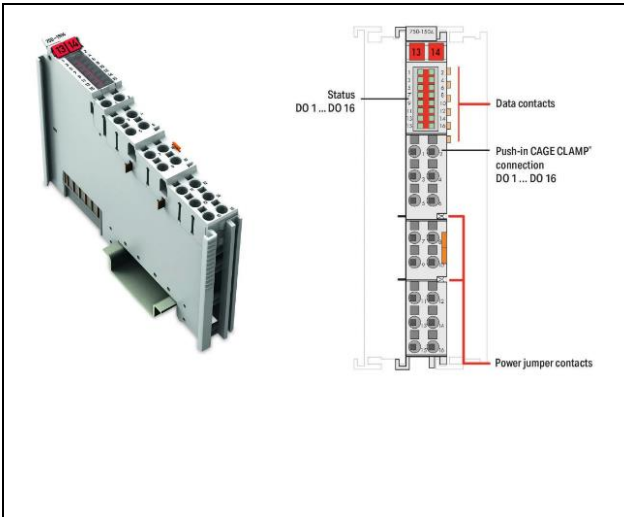
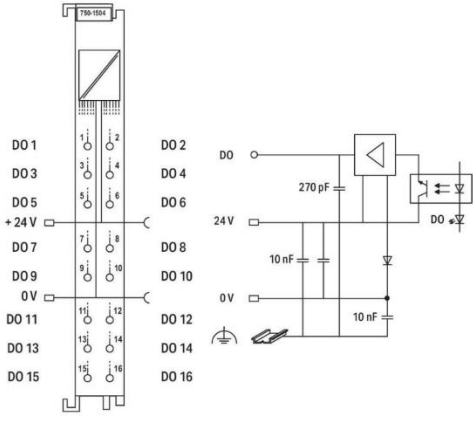


Рис. 5.20 – Загальний вигляд та схема підключення модуля ПЗО WAGO 750-1400

ТТХ
 Виробник WAGO
 Клас герметичності IP20
 Монтаж на шину DIN
 Промисловий модуль цифровий вхід
 Число виходів 16
 Вид ВХ1 24V AC
 Робоча температура 0...55 °С
 Монтаж на DIN-рейку
 Напруга живлення (системна) 5 V постійного струму; через контакти даних



ТТХ
 Виробник WAGO
 Клас герметичності IP20
 Монтаж на шину DIN
 Промисловий модуль цифровий вихід
 Число виходів 16
 Вид ВИХ1 24V DC
 Робоча температура 0...55 °С

| | |
|--|---|
|  <p>Рис. 5.21 – Загальний вигляд та схема підключення модуля ПЗО WAGO 750-1504.</p> | <p>Монтаж на DIN-рейку</p> <p>Напруга живлення (системна) 5 V постійного струму; через контакти даних</p> |
|--|---|

| | |
|---|--|
|  <p>Рис. 5.22 – Загальний вигляд контролера WAGO 750-600.</p> | <p>ТТХ</p> <p>Виробник WAGO</p> <p>Клас герметичності IP20</p> <p>Монтаж на шину DIN</p> <p>Промисловий модуль кінцевий термінал</p> |
|---|--|

5.5 Висновки за розділом

Провівши аналіз нашого ТП ми визначились з тим які пристрої збору інформації, виконавчі механізми та технічні засоби для реалізації контролерно-комп'ютерної мережі використовуються. Дане обладнання відповідає нормам які ми завчасно виокремили.

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

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

Першим етапом проведено програмне конфігурування контролера та його модулів ПЗО у середовищі CoDeSys. На рис. 6.1 – 6.3 розкрита процедура конфігурування CPU контролера та його модулів ПЗО.

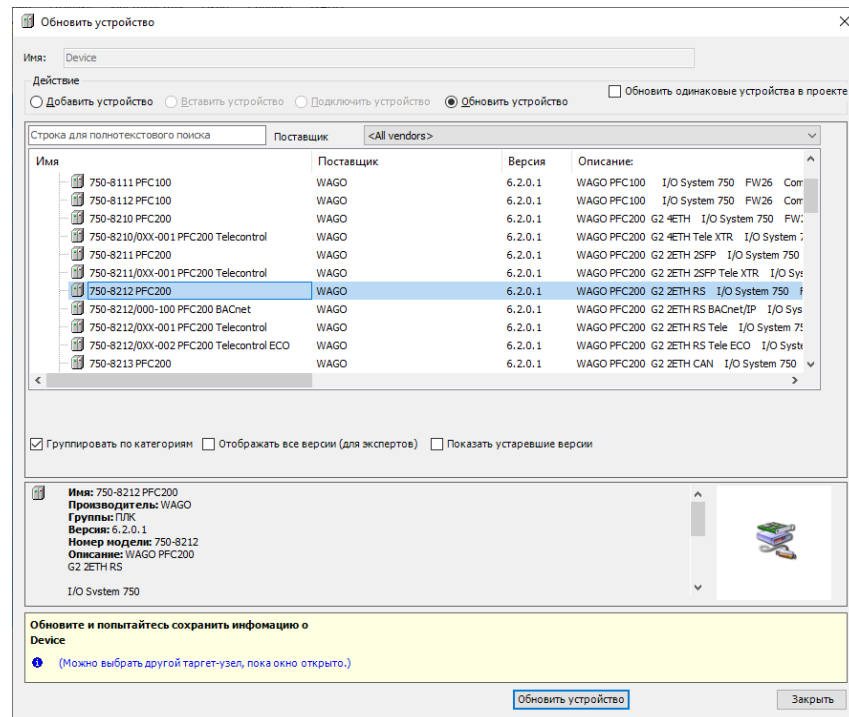
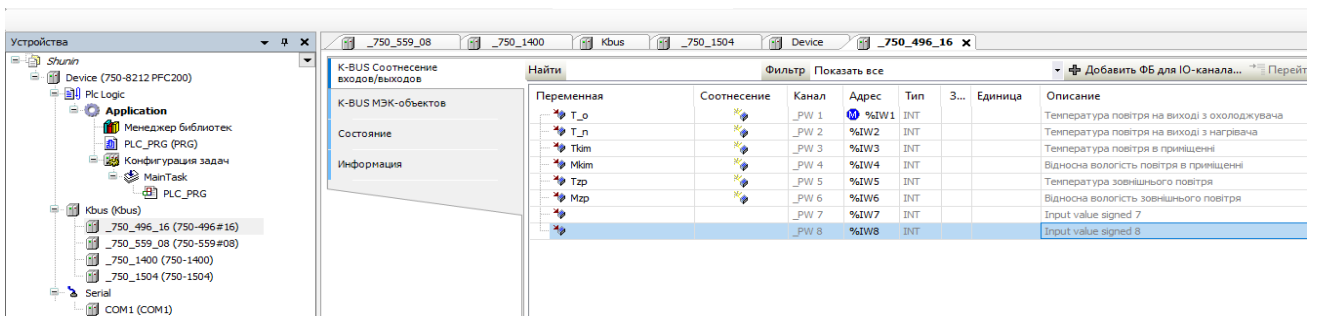
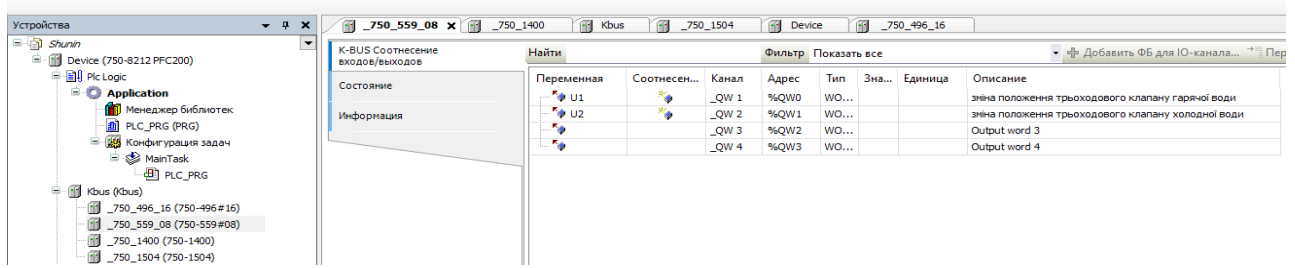


Рис.6.1 – Вікно вибору контролера у середовищі CoDeSys.

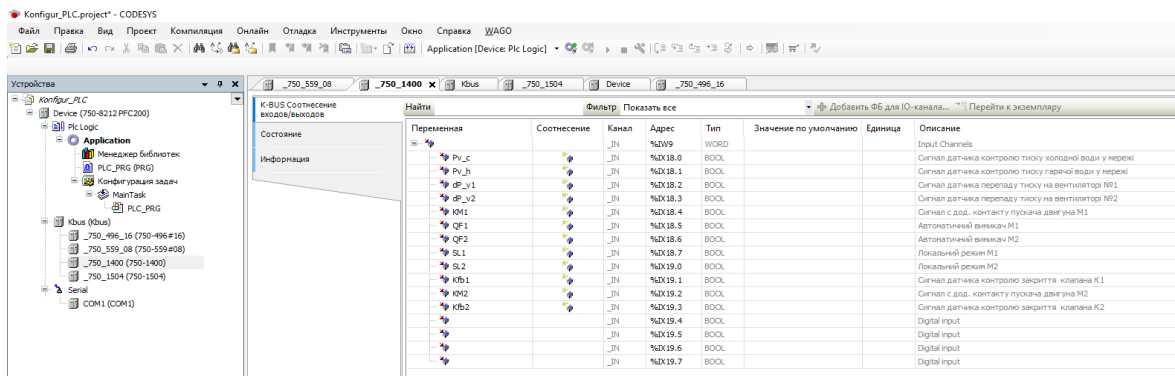


Фрагмент а) для модулю аналогового введення.

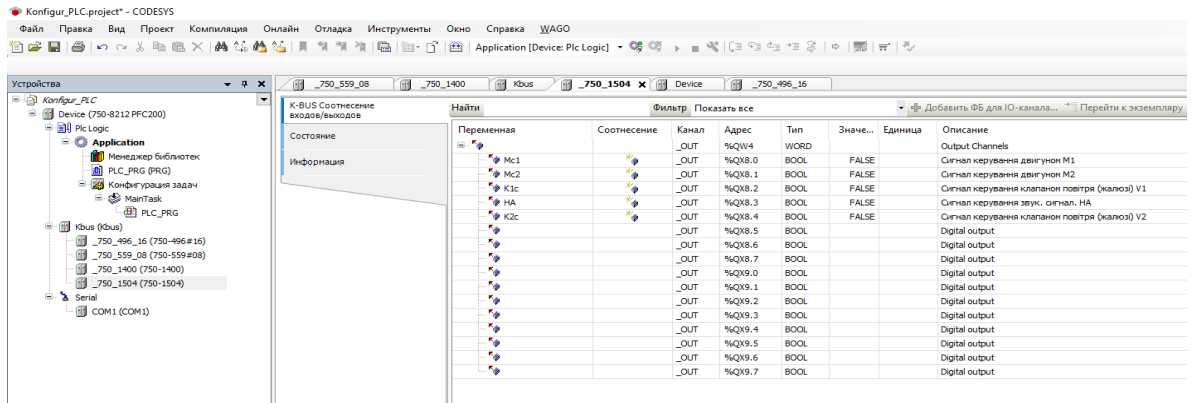


Фрагмент б) для модулю аналогового виведення.

Рис. 6.2– Фрагменти вікон конфігурування аналогових модулів ПЗО (фрагменти а) та б)) у CodeSys .



Фрагмент а) для модулю дискретного виведення.



Фрагмент б) для модулю дискретного виведення.

Рис. 6.3 – Фрагмент вікон конфігурування дискретних модулів ПЗО (фрагменти а) та б)) у CodeSys.

Завершив конфігурацію переходимо до програмної реалізації алгоритмів керування.

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

Модель САР розраховується у програмному модулі POU_100ms, який обчислюється кожну 0.1 секунди. Час обчислення задається при конфігуруванні контролера у розділі «Конфігурація задач» (рис.6.4).

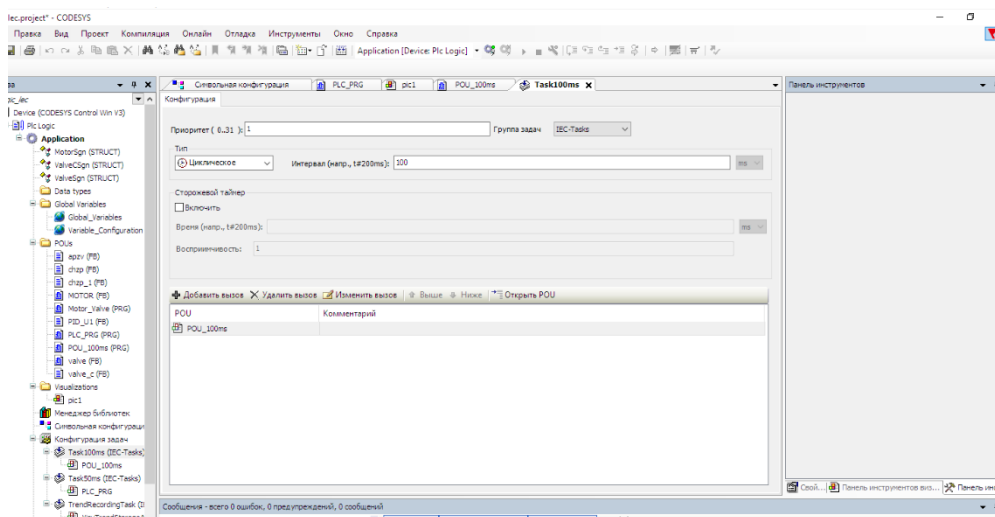


Рис. 6.4— Загальний вигляд вікна проекту при конфігуруванні задач.

На рис. 6.5, 6.6 представлені фрагменти програм, які реалізують модель об'єкта керування та алгоритми регулювання.

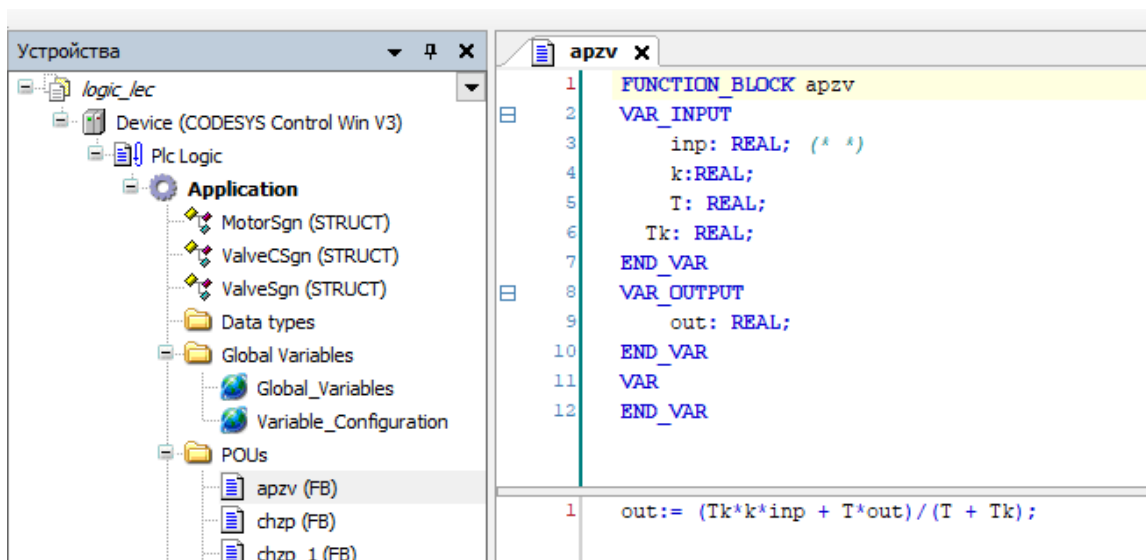


Рис. 6.7 – Фрагмент програми, яка реалізує статичну аперіодичну інерційну ланку першого порядку.

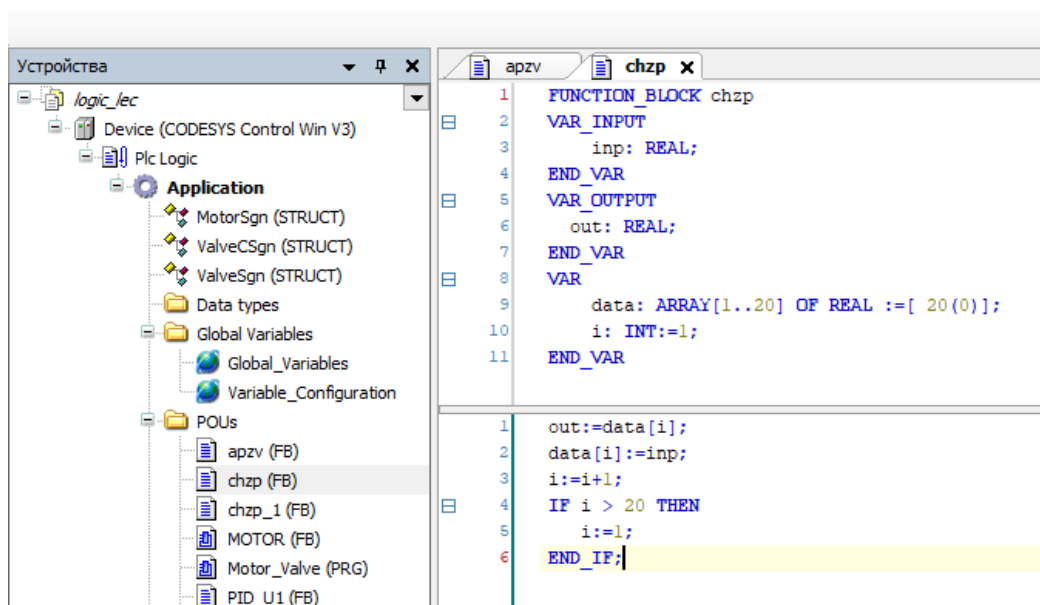


Рис. 6.8 – Фрагмент програми, яка реалізує ланку запізнення.

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

```

PID_U1
1 FUNCTION_BLOCK PID_U1
2 VAR_INPUT
3   Y: REAL; (*регульована змінна*)
4   Yzadd: REAL; (*заданне значення*)
5   Kp: REAL; (*коэф. передачі*)
6   Tiz: REAL; (*час ізодрома*)
7   Tpr: REAL; (*час випередження*)
8   MAN_ON: BOOL; (*ручний режим Вкл.\Викл.*)
9   MAN: REAL; (*Керування впливом в ручному режимі*)
10  UMAX: REAL; (*макс. знач. КВ*)
11  UMIN: REAL; (*мін. знач. КВ*)
12  Tk: REAL; (*шаг квантування*)
13  Tzad: REAL;
14  END_VAR
15  VAR_OUTPUT
16  U: REAL; (*Керуваний вплив*)
17  END_VAR
18  VAR
19  Ui: REAL;
20  Yzadd: REAL;
21  Up_1: REAL;
22  Ud: REAL;
23  DY: REAL;
24  Up: REAL;
25  END_VAR

1  (**Ручной режим управління**)
2  IF MAN_ON = TRUE THEN
3    U:=MAN;
4    Ui:= U;
5    Yzadd:= Y;
6    Ud:=0;
7    Up_1:=0;
8  ELSE
9    (**ПД- алгоритм управління **)
10   (**Розрахунок інерційного задатчика**)
11   Yzadd:= (Tk*Yzadd + Tzad*Yzadd)/(Tk+Tzad);
12   (**Розрахунок помилки регулювання**)
13   DY:= Yzadd - Y;
14   (**Розрахунок P-складової**)
15   Up:= Kp*DY;
16   (**Розрахунок I-складової**)
17   Ui:= (Tk/Tiz)*Up + Ui;
18   (**Реалізація обмеження I-складової**)
19   IF Ui > UMAX THEN
20     Ui:= UMAX;
21   ELSIF Ui < UMIN THEN
22     Ui:= UMIN;
23   END_IF;
24   (**Розрахунок D-складової**)
25   Ud:= (Tpr*(Up-Up_1)+0.2*Tpr*Ud)/(Tk+0.2*Tpr);
26   Up_1:=Up; (**Перевизначення проміжної змінної для розрахунку D-складової**)
27   (** Розрахунок керуючого впливу **)
28   U:= Up + Ui + Ud;
29  END_IF;
30  (**Реалізація обмеження керуючого впливу**)
31  IF U > UMAX THEN
32    U:= 100;
33  ELSIF U < UMIN THEN
34    U:= 0;
35  END_IF;

```

Рис. 6.9 – Код програми ПІД - регулятора.

На рис. 6.10 наведені перехідні характеристики що отримані при тестуванні програм ПІД – регулювання на моделі об’єкту керування.

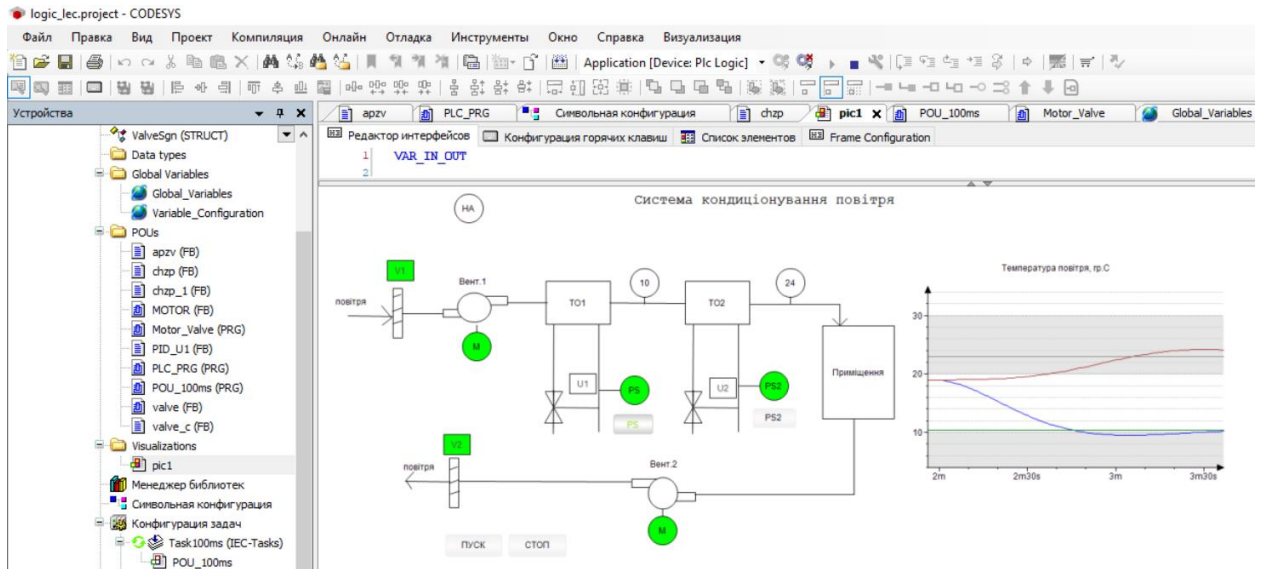


Рис. 6.10 – Приклад роботи програми при тестуванні і відлагодженні алгоритмів регулювання на моделі ОК.

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.

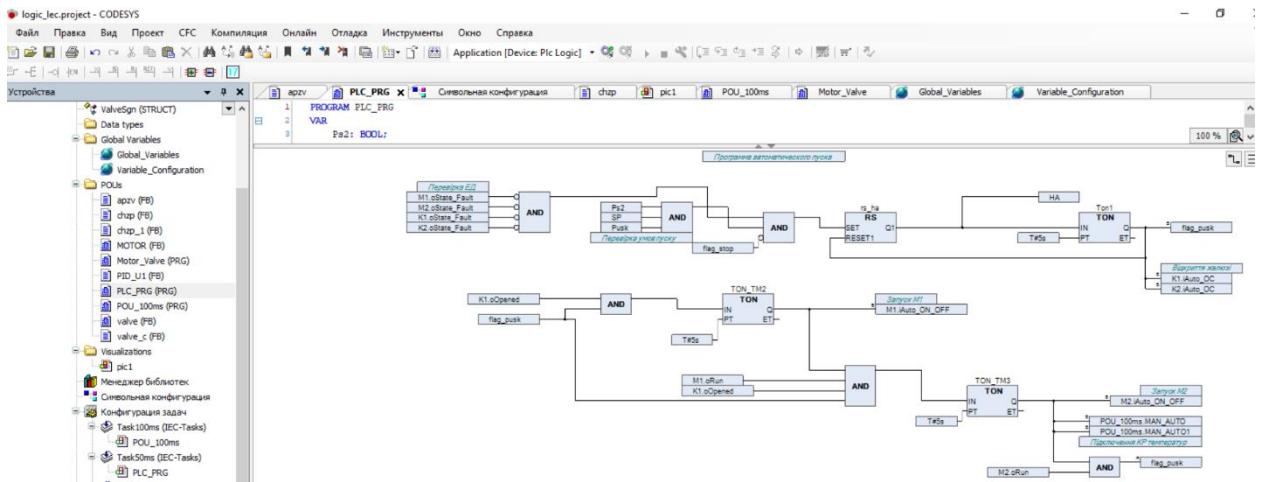


Рис. 6.11 – Фрагмент програми що реалізує алгоритми автоматичного пуску.

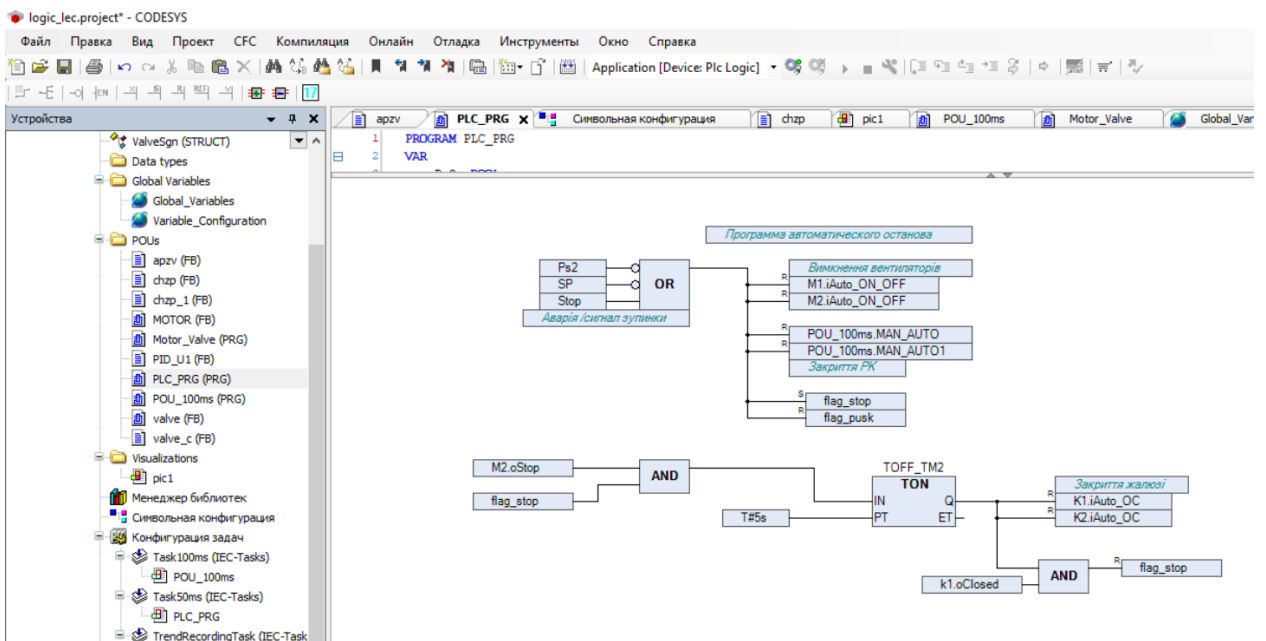


Рис. 6.12 – Фрагмент програми що реалізує алгоритми автоматичної зупинки.

Програма логічного керування формує сигнали для підпрограм керування двигунами, клапанами та контурами регулювання. Розрахунок підпрограм керування двигунами та клапанами виконується у програмному модулі Motor_Valve. (рис. 6.13)

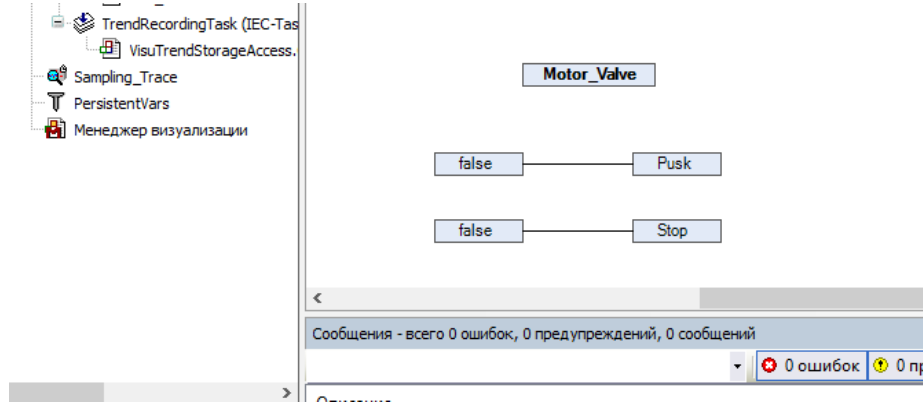


Рис. 6.13 – Фрагмент програми PLC_PRG з викликом модуля Motor_Valve.

Внутрішня структура програмного модуля Motor_Valve наведена на рис. 6.14.

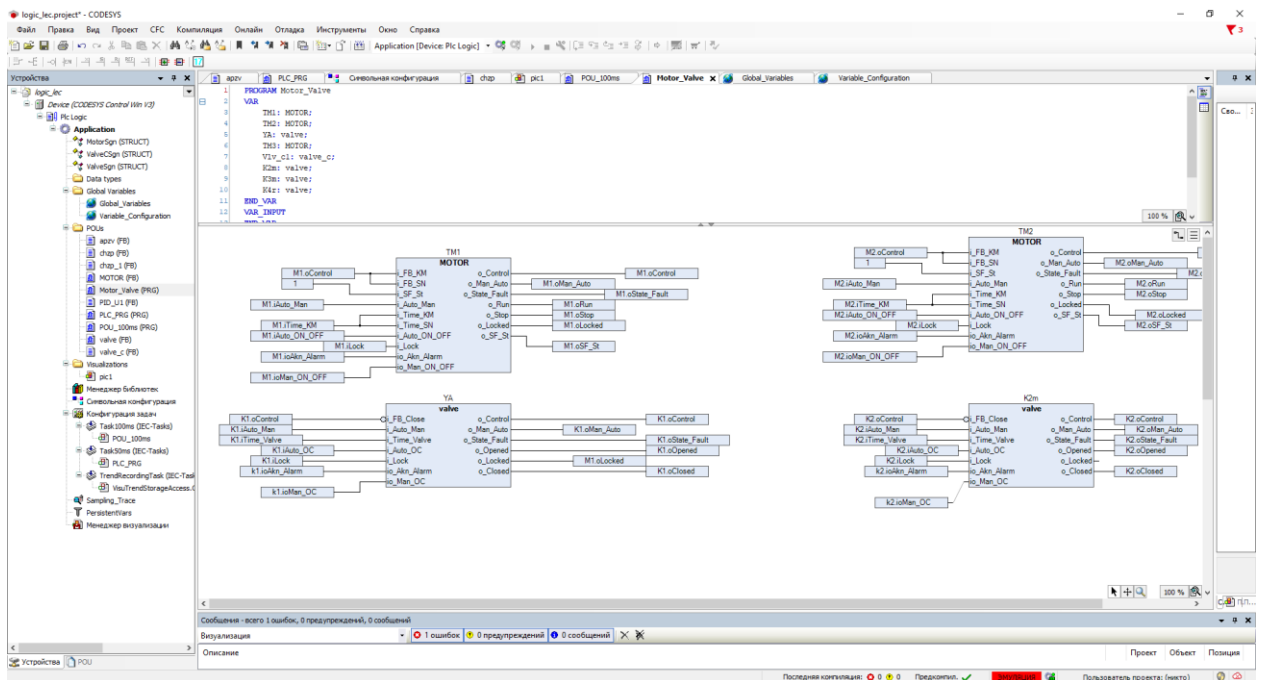


Рис. 6.14 – Фрагмент внутрішньої структури програмного модуля Motor_Valve

Декілька входів та виходів 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.

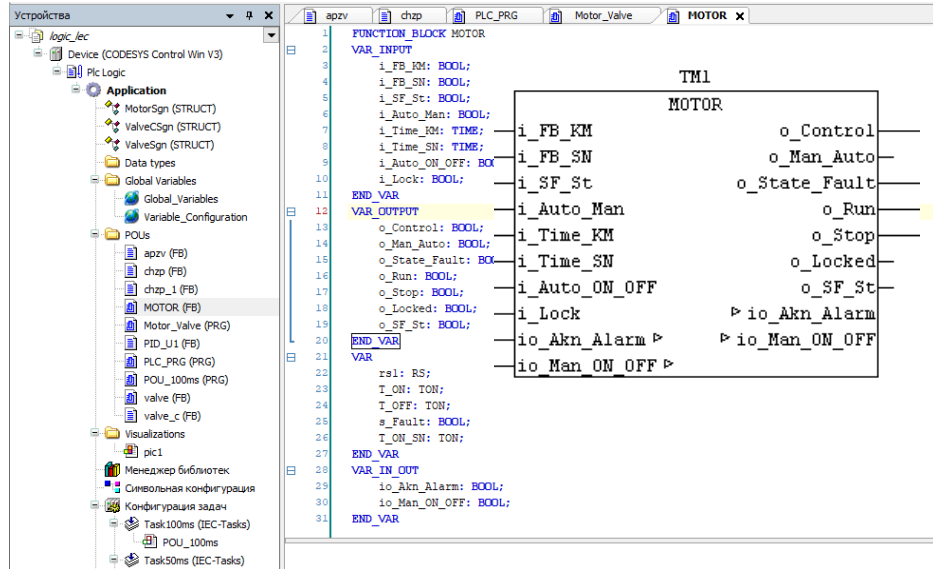


Рис.6.15 – Загальний вигляд блоку керування двигуном та список змінних підпрограми що його реалізує.

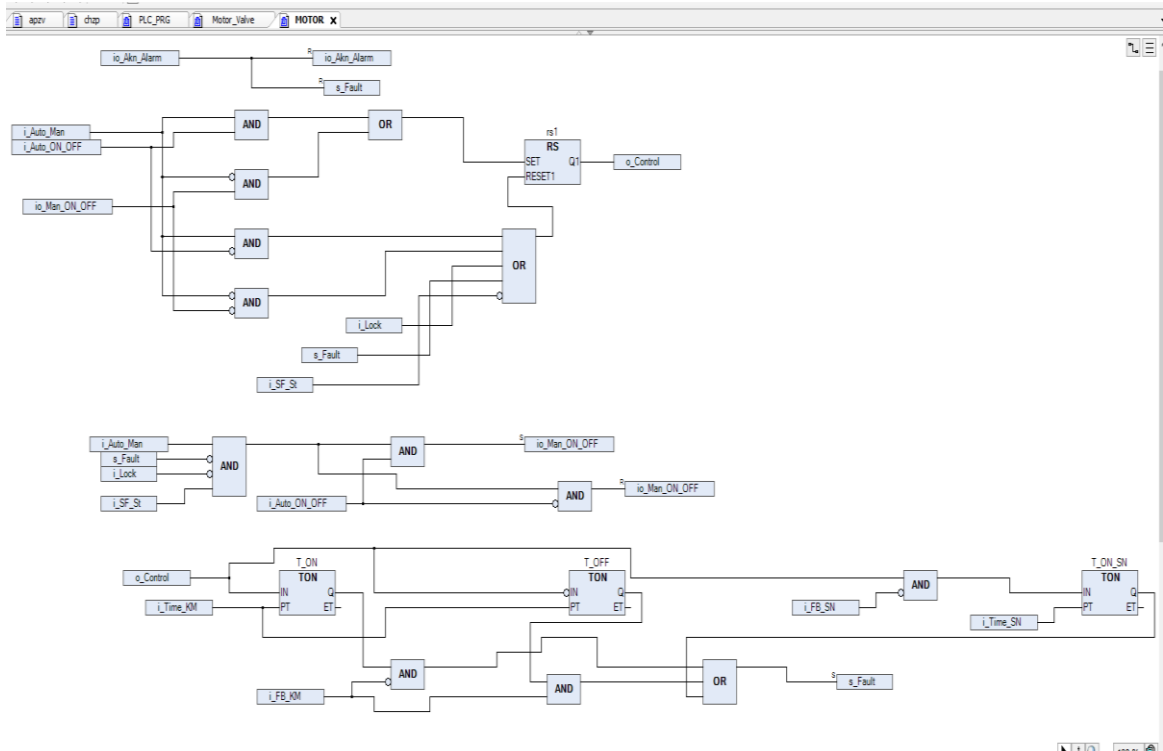


Рис. 6.16 – Фрагмент підпрограми що реалізує блоку керування двигуном (кінець).

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.

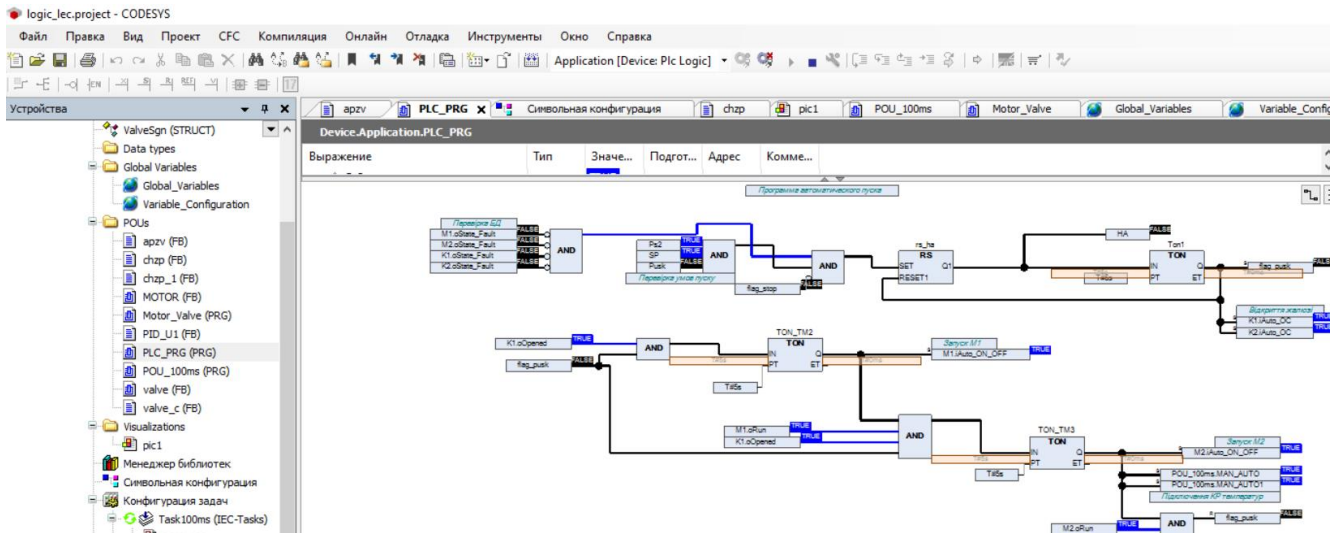


Рис. 6.17 – Фрагмент програми (в режимі тестування) що реалізує алгоритм пуску.

Результати тестування програми у режимі емуляції контролеру, що реалізує управління пуском та останом процесу кондиціонування повітря підтверджують коректність реалізації програми моделі САР та програми логічного керування.

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

Взаємодія автоматизованого робочого місця (АРМ) та мережі контролерів з допомогою OPC UA - сервер розглянемо на прикладі реалізації зв'язку засобами пакету CoDeSys, в якому розробляється ПО контролера. Як приклад розглянемо реалізацію зв'язку тільки для контурів регулювання. В наявності контролера WAGO 750-8212 не має, тому для тестування в якості цільової платформи оберемо CODESYS Control Win V3 (рис. 6.18).

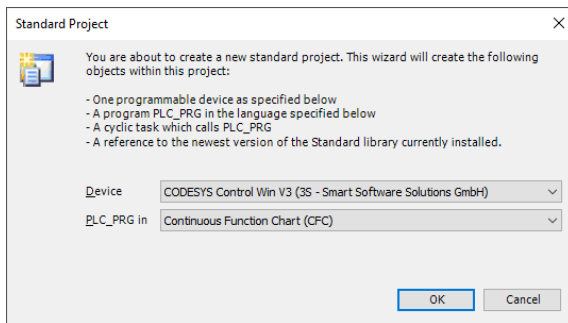


Рис. 6.18 – Загальний вигляд вікна вибору цільової платформи.

Проводимо конфігурацію OPC UA – серверу у пакеті CoDeSys, для обміну даними зі SCADA системою. Для цього вказуємо які змінні потрібно включити в мережевий обмін даними (рис. 6.19) та налаштовуємо параметри мережевого зв'язку. В мережевий обмін включаємо регульовані змінні та їхні задані значення.

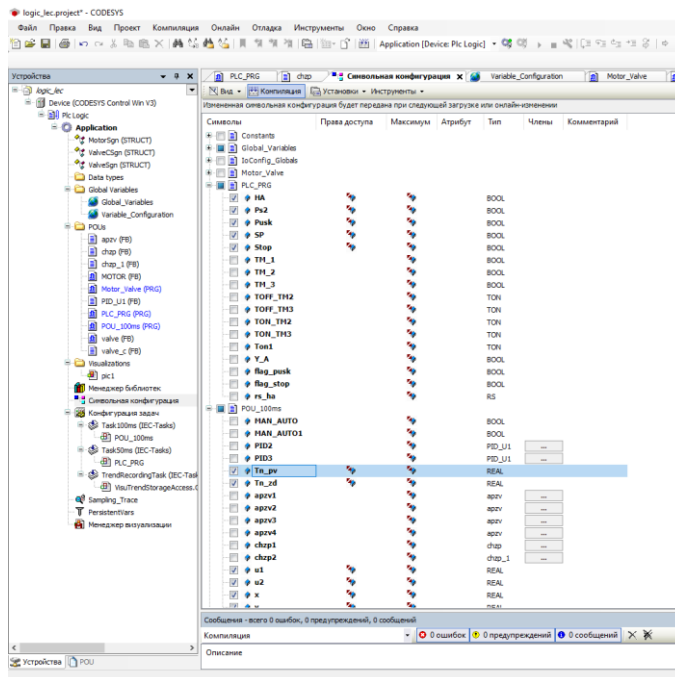


Рис. 6.19 – Фрагмент налаштування символічної конфігурації для обміну даними з використанням OPC UA - сервера.

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

У середовищі SCADA-системи WinCC реалізуємо канал зв'язку з OPC UA сервером. Проводимо підключення до OPC UA сервера CoDeSys в середовищі WinCC та формування нових тегів.

На рис. 6.20 та 6.21 представлені вікна налаштування мережевого підключення до OPC UA сервера CoDeSys та створення тегів пов'язаних з OPC UA сервером в SCADA системі WinCC.

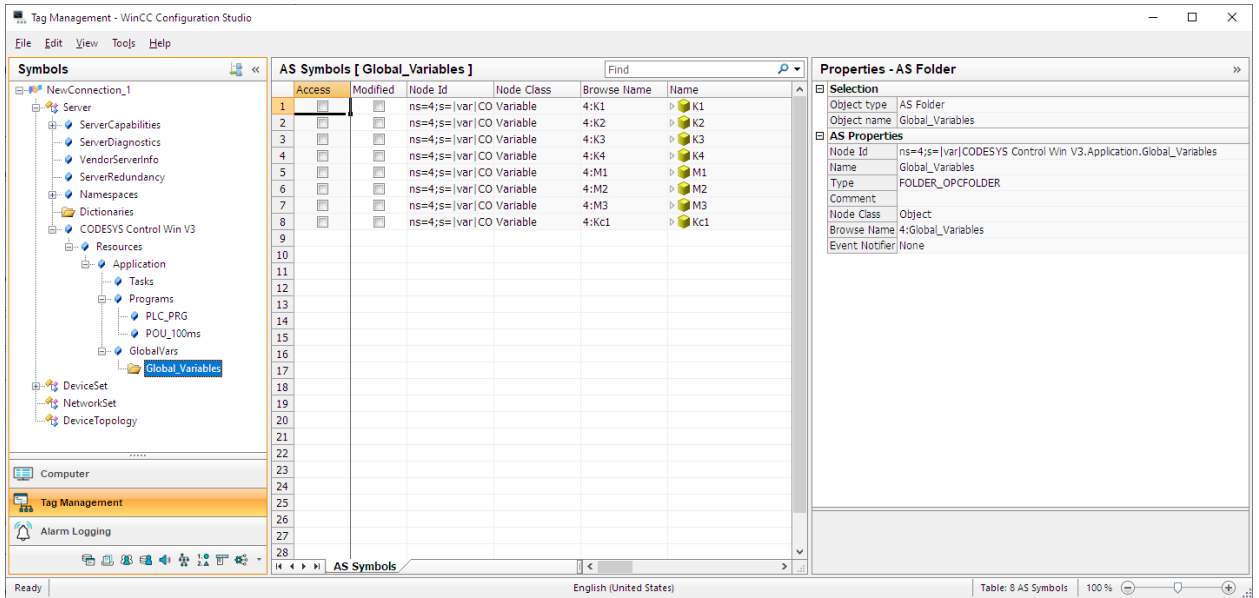


Рис. 6.20 – Вікно створення мережевого підключення до OPC UA сервера CoDeSys в SCADA системі WinCC.

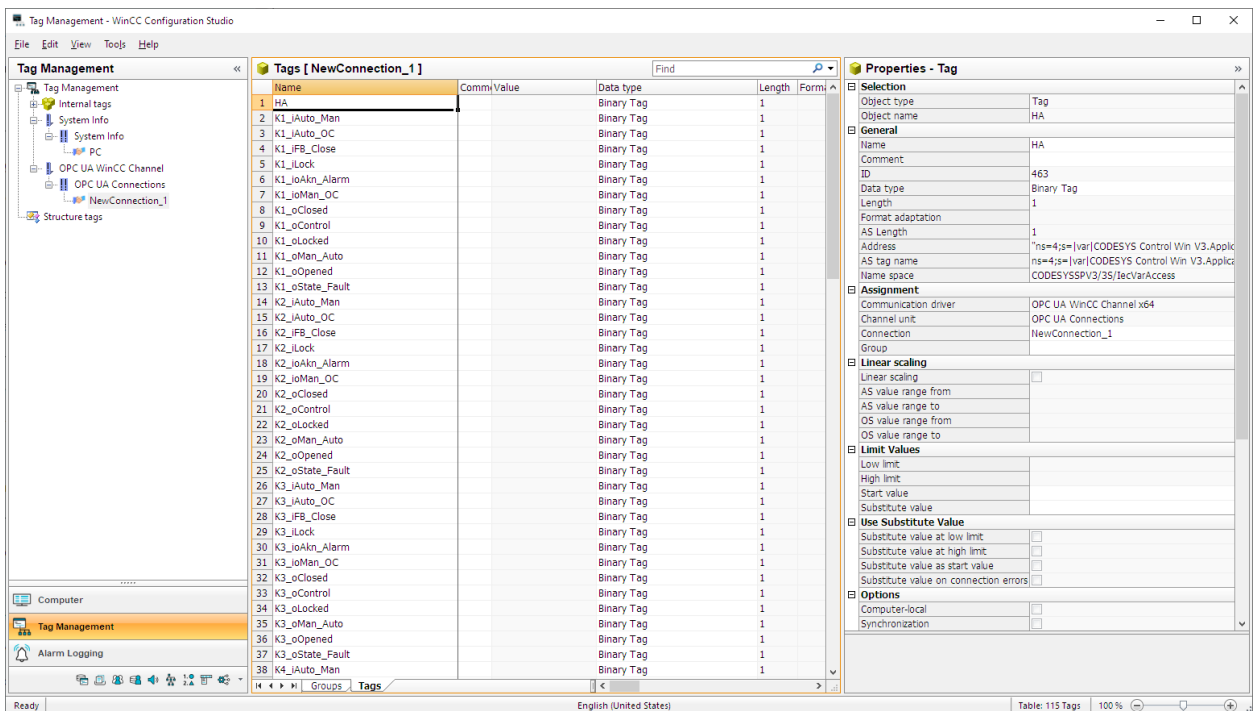


Рис. 6.21 – Вікно створення тегів пов'язаних з OPC UA сервером CoDeSys в SCADA системі WinCC.

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

6.5 Висновки за розділом

В даному розділі була розроблена технічна структура мікропроцесорного ядра системи керування процесом кондиціонування повітря, здійснений вибір промислового контролера та його блоків вводу/виводу, в середовищі CoDeSys розроблені програми, які реалізують алгоритми логічного керування та регулювання, проведена їх перевірка, яка засвідчила роботоспроможність програм та їх відповідність алгоритмам керування.

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 кондиціонування повітря повинно передбачати наявність набору функцій, які максимально охоплюють і забезпечують виконання його професійних обов'язків. З урахуванням цього АРМ оператора-технолога має передбачати можливість виконання оператором наступних функцій:

1. Контролювати значення технологічних параметрів процесу кондиціонування повітря і задавати режими роботи обладнання.

2. Контролювати стан обладнання процесу кондиціонування повітря (включено, вимкнений, знаходиться в аварії і т.д.) і значення експлуатаційних параметрів обладнання.

3. Керувати запуском і зупинкою обладнання в ручному та автоматичному режимах керування.

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:

1) Мнемосхема ділянки. Основний екран із зображенням мнемосхеми процесу кондиціонування повітря дозволяє контролювати хід процесу, керувати обладнанням, міняти режими роботи обладнання та контролювати виникнення порушень в роботі.

2) Графіки. Екран, призначений для відображення графіку зміни температури повітря після зони охолодження та температури повітря після зони підігріву.

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

4) Адміністрування. Екран допомоги для нових недосвідчених користувачів та для налаштування.

7.2. Розробка екранів АРМ оператора-технолога

7.2.1. Шаблон екранів.

Шаблон екранів створюється як окреме основне вікно у графічному редакторі екранів SCADA-системи WinCC V8.0. Графічні елементи розташовані у вікні шаблону (рис.7.1) будуть присутні на всіх екранах що входять в проект.

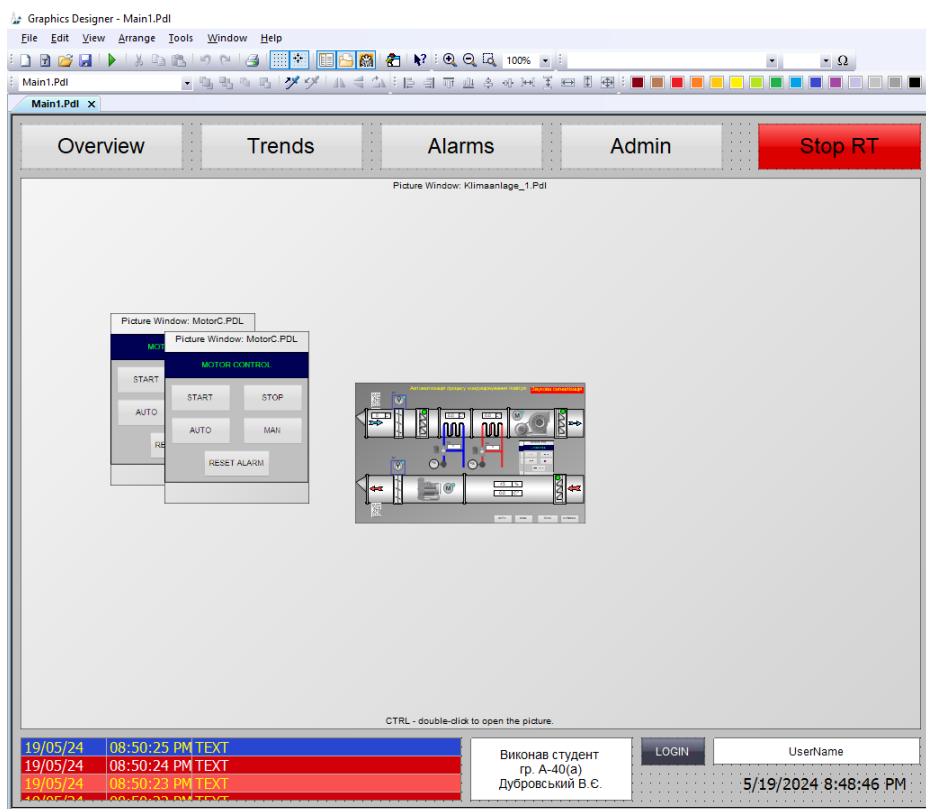


Рис.7.1 – Загальний вигляд шаблону вікон.

Шаблон екранів включає заголовок екрану і меню перемикання екранів АРМ. Заголовок екрану створений з використанням типових елементів графічного редактора системи WinCC. Він включає логотипи розробника проекту, загальна назва технологічного процесу, елементи відображення поточної дати і часу,

елемент відображення поточної активної помилки, а також текстове поле виведення назви поточного активного користувача.

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

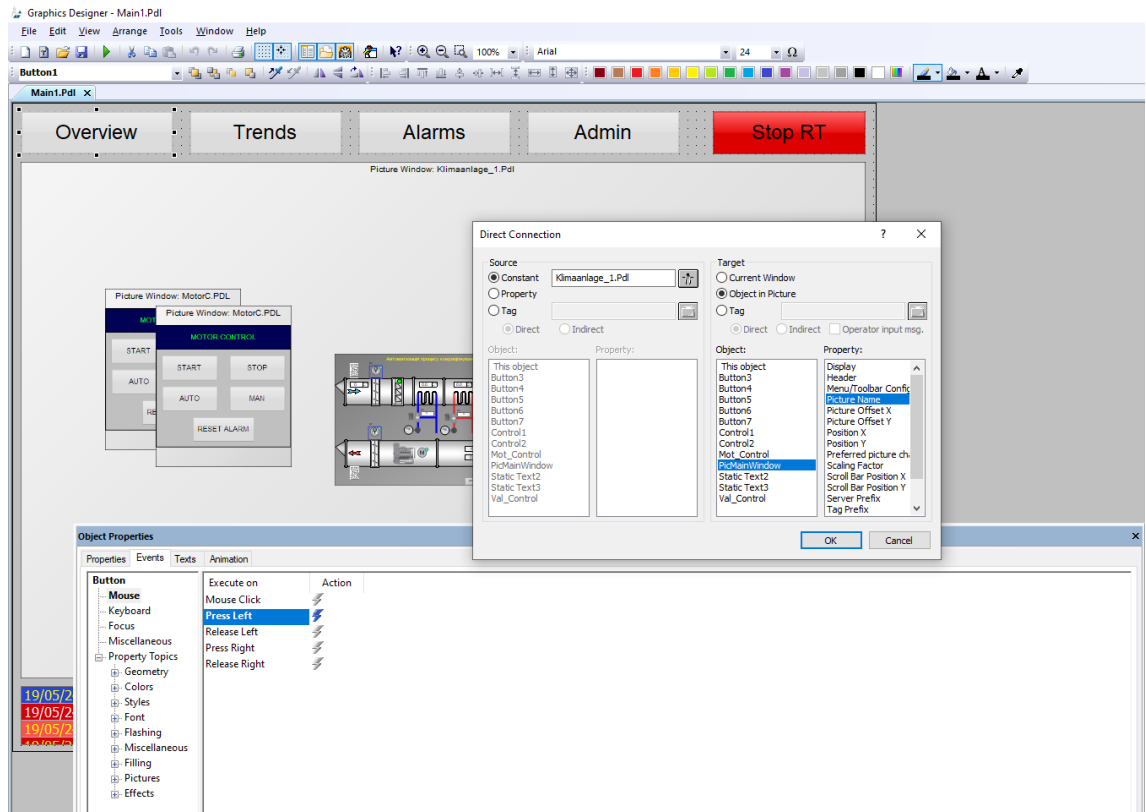


Рис.7.2 – Приклад використання системної функції «ActivateScreen» для перемикання екранів графічного інтерфейсу.

У заголовку екрану також відображається ім'я поточного активного користувача. Ім'я користувача виводиться у текстовому полі.

7.2.2. Мнемосхема ділянки.

Основне вікно «Overview» (Мнемосхема ділянки) (рис. 7.3) містить схематичне зображення обладнання процесу кондиціонування повітря з елементами відображення і управління. Зображення агрегатів процесу

кондиціонування повітря створено в графічному редактор SCADA - системи WinCC з використанням стандартних елементів графічної бібліотеки цього редактора. Встановлені на мнемосхемі графічні елементи відображення і управління дозволяють оператору контролювати стан обладнання і значення технологічних параметрів, а також керувати обладнанням.

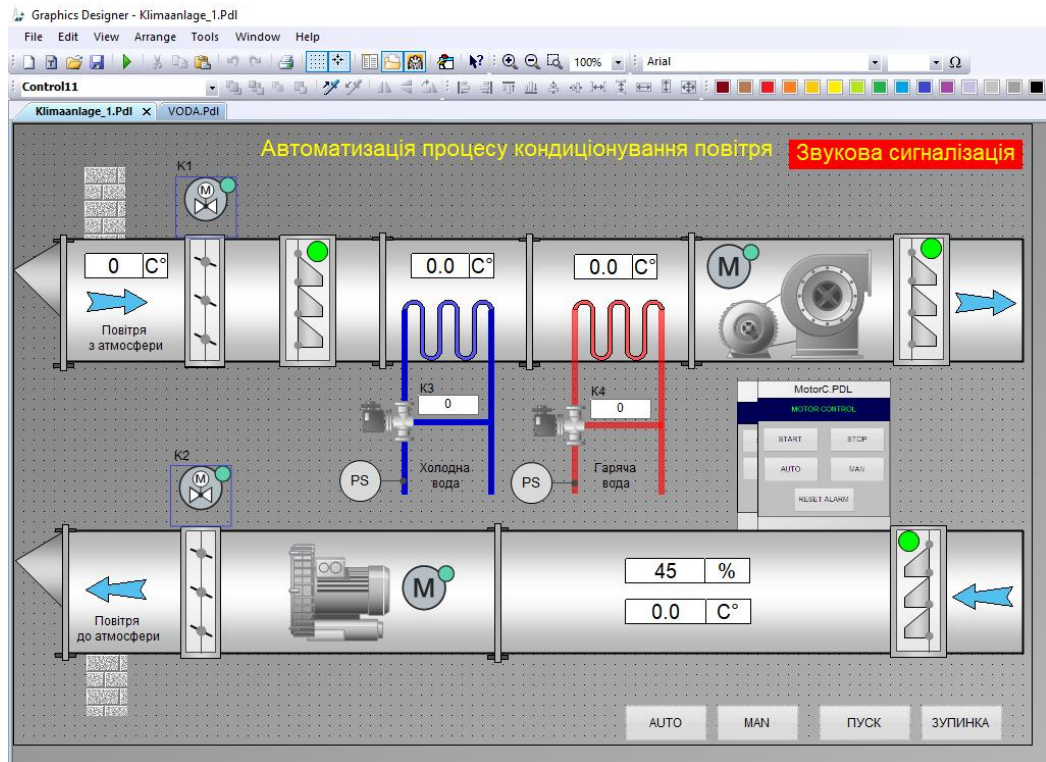


Рис. 7.3 – Загальний вигляд вікна «Overview» (Мнемосхема ділянки).

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 пропарювача або появою стрілок вказують напрямком потоку складових, холодної та теплої води, відображається включення двигунів і відкриття клапанів.

Контроль стану двигунів і клапанів реалізований з використанням спеціально розроблених екранних форм (рис. 7.4).

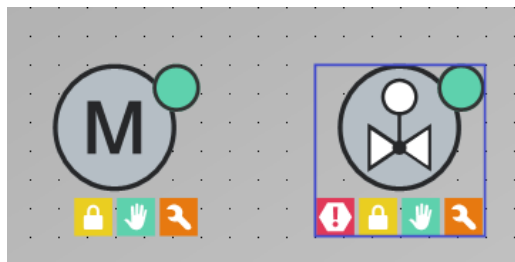


Рис. 7.4 – Екранні форми для контролю стану двигунів та виконавчих пристроїв.

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. 7.5).

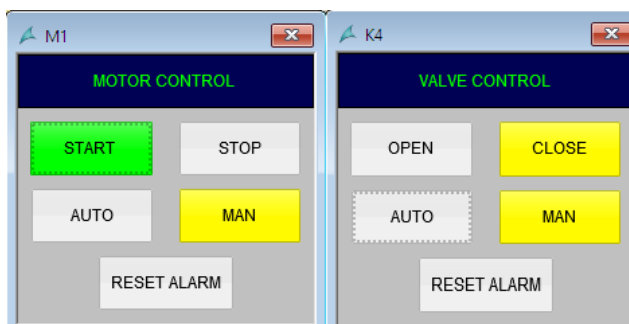


Рис. 7.5 – Екранні форми для керування двигунами і клапанами.

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. 7.6 представлений приклад прив'язки тегів до екранної форми контролю стану двигуна. Створені екранні форми згруповані в спеціальній бібліотеці і можуть використовуватися при створенні інших проектів.

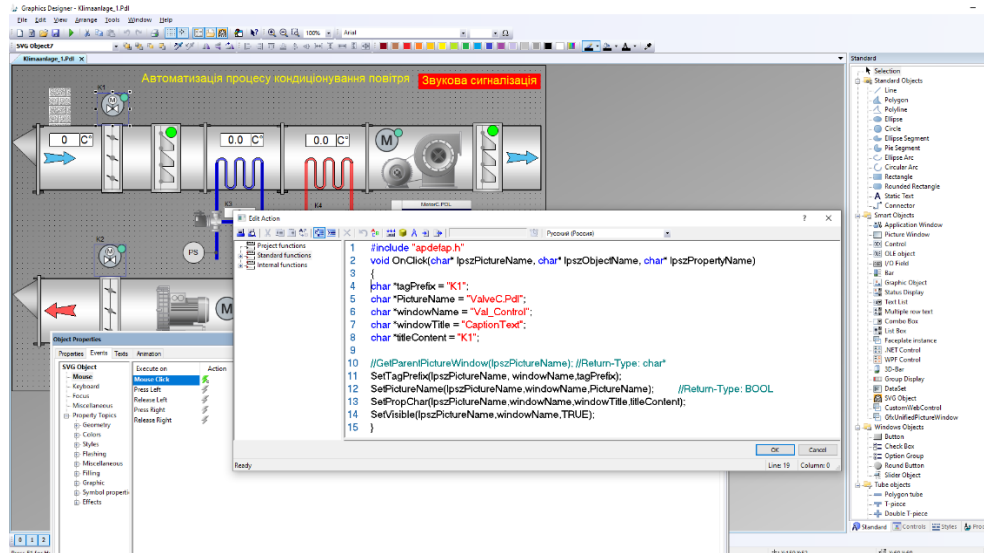


Рис. 7.6 – Фрагмент вікна прив'язки тегів до екранної форми контролю стану двигуна.

На малюнку 7.7 представлений екран «Overview» (Мнемосхема ділянки) при працюючому в автоматичному режимі, без порушень режиму роботи і справному обладнанні. А на малюнку 7.8 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.

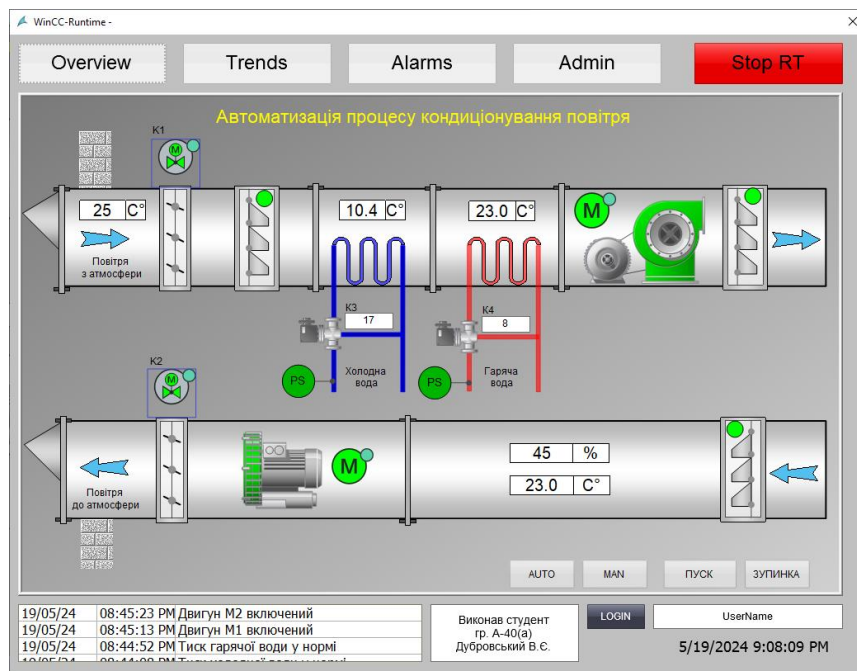


Рис. 7.7 – Загальний вигляд екрану «Overview» (Мнемосхема ділянки) при нормальній роботі.

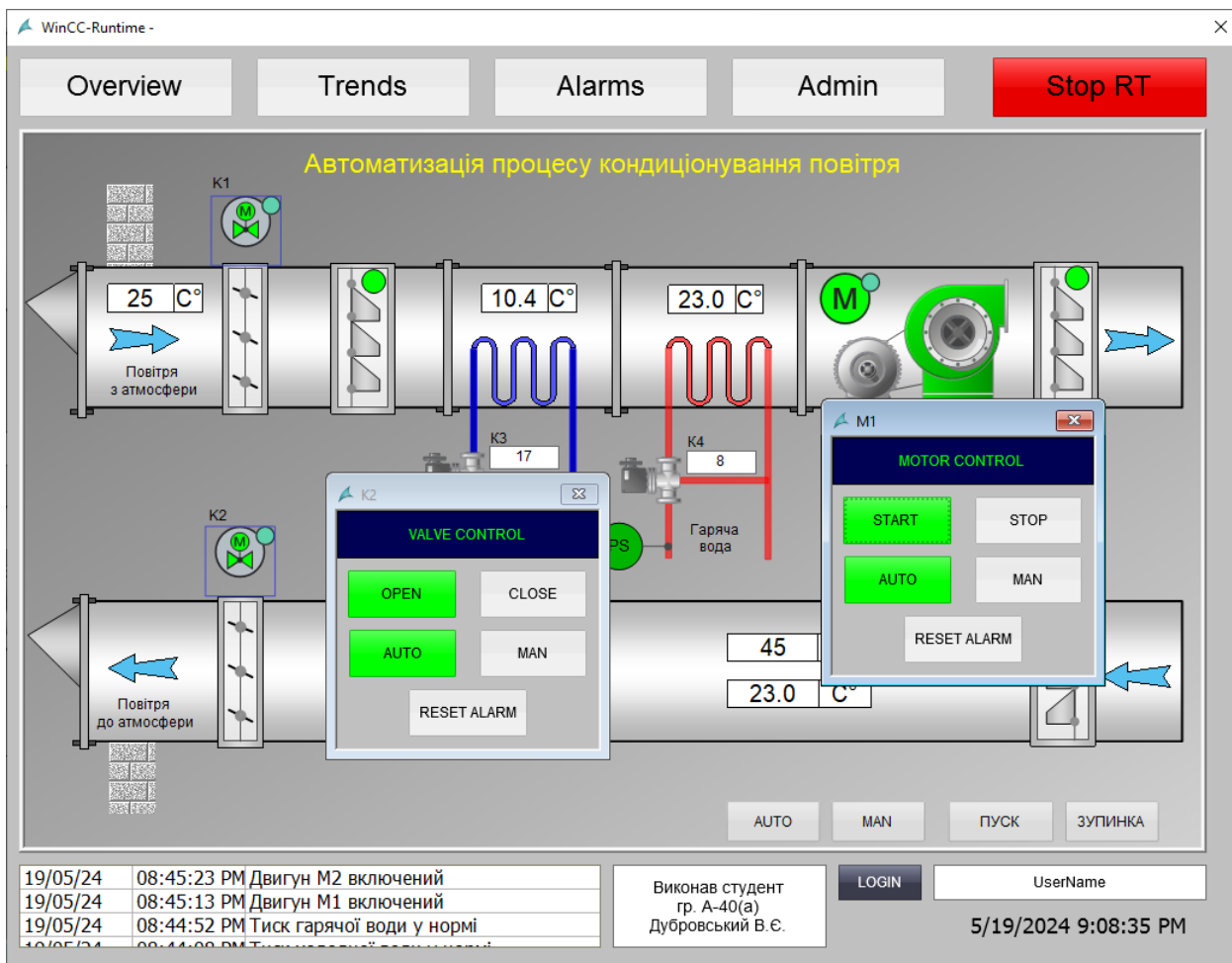


Рис. 7.8 – Загальний вигляд екрану «Overview» (Мнемосхема ділянки) при відкритих екранних формах управління двигунами і клапанами.

7.2.3. Графіки зміни технологічних параметрів.

Для реєстрації змін основних технологічних параметрів в проекті передбачено вікна побудови графіків зміни температури повітря. Для побудови графіків використовується елемент «Trend View» із стандартної бібліотеки SCADA - системи WinCCFlexible. На малюнку 7.9 представлений вікно реєстрації температури, а на малюнку 7.10 приклад налаштування елемента «Trend View» і його прив'язки до тегів контролера.

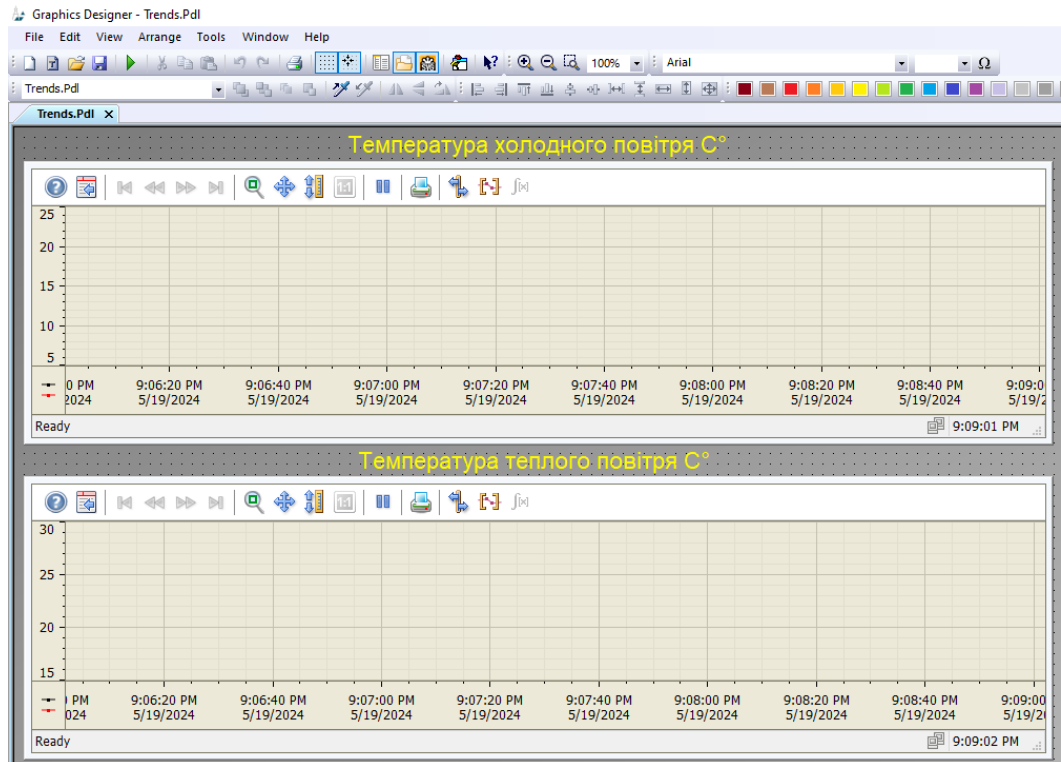


Рис.7.9 – Екран реєстрації температури.

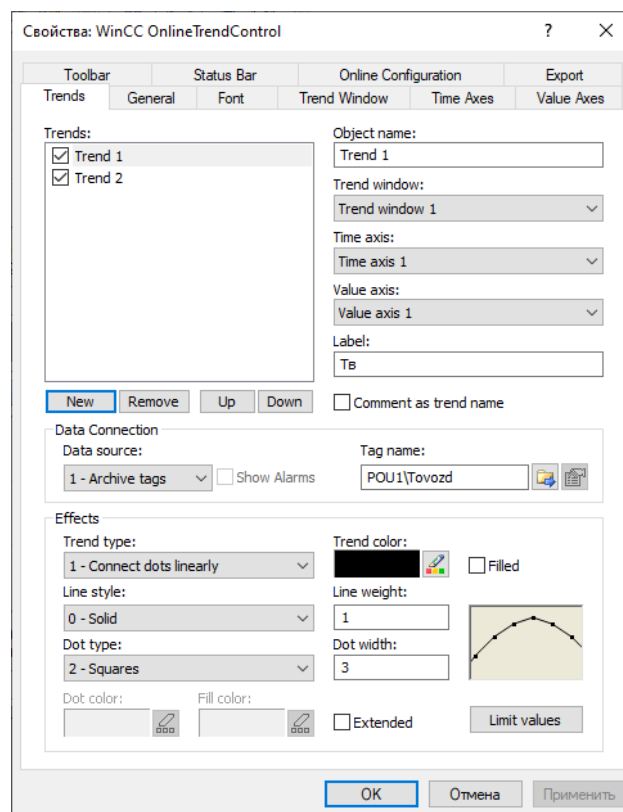


Рис.7.10 – Приклад налаштування елемента «Trend Control».

На рис. 7.11 представлені графіки зміни температури повітря під час пуску установки у роботу.

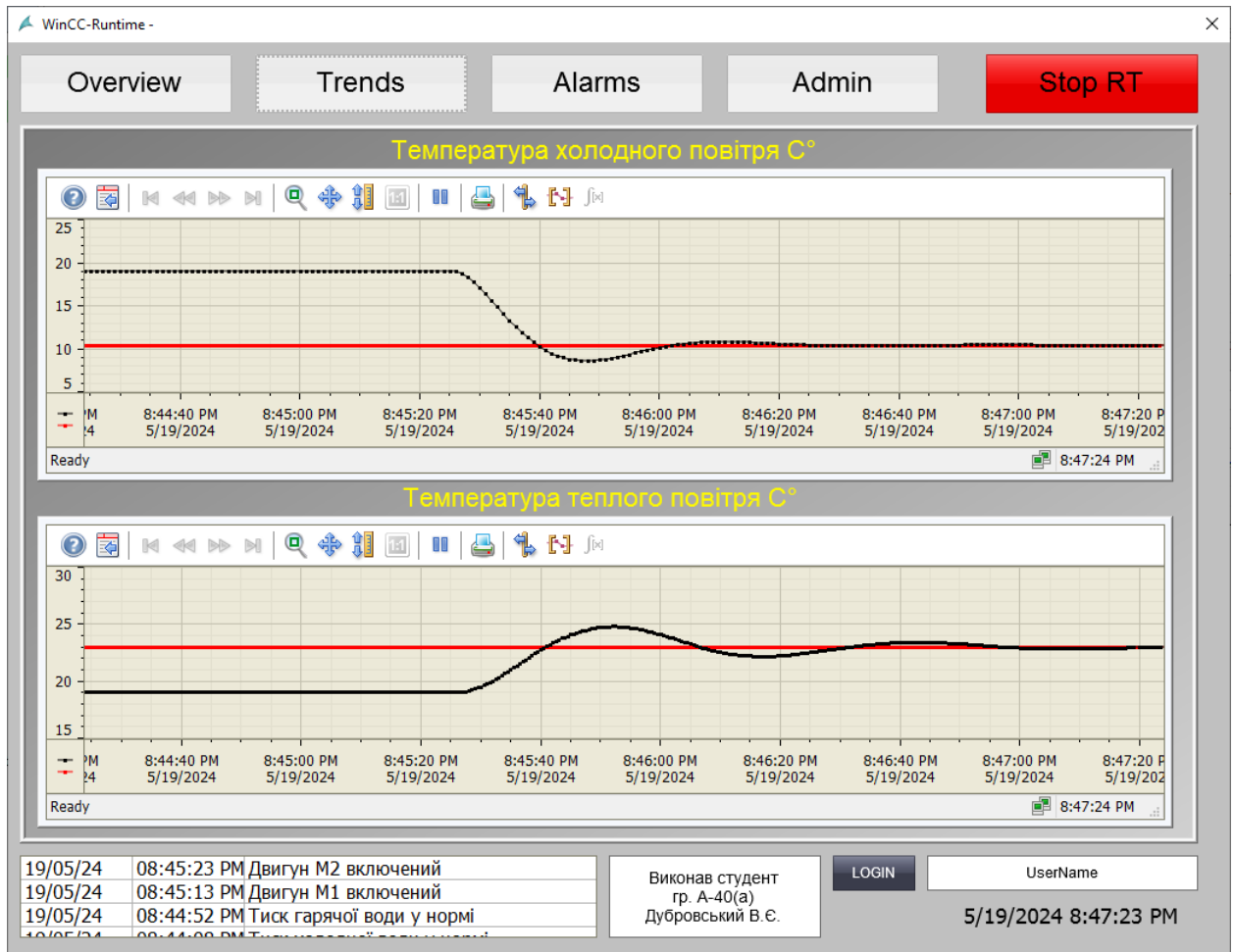


Рис. 7.11 – Графіки зміни температури повітря після зони охолодження та зони підігріву.

7.2.5. Діагностичні повідомлення.

Для інформування оператора про стан технологічного процесу і події виникають з обладнанням процесу кондиціонування повітря в проекті створена система повідомлень з використанням відповідного редактора SCADA - системи WinCC. Система повідомлень включає повідомлення обумовлені користувачем і системні повідомлення. Повідомлення, обумовлені користувачем, розділені на

дискретні і аналогові і належать класам «Warnings» (попередження) і «Errors» (помилки). Повідомлення класу «Errors» інформують про критичні або небезпечних робочих станах заносяться в архів. Фрагменти списків дискретних і аналогових повідомлень, класів повідомлень представлені на малюнках 7.12 - 7.14.

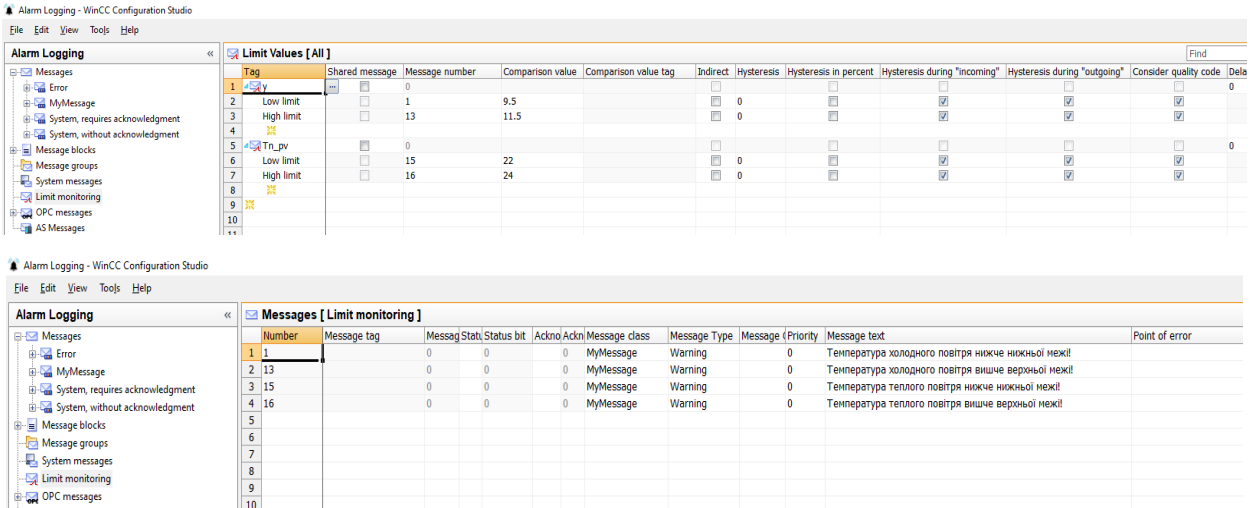


Рис.7.12 – Фрагмент вікна редактора аналогових повідомлень.

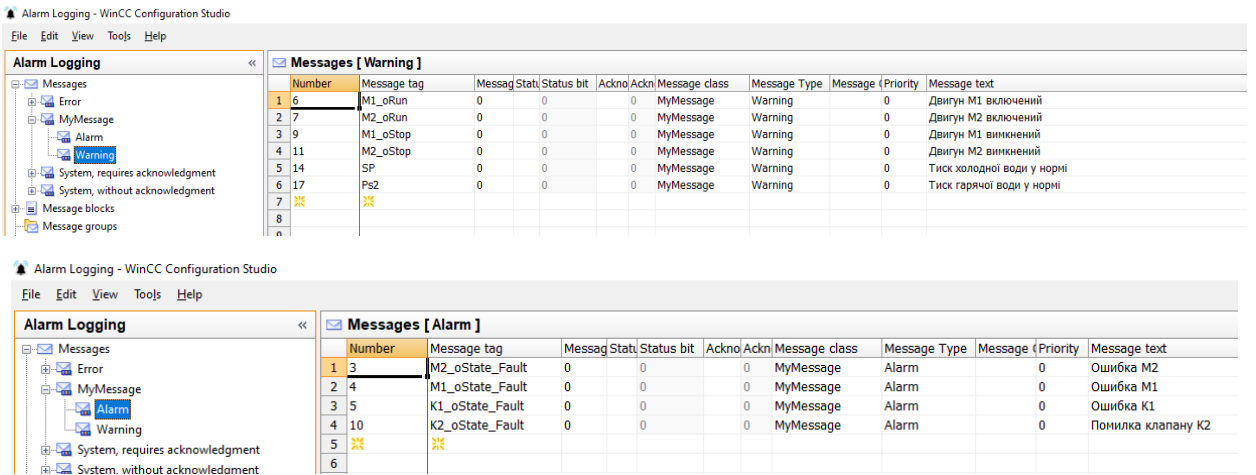


Рис.7.13 – Фрагмент вікна редактора дискретних повідомлень.

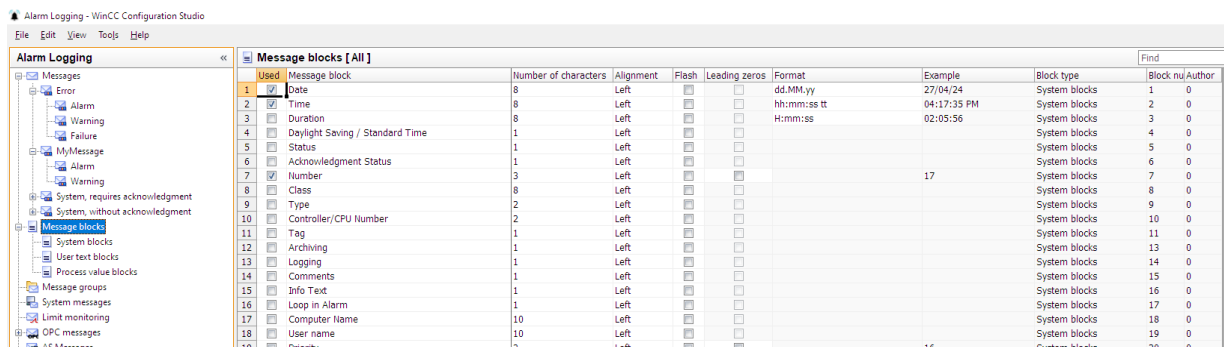


Рис.7.14 – Загальний вигляд вікна блоків повідомлень.

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 малюнку 7.15 представлений приклад екрану з елементами «Alarm View» налаштованими на виведення поточних активних робочих повідомлень і повідомлень про несправності. Також на малюнку представлено вікно властивостей елемента «Alarm View» налаштованого на виведення поточних активних повідомлень про несправності.

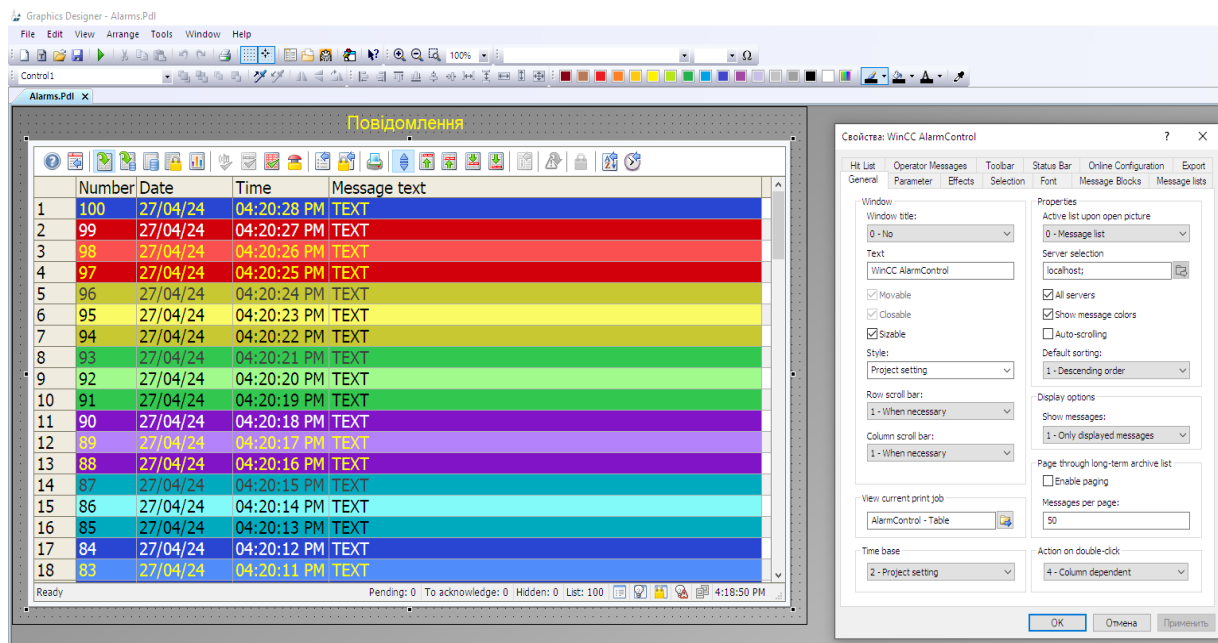


Рис.7.15 – Загальний вигляд екрану виведення діагностичних повідомлень та налаштування елемента виведення повідомлень «Alarm View».

На малюнках 7.16 - 7.18 представлені екрани, що демонструють роботу системи повідомлень для повідомлень, що визначаються користувачем.

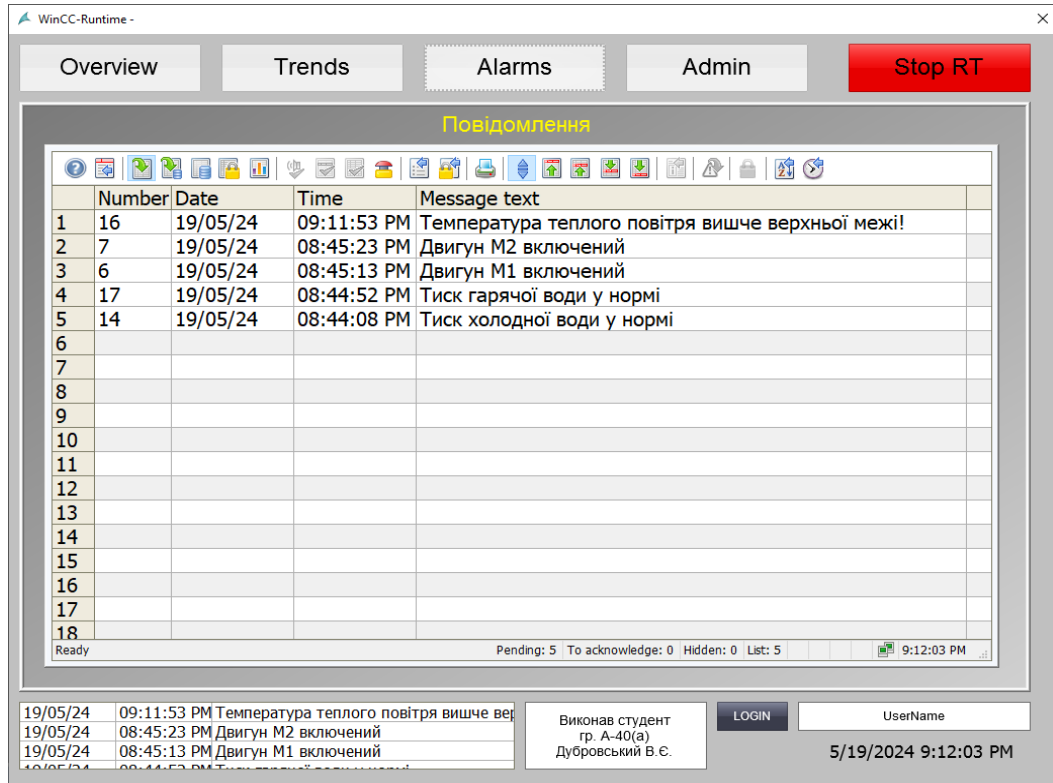


Рис.7.16 – Загальний вигляд екрану з поточними повідомленнями.

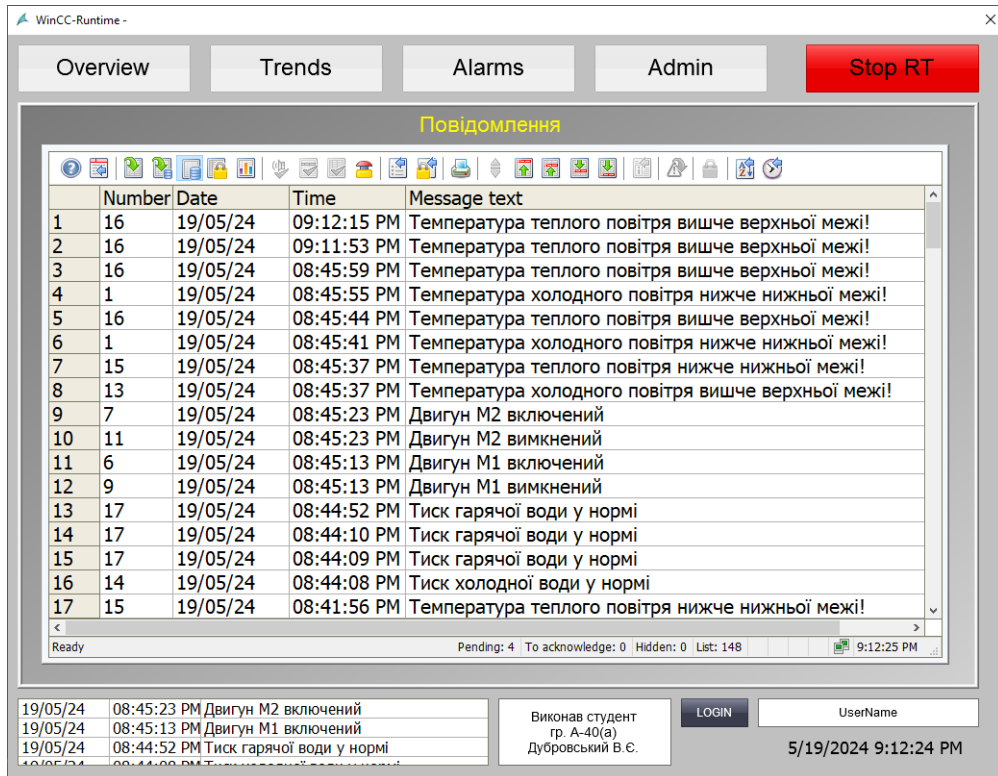


Рис.7.17 – Загальний вигляд екрану з відображенням буфера повідомлень.

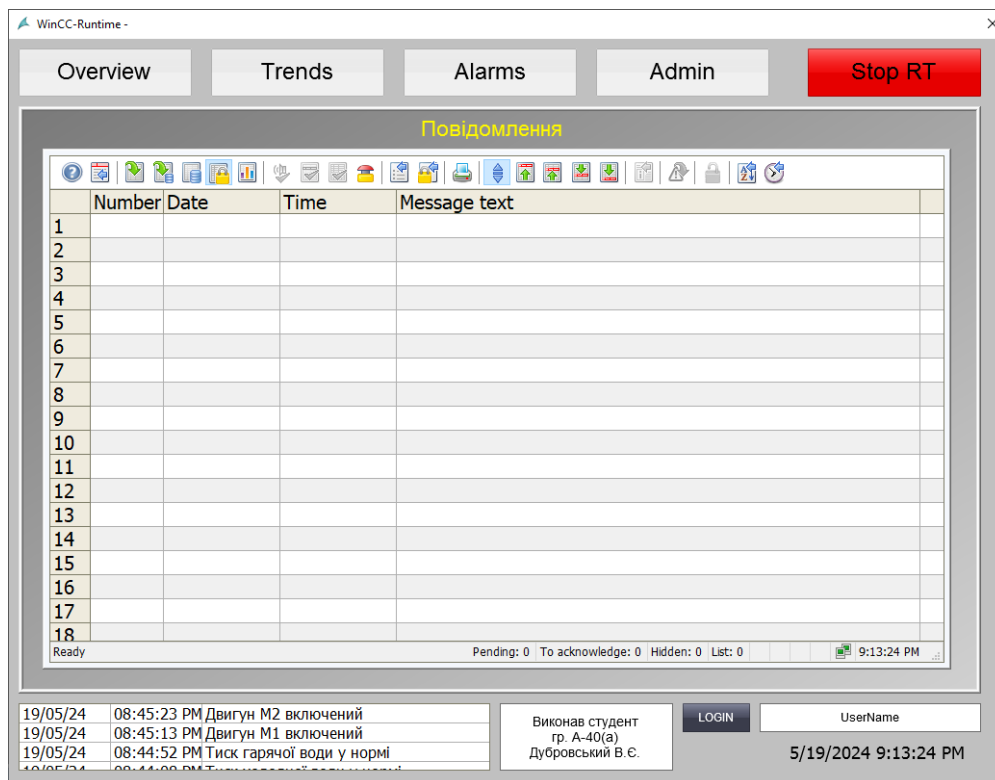


Рис.7.18 – Загальний вигляд екрану з відображенням архіву повідомлень про несправності.

7.3. Конкретизація функцій і структури екранів АРМ наладчика САУ

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

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

1. Управляти контурами регулювання:
 - Відображати поточні та задані значення регульованих перемінних;
 - Відображати поточні значення керуючих впливів;
 - Міняти значення настроювальних параметрів регуляторів;
 - Міняти задані значення регульованих змінних;
 - Перемикати режими роботи регуляторів АВТ / РУЧ і формувати

управляючі дії в ручному режимі.

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

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

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

5. Задавати граничні значення технологічних параметрів.

6. Виконувати адміністрування користувачів системи.

7. Виконувати аналіз системних повідомлень.

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

1. Налаштування САК.

2. Реєстрація.

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

7.4. Розробка екранів АРМ наладчика САК.

Для виконання завдань налаштування контурів регулювання, заданих значень температур повітря в системі кондиціонування, часових затримок для алгоритмів керування пуском і зупинкою, граничних значень технологічних параметрів, контролю системних показників роботи панелі оператора у проекті передбачений екрани зміни налаштувань САК («Admin»)(рис.7.19).

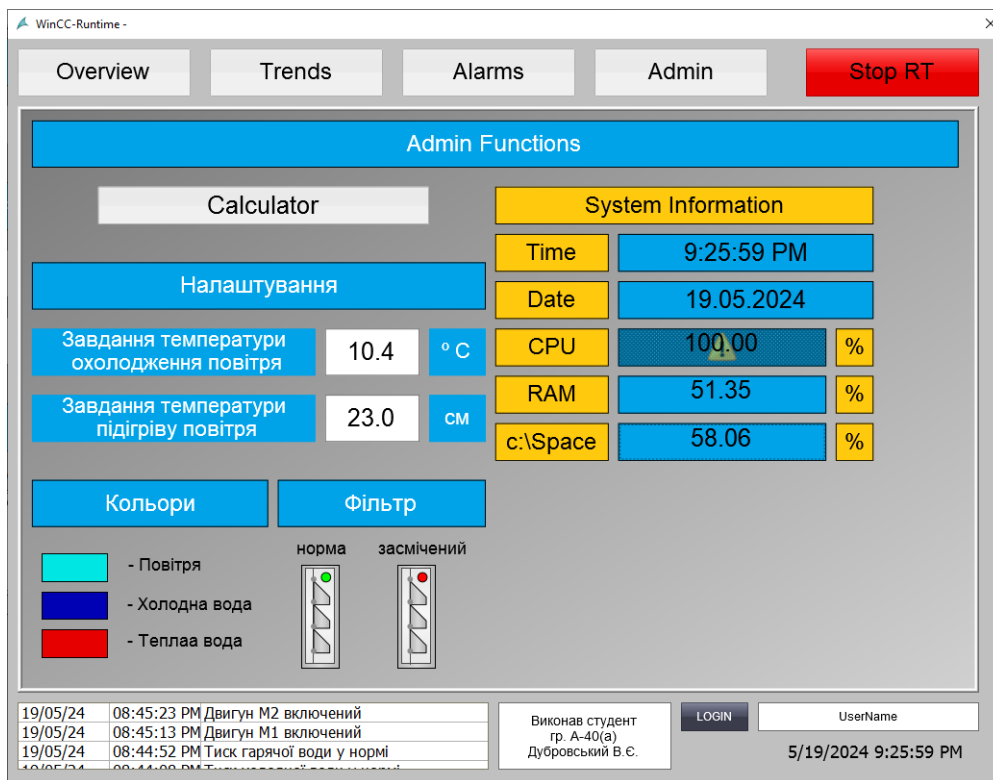


Рис.7.19 – Загальний вигляд екрану «Admin».

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

Також є можливість виконувати роботу зі списком користувачів. Змінювати імена, паролі, групи існуючих користувачів. Наладчик може додавати і видаляти користувачів системи.

7.5 Висновок за розділом

При виконанні розділу в середовищі SCADA - системи WinCC розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САК процесу кондиціонування повітря. АРМ дозволяє контролювати хід технологічного процесу, задавати режими роботи, здійснювати перемикання режимів управління обладнанням (АВТ / РУЧ) і управляти в ручному режимі окремим обладнанням, проводити налаштування і налагодження САУ. Відображати динаміку зміни технологічних параметрів (температур повітря) та вести журнали подій.

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

Основних технічних рішень із побудови САК :

- Сформований регламент табл. 1.1;
- Створена апаратурно-технологічна схема процесу кондиціонування повітря 4.1;
- Розділ 5, вибір приладів та створення списку параметрів які повинні вводитись і виводитись з контролера (табл. 5.4);
- Проведена параметризація технічних засобів, контролера і мереж, програмування алгоритмів логічного керування та регулювання САК;
- Розроблена SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК
- Для розміщення використовуються 2 щита, щит автоматики та силовий щит.

Склад документації технічного забезпечення:

- схема автоматизації;
- принципові електрична схема контролю й керування;
- принципова електрична схема живлення.
- та

8.2. Розробка схеми автоматизації та специфікацій на технічні засоби системи

Схеми автоматизації включають технологічну схему, що містить основні технологічні апарати і машини, зображену в спрощеному варіанті і розташовану у верхній частині листа, і засоби автоматизації, що входять до складу систем

контролю, регулювання, які наносять на схему за допомогою умовних графічних позначень і ліній зв'язку. Вона складена відповідно до ДСТУ Б.А. 2.4-16:2008 "Система проектної документації для будівництва. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах". Функції автоматичного регулювання й логіко-програмного керування, виконує ПЛК з ПК, розташованим в операторському пункті. Розглянемо перелік контурів контролю й керування наведеній на схемі автоматизації по позиційним номерам контурів:

- 1, 2 – управління та контроль станів електроприводів вентиляторів;
- 3 – контроль (3) температури після охолоджувача;
- 4 – контроль (5) температури після нагрівача;
- 5 – контроль (7, 8) температури та відносної вологості;
- 6 – контроль тиску (9 – 15);
- 7 – керування (16, 17) жалюзі;
- 8 – функція передпускової сигналізації;
- 9 – функція перетворення інтерфейсних зв'язків між ПК, ПЛК.

У контурах керування приводами (1, 2) встановлені для кожного ланцюга управління на щиті ключі вибору режиму керування ("автомат-дистанція"), кнопки "ПУСК", "СТОП", а також світлосигнальна арматура (світлодіод), що показує стан роботи двигуна; по місцю встановлений пристрій відключення двигуна (кнопка "СТОП").

У контурах (3, 4) управління виконавчими механізмами аналогової дії. Так як принцип робот двох контурів ідентичний розглянемо лише контур 3. Від термометру з уніфікованим перетворювачем 3а сигнал струму (0-20мА) подається на вхід АІ ПЛК. Вихідний сигнал АО (0-10V) з ПЛК подається на привід регулюючого клапана 3б.

Контур 5 забезпечує контроль температури та відносної вологості повітря за допомогою термометру з уніфікованим перетворювачем 5а сигнал за допомогою аналогового входу АІ подається на ПЛК.

Контур 6 забезпечує контроль тиску за допомогою дифреле тиску з уніфікованим перетворювачем 7а,...,13а сигнал подається за допомогою дискретного входу ДІ подається на ПЛК.

У контурі 7 управління виконавчими механізмами дискретної дії сигнал за допомогою дискретного виходу ДО подається на ПЛК.

Всі сигнали з ПЛК отримує й ПК який виконує функції А – реєстрація, R – сигналізація. Н – ручне керування

У додатку А наведена специфікація приладів та засобів, що використані в схемі автоматизації.

8.3 Розробка принципів схем

На принциповій електричній схемі (5 листів в додатку Б) показані елементи, які виконують строго певну функцію і які не можуть бути розділені на частини. Ця схема дає уявлення за допомогою графічних зображень і позначень про послідовність роботи електричних приладів й елементів для досягнення поставлених функціональних завдань. Схема складена відповідно до вимог Держстандартів:

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

ДЕРЖСТАНДАРТ 2.702. ЕСКД. Правила виконання електричних схем;

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

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

Особливістю принципової електричної схеми контролю й керування, є те, що відповідно до Керівних матеріалів ВНДПКІ "Харчопроматоматика", вона будується як сполучена схема контролю, керування, сигналізації й підключення вхідних і вихідних сигналів до контролера.

8.4 Розробка схем живлення

Елементи цієї схеми розміщені в шафі оператора. По кабелю W1 напруга живлення 220 V AC та захисне заземлення PE подається від силового щита до щита оператора на клеми X0. Від них сполучними провідниками живлення через двополюсний автоматичний вимикач Q1 подається на первинну обмотку розподільчого трансформатора T1. З його вторинної обмотки напруга живлення 220 V AC через автоматичні вимикачі Q3, Q4 надходить до двох джерел живлення G1, G2, на виходах яких утворюється напруга 24 V DC. Джерело G1 призначене для живлення панелі оператора, а джерело G2 призначене для живлення модулів ПЛК. Трансформатор T1 забезпечує гальванічний розподіл та підвищує завадостійкість живлення відповідальних засобів.

У схемі для виконання ремонтних робіт встановлена розетка RECEPT1, яка підключена до живлення 220 V AC через диференційний автоматичний вимикач Q2, що забезпечує розмикання ланцюга при струмі більше 30 mA та при короткому замиканні.

У додатку В наведені ПЕС живлення та ПЕМ електроприводу.

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

Розроблені таблиці з'єднань в щиті оператора котрі представлені в додатку Г

8.6 Охорона праці

У процесі експлуатації системи автоматизації на заводі ІнтерХім оператори автоматизованих робочих місць (АРМ) стикаються з різними небезпечними і шкідливими виробничими факторами (НШВФ). Нижче наведено перелік таких факторів та запропоновані заходи для їх усунення або зниження впливу.

НШВФ в операторському пункті:

1. Випромінювання і мерехтіння екрана монітора:

– Постійне використання моніторів призводить до зорового навантаження, стомленості очей і головного болю.

Заходи: Використання моніторів з низьким рівнем випромінювання та технологій для зменшення мерехтіння. Регулярні перерви для відпочинку очей.

2. Освітленість приміщення:

– Недостатнє або неправильне освітлення може викликати зоровий дискомфорт та підвищену втому.

Заходи: Забезпечення достатнього рівня освітленості згідно з нормативами, використання антиблікових екранів.

3. Близькість виробничих приміщень:

– Вплив шуму, вібрацій та можливих викидів шкідливих речовин.

Заходи: Звукоізоляція операторських пунктів, встановлення систем вентиляції та очищення повітря.

НШВФ у виробничому приміщенні:

1. Хімічні речовини:

– Вплив шкідливих хімічних речовин, що використовуються у виробництві.

Заходи: Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), вентиляційні системи.

2. Фізичні фактори:

– Вплив шуму, вібрацій, температурних коливань.

Заходи: Захист від шуму (наушники), антивібраційні засоби, контроль температурного режиму.

3. Ергономічні фактори:

– Незручна робоча поза, тривале сидіння або стояння.

Заходи: Ергономічні робочі місця, регулювання висоти столів та крісел.

Перелік заходів щодо ослаблення або повного усунення НШВФ:

Встановлення сучасного обладнання з низьким рівнем випромінювання, регулярні перерви для відпочинку, контроль і підтримання оптимальних умов

освітлення, звукоізоляція і системи очищення повітря, використання ЗІЗ та проведення навчань щодо безпечного поводження з хімічними речовинами.

Заходи щодо безпечного проведення планово-попереджувальних і аварійно-відбудовних робіт

Планово-попереджувальні роботи:

- Регулярний огляд і обслуговування обладнання.
- Встановлення графіків технічного обслуговування.
- Навчання персоналу щодо безпечного проведення робіт.

Аварійно-відбудовні роботи:

- Розробка планів евакуації.
- Встановлення засобів для ліквідації аварій (пожежогасіння, аварійні кнопки).
- Навчання персоналу щодо дій в аварійних ситуаціях.

Перелік можливих аварійних ситуацій і їхніх наслідків:

1. Пожежа:

Наслідки: Ушкодження обладнання, ризик для здоров'я та життя персоналу.

Заходи: Встановлення пожежної сигналізації, пожежогасіння, навчання евакуації.

2. Хімічне забруднення:

Наслідки: Токсичне отруєння, забруднення навколишнього середовища.

Заходи: Системи вентиляції, засоби індивідуального захисту, плани евакуації.

3. Електричні аварії:

Наслідки: Пошкодження обладнання, ризик ураження електричним струмом.

Заходи: Системи аварійного відключення, навчання безпеки.

Загальні вимоги до шляхів евакуації персоналу:

Чітке маркування евакуаційних виходів, вільні від перешкод шляхи евакуації, регулярні навчання і тренування з евакуації.

8.7 Висновки за розділом

Вході виконання розділу розроблено комплект фрагментів документації технічного забезпечення САК, який включає документи, що відображають основні типові рішення з контролю і керування, прийняті в роботі, а саме: функціональну схему автоматизації, принципові електричні схеми підключень входів-виходів на базі сучасного ПЛК. Документи супроводжуються специфікаціями. Також було проаналізовано основні питання, пов'язані з охороною праці, включаючи небезпечні і шкідливі виробничі фактори, заходи для забезпечення безпеки під час проведення планово-попереджувальних і аварійно-відбудовних робіт, та заходи щодо локалізації аварійних ситуацій і забезпечення шляхів евакуації персоналу.

9 Попереднє обґрунтування економічної доцільності впровадження модернізованої САК

9.1 Розрахунок інвестиційних витрат на модернізацію системи автоматизації за її обраним варіантом.

В цій роботі модернізувалася лише система автоматичного керування тож витратили кошти тільки на роботу спеціаліста. Тобто модернізацію САК було витрачено 7200 грн.

9.2 Розрахунок змін основних показників діяльності підприємства, джерел інвестування й інвестиційної привабливості.

Як результат, після модернізації САК кондиціонера, очікується зниження розходу води у процесі виробництва приблизно на 8,4%. А також, зменшення витрат на електроенергію, приблизно на 6,2 %.

Таблиця 9.1 - Нормативні дані для розрахунку капітальних вкладень.

| Показники | Позначення | Од.вимір. | Величина |
|---|------------|-----------|----------|
| Укрупнений норматив витрат на модернізацію | Нмод | % | 10-20 |
| Коефіцієнт відрахувань на монтажні роботи | Цм | - | 0,1 |
| Норматив відрахувань на тару й упакування Цопті | Цт | % | 0,25 |
| Норматив відрахувань на транспортні видатки від Цопті | Цтр | % | 5,0 |
| Норматив відрахувань на заготовительно-складські видатки | Цз-3 | % | 1,2 |
| Норматив витрат на демонтаж від Цопті | | % | 2 |
| Нормативи розрахунку ліквідної вартості встаткування (від ІС пер) | | | |
| При використанні на запчастині | - | % | 6 |
| При продажі іншим організаціям | - | % | 7 |

1. Визначимо величину початкових інвестицій в нову, розроблену САК.

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

$$I_{\text{Сперв}}^{\text{б}} = Ц_{\text{опт}}^{\text{б}} + Ц_{\text{опт}}^{\text{б}} * Ц_{\text{м}} + (Ц_{\text{опт}}^{\text{б}} * Ц_{\text{т}}) / 100 + (Ц_{\text{опт}}^{\text{б}} * Ц_{\text{тр}}) / 100 \\ + [\{Ц_{\text{опт}}^{\text{б}} + (Ц_{\text{опт}}^{\text{б}} * Ц_{\text{т}}) / 100 + (Ц_{\text{опт}}^{\text{б}} * Ц_{\text{тр}}) / 100\}] * Ц_{\text{з-з}} / 100 \quad (6.1)$$

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

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

$$I_{\text{Сперв}}^{\text{б}} = 7200 + 7200 * 0,1 + (7200 * 0,25) / 100 + (7200 * 5,0) / 100 + \\ + [7200 + (7200 * 0,25) / 100 + (7200 * 5,0) / 100] * 0,012 = 8,3 \text{ тис грн.}$$

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 границях 5-20 % от $I_{\text{Сперв}}$.

Але так як кошти були витрачені лише на заробітну плату спеціаліста

$$I_{\text{С мод}} = 7200 \text{ грн.}$$

2. Визначимо витрати на воду до впровадження модернізації:

$$З_{\text{вод1}} = \text{ОВГ} * \text{Нр.вод1} * \text{Цод.вод} = 1375 * 0,29 * 26 = 10,3 \text{ тис. грн.}$$

3. Визначимо витрати на воду після впровадження модернізації:

$$З_{\text{вод2}} = \text{ОВГ} * \text{Нр.вод2} * \text{Цод.вод} = 1375 * 0,26 * 26 = 9,2 \text{ тис. грн.}$$

4. Визначимо зміну витрат на воду:

$$\Delta Z_{\text{вод}} = \Delta Z_{\text{вод2}} - \Delta Z_{\text{вод1}} = 9,2 - 10,3 = -1 \text{ 100 грн.}$$

5. Визначимо витрати на електроенергію до модернізації:

$$З_{\text{ел.ен.1}} = \text{ОВГ} * \text{Нр.ел.ен.1} * \text{Цод.ел.ен.} = 1375 * 15 * 5,60 = 115500 \text{ грн.}$$

6. Визначимо витрати на електроенергію після модернізації:

$$З_{\text{ел.ен.2}} = \text{ОВГ} * \text{Нр.ел.ен.2} * \text{Цод.ел.ен.} = 1375 * 14,1 * 5,60 = 108500 \text{ грн.}$$

7. Визначимо зміну затрат на електроенергію:

$$\Delta Z_{\text{ел.ен.}} = \Delta Z_{\text{ел.ен.2}} - \Delta Z_{\text{ел.ен.1}} = 108500 - 115500 = -7000 \text{ грн.}$$

8. Визначимо зміну повної собівартості продукції за рахунок модернізації

САК:

$$\Delta \text{СП} = \Delta \text{Зел.ен.} + \Delta \text{Звод} + \Delta \text{Васар} = -1100 - 7000 + 7200 = -900 \text{ грн.}$$

9. Визначимо приріст чистого прибутку підприємства:

$$\Delta \text{ЧП} = \Delta \text{СП} \cdot (1 - \text{Пп}) = 900 * (1 - 0,18) = 738 \text{ грн.}$$

Пп – податок на прибуток, який дорівнює на станом на 23.05.2020 р. - 18%.

9.3 Висновок за розділом

Після проведення розрахунків та порівняння витрат коштів до модернізації САК та після неї, було встановлено, що прибуток отриманий від модернізації системи позитивний. Вважаємо, що проект можна прийняти до реалізації. Але слід зазначити що ціллю модернізації було не лише зменшити витрати а й забезпечити більш стабільні мікрокліматичні умови.

ВИСНОВОК

В даній дипломній роботі, було розглянуто технологічний процес кондиціонування повітря. Було проведено опис технологічного процесу існуючої системи кондиціонування повітря, розроблено концептуальну модель системи автоматизації, що враховує основні компоненти та їх взаємодію, розроблені алгоритми керування, які забезпечують підвищення динамічної точності стабілізації регульованих змінних як в перехідних, так і в сталих режимах роботи САК, розроблені та реалізовані програмні алгоритми керування та регулювання системи кондиціонування повітря, проведено вибір та впровадження оптимальних технічних засобів для збору даних та керування процесом, розробка технічної структури контролерно-комп'ютерної мережі, створена SCADA-система для автоматизованого моніторингу та управління процесами кондиціонування повітря, розроблено комплект фрагментів документації технічного забезпечення САК та необхідні заходи з охорони праці та безпеки під час експлуатації.

Пророблену роботу підсумуємо тим, що модернізація система автоматизації кондиціонування повітря є доцільною, так як за допомогою модернізації досягнуто зменшення витрат на енергетичні ресурси маючи окупність менше одного року та покращення САК.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 3008:2015. Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. – Київ: ДП УкрНДНЦ, 2016. – 31 с.
2. Історія становлення [Електронний ресурс] / Офіційний сайт ТОВ "ІнтерХім" – URL: <https://interchem.ua/ua/article/istoriya-stanovleniya>.
3. Кондиціювання повітря [Електронний ресурс] / Вікіпедія, вільна енциклопедія. – URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Кондиціювання_повітря.
4. Хобін В. А. Конспект лекцій з курсу "Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів" [Електронний ресурс] : для студентів, які навчаються за спец. 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навчання / В. А. Хобін ; відп. за вип. В. А. Хобін ; каф. автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем. – Одеса : ОНАХТ, 2016. – 96 с.
5. Хобін В.А., Світий І.М. Теорія автоматичного керування: Посібник до виконання комплексної курсової роботи. – Одеса: Одеська національна академія харчових технологій, 2020. – 277 с.
6. Муратов В. Г. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади [Текст] : навч. посіб./ В. Г. Муратов. – Вид. 2-ге, допов. – Київ : Освіта України, 2016. – 364 с. – URL: <https://elc.library.onaft.edu.ua/libraryw/DocumentDescription?docid=OdONAHТcnv.BibRecord.155904>.
7. Савицький В. К. Технічні засоби автоматизації [Текст]: навч. посіб. / В.К. Савицький, Р.М. Федоришин.– Львів: Львівська політехніка, 2018. - 292 с. – URL: <https://elc.library.ontu.edu.ua/libraryw/DocumentSearchResult;jsessionid=6CD40B15F14DD9265BF7FD9A559C892C>.
8. 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. – Одеса : ОНАХТ, 2018. –150 с. – URL: <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ-cnv.BibRecord.162866>.

9. Датчики температури Siemens [Електронний ресурс] / T-Life. – URL: <http://t-life.com.ua/catalog/insetes/1049>.
10. Реле тиску КП [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Danfoss. – URL: <https://ianv.com.ua/image/data/userfiles/Date-sheet-Rele-Tisky-KP-holod.pdf>.
11. Реле тиску Фох [Електронний ресурс] / Hydraulic.ua. – URL: <https://hydraulic.ua/datchik-tisku-p16-a3-t3-010-z1-0-10-bar-4-20ma-pnomek/> .
12. Програмовані контролери серії 750 [Електронний ресурс] / TME. – URL: https://www.tme.eu/html/UA/programmruemye-kontrollery-serii750/ramka_30446_UA_pelny.html.
13. Пупена О.М. Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/НМІ. : Навч. посіб. – Київ : Видавництво «Ліра-К», 2020. – 594 с.
14. 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.
15. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студ. напряму 6050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та за-очної форм навчання. – К.: НУХТ, 2011. – 68 с.
16. ANSI/ISA-101.01-2015, Human Machine Interfaces for Process Automation Systems Copyright, 2015. – 64 pp.
17. Автоматизація виробничих процесів [Текст] : підручник / І. В. Ельперін, О. М. Пупена, В. М. Сідлецький, С. М. Швед. – Вид. 2-е, випр. – Київ : «Ліра-К», 2017. – С. 376-377. – URL: <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHT.1739079>.
18. Трегуб В. Г. Проектування систем автоматизації [Текст] : навч. посіб. / В. Г. Трегуб. – Київ : «Ліра-К, 2017». – С. 341. – URL: <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-/DocumentDescription?docid=OdONAHT-cnv.BibRecord.161435>.

19. Схеми автоматизації технологічних процесів [Електронний ресурс] / Вікіпедія, вільна енциклопедія. – URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Схеми_автоматизації_технологічних_процесів.

20. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці : конспект лекцій [Електронний ресурс] / О. О. Фесенко, В. М. Лисюк, С. М. Неменуца, З. М. Сахарова. – Одеса : ОНАХТ, 2021. – 149с. – URL: <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdОНАХТ.1739079>.

21. Методичні вказівки до економічної складової кваліфікаційної роботи бакалаврів за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укладачі Савенко І.І., Корсікова Н.М. – Одеса: ОНТУ, 2022. – 10с.

| ПОЗИЦІЙНЕ ПОЗНАЧЕННЯ | ВИРОБНИК | Номер за каталогом | К-ТЬ | ОПИС |
|------------------------------|---------------|------------------------|------|---|
| Q1 | ABB | MS116-16 | 1 | |
| Q2 | mitsubishi | CP-S-2P-0.05A | 1 | CIRCUIT PROTECTORS - FRAME SIZE 30 2-POLE CIRCUIT BREAKER 0.05AMPS TYPE CP, MAGNETIC TRIP 250VAC, 0.05AMPS |
| Q1 | SIEMENS | 5SY5206-7 | 1 | MINIATURE CIRCUIT BREAKER 5SY, 10KA 2-POLE CIRCUIT BREAKER 6AMPS C-TRIPPING CHARACTERISTICS 400VAC, 440VDC |
| Q3 Q4 | SIEMENS | 5SY4103-7 | 2 | MINIATURE CIRCUIT BREAKER 5SY, 10KA 1-POLE CIRCUIT BREAKER 3AMPS C-TRIPPING CHARACTERISTICS 230/400VAC |
| F2 F3 | TELEMECANIQUE | DF2BA0600 | 2 | FUSE CARTRIDGE NFC 8.5x31.5mm CYLINDRICAL - αM 6A - WITHOUT INDICATION αM / 400V / 6AMPS FUSE CURVE=αM |
| KM1 | SIEMENS | 3RA1120-4AA25-0 AP6 | 1 | IEC COMBINATION STARTER - SIRIUS 3RA11 NON-REVERSING 11-16 AMPS, 220/240VAC 3-POLE, FRAME 102, 220/240 AC, 50/60HZ COIL WITHOUT AUXILIARY CONTACTS |
| PLC4 | WAGO | 750-1504 | 1 | |
| PLC2 | WAGO | 750-559 | 1 | |
| PLC1 | WAGO | 750-496 | 1 | |
| PLC3 | WAGO | 750-1400 | 1 | |
| X0 X1 XS0 | SIEMENS | 8WA1 011-1DF11 | 39 | 8WA1 SINGLE TERMINAL - SIZE 2.5 FEED-THROUGH 20AMPS BEIGE, 600V, 22-12AWG W/ SCREW CONNECTIONS ON BOTH SIDES, RAIL MOUNTED |
| T1 | SIEMENS | 4AV2106-2EB00- 0A | 1 | NON-STABILIZED POWER SUPPLY, TYPE 4AV, 1-PHASE - FILTERED FOR SUPPLY OF ELECTRONIC CONTROLS SAFETY/ISOLATING TRANSFORMER 0.024kW Upri(V):400(415); Usec(V, DC):24; Isec(A DC):1/1,2, (60/40 CEL); f(Hz): 50...60 |
| 5а 6а | Simens | QFM2160 | 2 | |
| 3а 4а | Simens | QAE2164 | 2 | |
| 3б 4б | Belimo | AVK24A | 2 | |
| 12а 13а | FDX | F4SP1/M3 | 2 | |
| 10A 11а 7а 8а 9а | Danfoss | KP17W | 5 | |

Додаток А Табл. А.1 - Попередній перелік обладнання

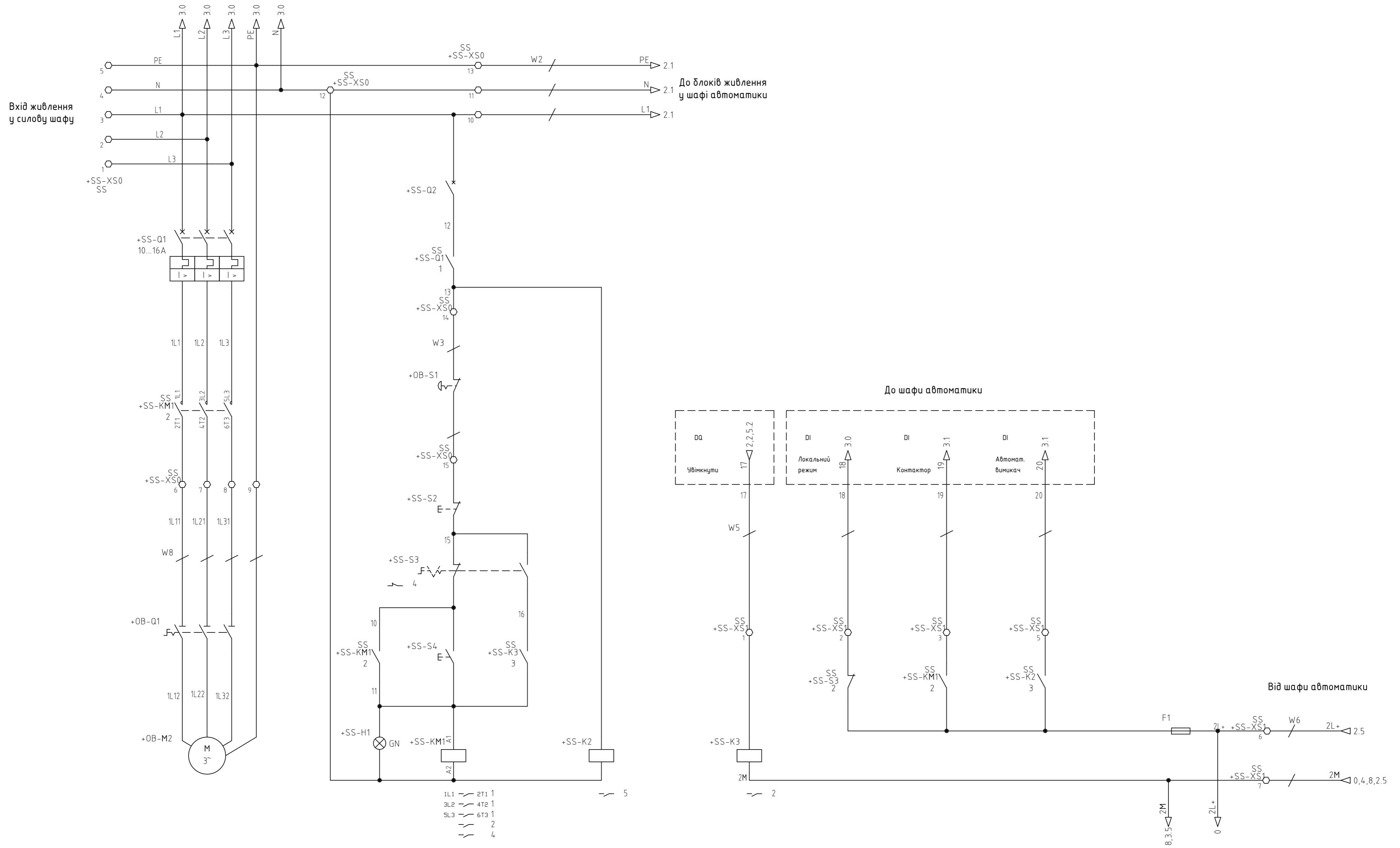
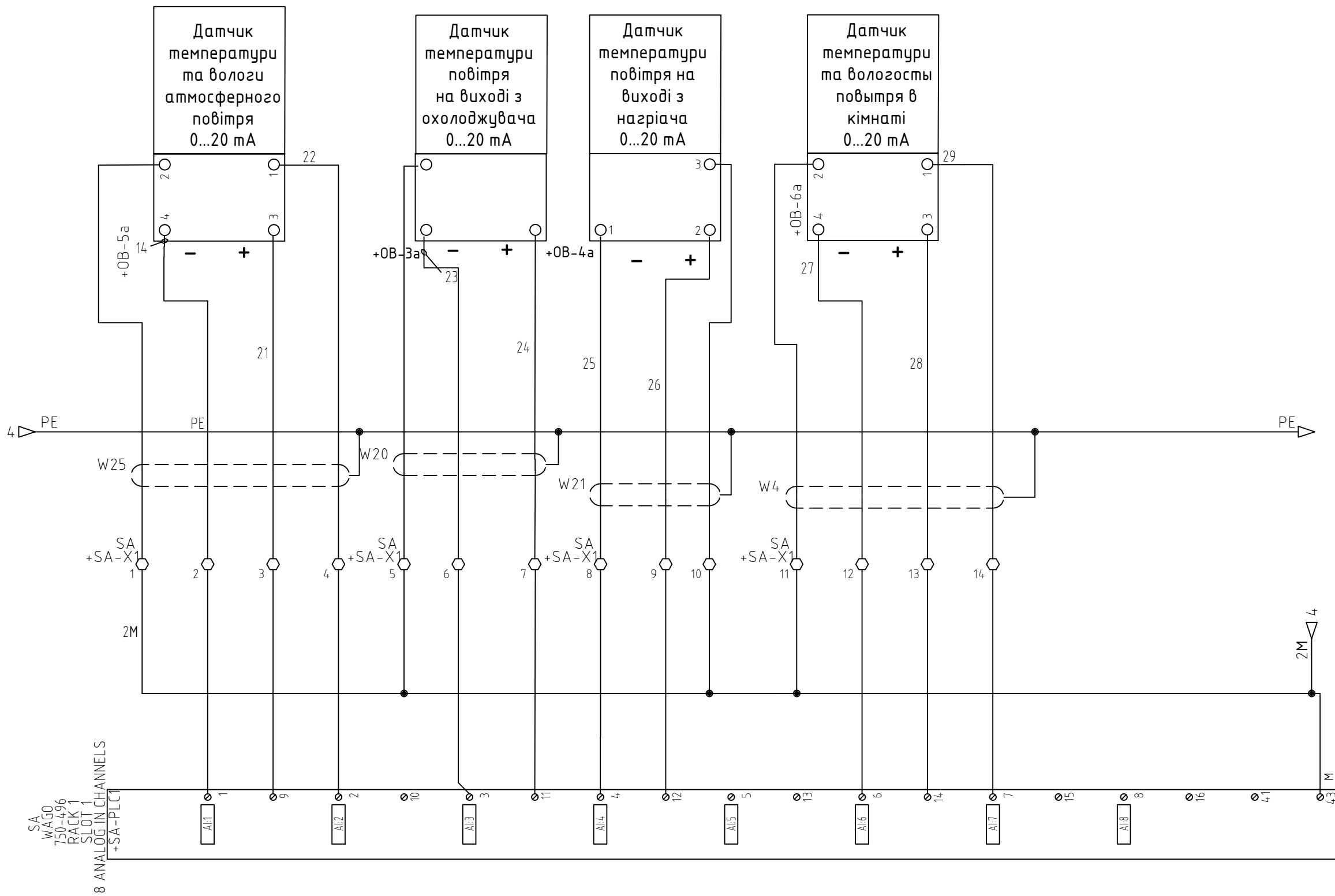


Рис. В2 - ПЕС електроприводу



Додаток Б Рис. Б1 – ПЕС вводу аналогових сигналів

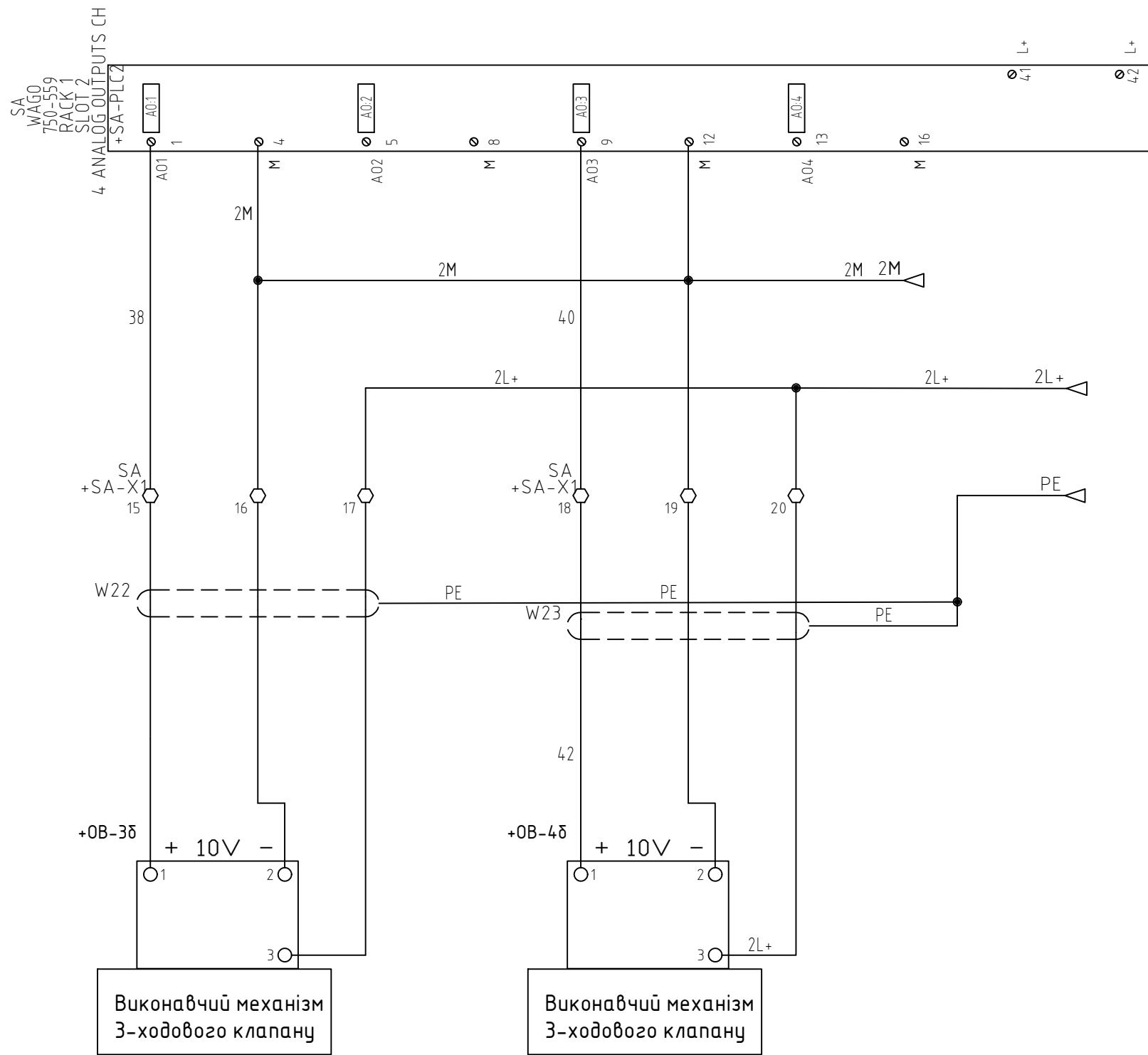


Рис. Б2 ПЕС - виводу аналогових сигналів

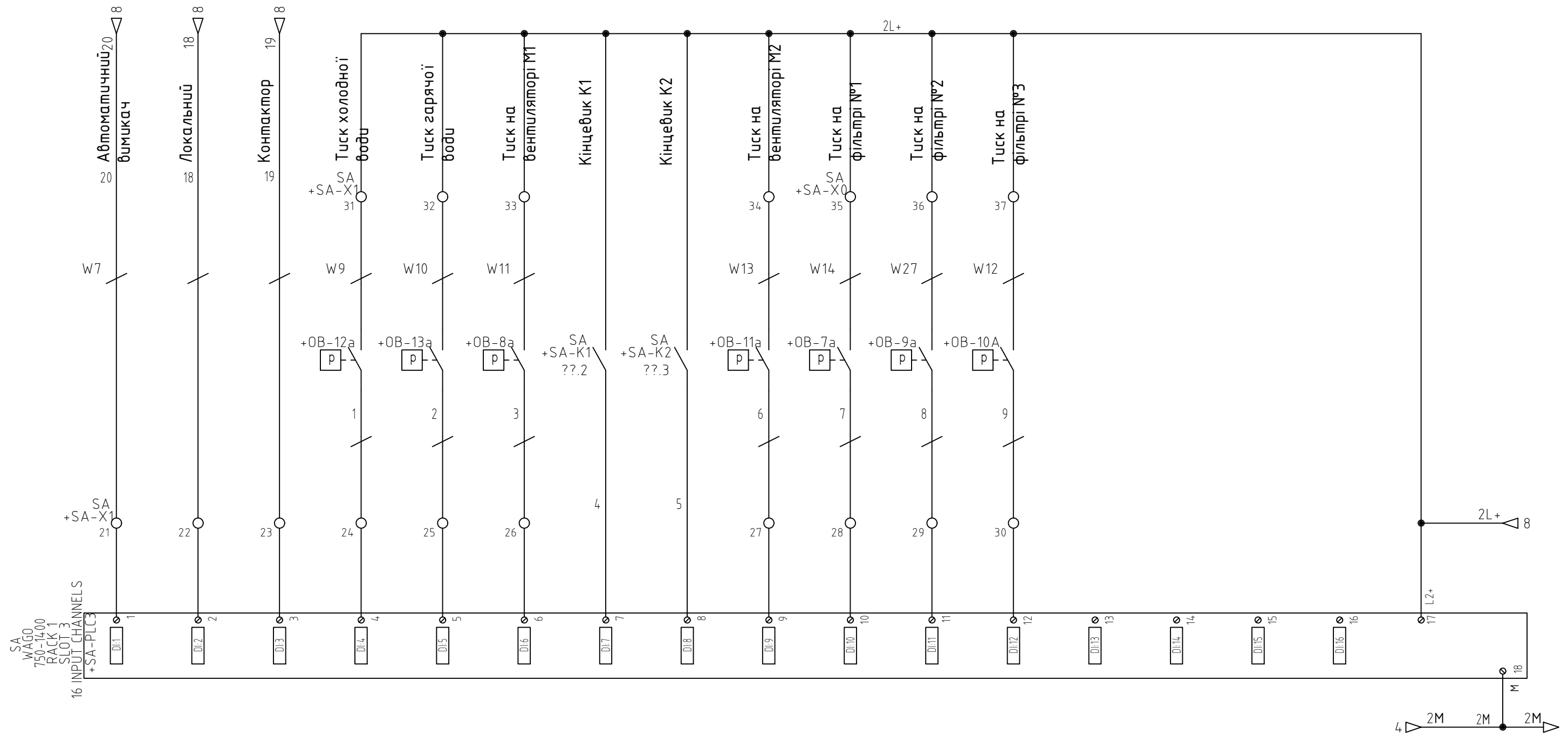


Рис. Б3 - ПЕС вводу дискретних сигналів

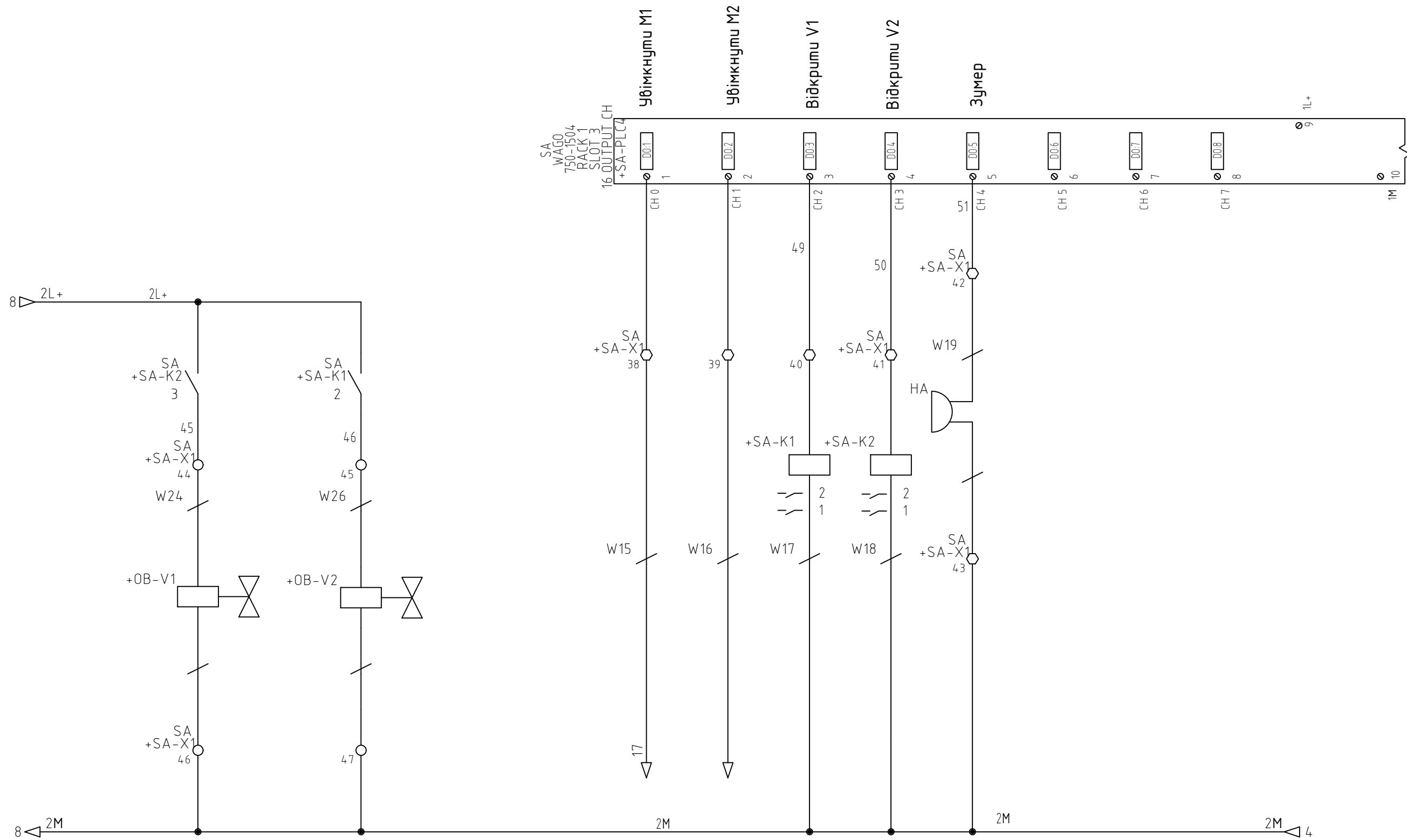


Рис. Б4 ПЕС – виводу дискретних сигналів

| НОМЕР ПРОВОДУ | Звідки | Куди | Провід | Примітка |
|---------------|---------|---------|------------------------|----------|
| | PLC4:1 | X1:38 | RED_1.0mm ² | |
| | PLC4:2 | X1:39 | RED_1.0mm ² | |
| 1 | X1:24 | PLC3:4 | RED_2.5mm ² | |
| 2 | X1:25 | PLC3:5 | RED_2.5mm ² | |
| 2L+ | X1:31 | X1:32 | RED_1.0mm ² | |
| 2L+ | X1:32 | X1:33 | RED_1.0mm ² | |
| 2L+ | X1:33 | K1 | RED_1.0mm ² | |
| 2L+ | K1 | K2 | RED_1.0mm ² | |
| 2L+ | K2 | X1:34 | RED_1.0mm ² | |
| 2L+ | X1:34 | X0:35 | RED_1.0mm ² | |
| 2L+ | X0:35 | X0:36 | RED_1.0mm ² | |
| 2L+ | X0:36 | X0:37 | RED_1.0mm ² | |
| 2L+ | X0:37 | PLC3:17 | RED_1.0mm ² | |
| 2L+ | PLC3:17 | K2 | RED_1.0mm ² | |
| 2L+ | K2 | K1 | RED_1.0mm ² | |
| 2L+ | X1:17 | X1:20 | RED_1.0mm ² | |
| 2M | G1:M | G2:M | RED_1.0mm ² | |
| 2M | G2:M | X1:46 | RED_1.0mm ² | |
| 2M | X1:46 | X1:47 | RED_1.0mm ² | |
| 2M | X1:47 | K1 | RED_1.0mm ² | |
| 2M | K1 | K2 | RED_1.0mm ² | |
| 2M | K2 | X1:43 | RED_1.0mm ² | |
| 2M | X1:43 | PLC3:18 | RED_1.0mm ² | |
| 2M | PLC3:18 | X1:1 | RED_1.0mm ² | |
| 2M | X1:1 | X1:5 | RED_1.0mm ² | |
| 2M | X1:5 | X0:10 | RED_1.0mm ² | |
| 2M | X0:10 | X1:11 | RED_1.0mm ² | |
| 2M | X1:11 | PLC1:43 | RED_1.0mm ² | |
| 2M | PLC1:43 | PLC2:4 | RED_1.0mm ² | |
| 2M | PLC2:4 | X1:16 | RED_1.0mm ² | |
| 2M | X1:16 | PLC2:12 | RED_1.0mm ² | |
| 2M | PLC2:12 | X1:19 | RED_1.0mm ² | |
| 3 | X1:26 | PLC3:6 | RED_2.5mm ² | |
| 4 | K1 | PLC3:7 | RED_2.5mm ² | |
| 4L1 | Q2 | REC1 | RED_1.0mm ² | |
| 4N | Q2 | REC1 | RED_1.0mm ² | |
| 5 | K2 | PLC3:8 | RED_2.5mm ² | |
| 6 | X1:27 | PLC3:9 | RED_2.5mm ² | |
| 7 | X1:28 | PLC3:10 | RED_2.5mm ² | |
| 8 | X1:29 | PLC3:11 | RED_2.5mm ² | |
| 9 | X1:30 | PLC3:12 | RED_2.5mm ² | |
| 14 | X0:2 | PLC1:1 | RED_2.5mm ² | |
| 18 | X1:22 | PLC3:2 | RED_2.5mm ² | |
| 19 | X1:23 | PLC3:3 | RED_2.5mm ² | |
| 20 | X1:21 | PLC3:1 | RED_2.5mm ² | |
| 21 | X0:3 | PLC1:9 | RED_2.5mm ² | |
| 22 | X0:4 | PLC1:2 | RED_1.0mm ² | |
| 23 | X0:6 | PLC1:3 | RED_2.5mm ² | |
| 24 | X0:7 | PLC1:11 | RED_2.5mm ² | |
| 25 | X1:8 | PLC1:4 | RED_2.5mm ² | |

| НОМЕР ПРОВОДУ | Звідки | Куди | Провід | Примітка |
|---------------|--------|---------|------------------------|----------|
| 26 | X0:9 | PLC1:12 | RED_2.5mm ² | |
| 27 | X0:12 | PLC1:6 | RED_2.5mm ² | |
| 28 | X0:13 | PLC1:14 | RED_2.5mm ² | |
| 29 | X0:14 | PLC1:7 | RED_2.5mm ² | |
| 34 | Q3 | G1:L | RED_1.0mm ² | |
| 36 | Q4 | G2:L | RED_1.0mm ² | |
| 38 | PLC2:1 | X1:15 | RED_1.0mm ² | |
| 42 | PLC2:9 | X1:18 | RED_1.0mm ² | |
| 45 | K2 | X1:44 | RED_1.0mm ² | |
| 46 | K1 | X1:45 | RED_1.0mm ² | |
| 49 | PLC4:3 | X1:40 | RED_1.0mm ² | |
| 49 | X1:40 | K1 | RED_1.0mm ² | |
| 50 | PLC4:4 | X1:41 | RED_1.0mm ² | |
| 50 | X1:41 | K2 | RED_1.0mm ² | |
| 51 | PLC4:5 | X1:42 | RED_1.0mm ² | |
| L1 | Q1 | X0:1 | RED_1.0mm ² | |
| L1 | X0:1 | 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 | Q2 | X0:2 | RED_1.0mm ² | |
| N | X0:2 | 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 | X0:3 | REC1 | RED_1.0mm ² | |
| PE | REC1 | G1:PE | RED_1.0mm ² | |
| PE | G1:PE | G2:PE | RED_1.0mm ² | |

Табл. Г1.2 Таблиця підключень внутрішніх з'єднань