

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики

Кафедра автоматизації енергетичних процесів

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Володимир ВОЛОЩУК

« ____ » _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «АСУ мікрокліматом складського приміщення

з адсорбційним осушувачем»

Виконав:

студент IV курсу, групи ТА-12

Гончарук Андрій Сергійович

Керівник:

Асистент

Гікало Павло Валерійович

Консультант з охорони праці:

Доцент, к.т.н.

Каштанов Сергій Федорович

Рецензент:

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2025 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики

Кафедра автоматизації енергетичних процесів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Володимир ВОЛОЩУК

«__» _____ 20__р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Гончарук Андрій Сергійович

1. Тема проєкту «АСУ мікрокліматом складського приміщення з адсорбційним осушувачем», керівник проєкту асистент, Гікало Павло Валерійович, затверджені наказом по університету від 02 червня 2025 року № 1875-с
2. Термін подання студентом проєкту «10» червня 2025р.
3. Вихідні дані до проєкту :
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ, Проектування АСУТП, Інженерний розрахунок САР, Опис графічної частини проєкту, Програмування ПТКЗА, Імітаційне моделювання АТК, Охорона праці, Техніко-економічний розрахунок, Висновки, Список використаних джерел.
5. Перелік графічного матеріалу: Схема автоматизації функціональна, Схема принципова електрична, Креслення загального виду щита, Монтажна схема щита та Схема зовнішніх з'єднань та підключень.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каштанов С.Ф., доцент, к.т.н.		

7. Дата видачі завдання «15» квітня 2025р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Вступ	11.04.2024	
2	Проектування АСУТП	23.04.2024	
3	Інженерний розрахунок САР	26.04.2024	
5	Опис графічної частини проєкту	01. 05.2024	
6	Програмування ПТКЗА	16. 05.2024	
7	Імітаційне моделювання АТК	17. 05.2024	
8	Охорона праці, Техніко-економічний розрахунок	21.05.2024	
9	Висновки	27.05.2024	
10	Список використаних джерел	30.05.2024	
11	Нормконтроль		
12	Попередній захист дипломного проєкту		
13	Захист		

Студент

Андрій ГОНЧАРУК

Керівник

Павло ГІКАЛО

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт присвячений розробці автоматизованої системи керування мікрокліматом складського приміщення з використанням адсорбційного осушувача повітря. Метою є забезпечення стабільних умов зберігання продукції шляхом підтримання заданих параметрів температури та вологості незалежно від зовнішніх кліматичних умов.

У роботі реалізовано структурну побудову системи, виконано математичне моделювання процесу в середовищі Matlab Simulink, розроблено алгоритми керування у EcoStruxure Machine Expert HVAC, а також інтерфейс візуалізації у SCADA-системі WebStudio. Проведено порівняльний аналіз регуляторів, за результатами якого перевагу надано експрес-методу Chien et al. (1952).

На основі зібраних даних виконано техніко-економічне обґрунтування проєкту, визначено загальну вартість впровадження та термін його окупності, який склав 2,3 роки, що підтверджує ефективність розробленої системи.

Ключові слова: автоматизація, мікроклімат, адсорбційний осушувач, моделювання, регулювання, економічна ефективність.

ANNOTATION

The diploma project is devoted to the development of an automated control system for the microclimate of a warehouse using an adsorption air dehumidifier. The main objective is to maintain stable storage conditions by controlling air temperature and humidity, regardless of external climate variations.

The system structure was designed and mathematically modeled in Matlab Simulink, control algorithms were implemented using EcoStruxure Machine Expert HVAC, and the visualization interface was developed in the WebStudio SCADA environment. A comparative analysis of control methods was conducted, with preference given to the express method by Chien et al. (1952).

Based on collected data, a techno-economic evaluation was performed. The total implementation cost and payback period were calculated. The resulting payback time is 2.3 years, confirming the cost-effectiveness of the proposed system.

Keywords: automation, microclimate, adsorption dehumidifier, modeling, control, economic efficiency.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСР	— автоматична система регулювання
АСУ	— автоматизована система управління
АСУТП	— автоматизована система управління технологічним процесом
АТК	— автоматизований технологічний комплекс
АЦП	— аналого-цифровий перетворювач
ВК	— вимірювальні канали
ВМ	— виконавчий механізм
ОУ	— об'єкт управління
ПД	— пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор
ПЛК	— програмований логічний контролер
ПТЗ	— програмно-технічні засоби
ПТКЗА	— програмно-технічний комплекс засобів автоматизації
РАФХ	— розширена амплітудно-фазова характеристика
РВК	— регулювально-виконавчий канал
РО	— регулюючий орган
САР	— система автоматичного регулювання
СКМ	— система комп'ютерної математики
ТОУ	— технологічний об'єкт управління
ЧП	— частотний перетворювач

ЗМІСТ

Вступ	9
РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП	11
1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління.....	11
1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОВ	13
1.4 Функції АСУТП.....	17
1.5 Схема автоматизації функціональна	18
1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу.....	20
1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОВ	22
РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР	25
2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР	25
2.2 Інженерний розрахунок регулювально-виконавчих каналів САР.....	34
2.2.7 Ідентифікація об'єкта управління.....	38
2.2.10 Висновки щодо роботоздатності РВК САР	52
Розділ 3 опис графічної частини проекту	53
3.1 Схема функціональна автоматизації ТОВ	53
3.2 Схема структурна ПТК	53
3.3 Схема принципова електрична.....	53
3.4 Креслення загального виду щита.....	57
3.5 Схема зовнішніх з'єднань.....	58
3.6 Схема монтажна щита.....	59
3.7 Специфікація обладнання	61
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА	63
4.1 Програмування функціональності ПЛК.....	63

						ТА-12407.007.001.АТХ.П			
Зм.	Кільк.	Ар	№	Підпис	Дата	АСУ мікрокліматом складського приміщення з адсорбційним осушувачем	Стадія	Аркуш	Акрушів
Розроб.		Гончарук А.					ДП	1	94
Перевір.		Гікало П.В					НТУУ “КПІ”, НН ІАТЕ, ТА-12		
Т. контр.									
Н. контр.		Гікало П.В.							
Затвердив		Волощук							

4.2 Програмування функціональності SCADA-системи	66
РОЗДІЛ 5 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК.....	69
5.1 Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ	69
5.2 Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink.....	70
5.3 Реалізація контролерної функціональності САР в софтвері CoDeSys.....	71
5.4 Реалізація супервізорної hmi-standard функціональності в HMI/SCADA системі webstudio.....	72
5.5 Реалізація супервізорної MES-Lite функціональності в HMI/SCADA-системі WebStudio	72
5.6 Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі.....	74
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ	76
6.1. Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації і технологічного устаткування	76
6.2. Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії.	79
6.3. Пожежна безпека та профілактика.....	84
Розділ 7 техніко-економічний розрахунок	88
Висновки	92
Список використаних джерел	93

ВСТУП

Сучасні складські приміщення потребують високої надійності, стабільності умов зберігання та відповідності санітарним, протипожежним і технологічним вимогам. Одним з ключових параметрів, що безпосередньо впливають на збереження якості матеріалів, обладнання або продукції, є стан мікроклімату – температура, вологість та якість повітря. Особливо це актуально для приміщень, де зберігаються гігроскопічні матеріали, електроніка, медичні засоби або продукти харчування. Надлишкова вологість повітря може призвести до псування продукції, появи цвілі, корозії металевих частин і деградації ізоляційних матеріалів.

У таких умовах ефективним рішенням є застосування адсорбційних осушувачів повітря, які здатні знижувати відносну вологість до значень нижче 30 %, незалежно від температури навколишнього середовища. Проте для забезпечення безперервного, ефективного й економічно обґрунтованого функціонування такого обладнання необхідна система автоматизованого керування. Вона дозволяє точно підтримувати задані параметри мікроклімату, мінімізувати енергоспоживання, своєчасно реагувати на зміну умов та забезпечити безаварійну роботу обладнання.

Актуальність дипломного проєктування зумовлена необхідністю впровадження автоматизації у сфері управління інженерними системами складських приміщень. Це дозволяє досягти стабільних умов зберігання, зменшити втрати продукції, підвищити енергоефективність та полегшити експлуатацію системи обслуговуючим персоналом.

Задачами автоматизації є:

- збільшення ефективності роботи вентиляційно-осушувальної системи за рахунок точного керування параметрами повітряного середовища (зокрема вологості);
- зменшення експлуатаційних витрат і втрат енергії за рахунок адаптивного регулювання процесів нагріву/регенерації;

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- забезпечення надійної безперервної роботи обладнання навіть за відсутності постійного втручання з боку персоналу;
- покращення умов моніторингу та керування системою через використання SCADA або HMI.

Метою дипломного проектування є розробка техно-робочого проекту автоматизованої системи управління мікрокліматом складського приміщення з адсорбційним осушувачем повітря[1].

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП

1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління

Об'єктом автоматизації є система підтримання заданого мікроклімату в складському приміщенні з використанням адсорбційного осушувача повітря для підтримання вологості та охолоджувача/калорифера для підтримання температури в приміщенні. Така система дозволяє ефективно видаляти надлишкову вологість повітря, яка негативно впливає на стан продукції, обладнання та загальний санітарний стан приміщення, а також підтримувати задану температуру повітря. Система призначена для стабілізації рівня відносної вологості повітря незалежно від зовнішніх кліматичних умов та режиму експлуатації складу, а також температури повітря в приміщенні.

Основу технологічного процесу становить процес адсорбційного осушення повітря, який базується на здатності адсорбенту (зазвичай силікагелю або цеоліту) поглинати водяну пару з потоку повітря. Після насичення адсорбент підлягає регенерації, яка здійснюється шляхом його нагрівання й продувки гарячим повітрям.

Також підтримується задана температура влітку та взимку за допомогою калорифера (взимку) та охолоджувача (влітку).

До основних функціональних елементів системи входять:

- фільтри та датчики перепаду тиску;
- вентилятори припливного та регенераційного контурів;
- електроприводи повітряних заслонок;
- роторний адсорбційний осушувач з мотор-редуктором;
- електричний калорифер;
- датчики температури, вологості та тиску;
- щит керування з контролером.
- Водяний калорифер для нагріву;
- Водяний калорифер для охолодження.

Вхідні потоки:

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- свіже зовнішнє повітря (процесний контур);
- регенераційне повітря (може бути частково рециркульованим).

Вихідні потоки:

- сухе припливне повітря до приміщення складу;
- вологе регенераційне повітря в атмосферу (зона викиду);

Проміжні потоки:

- потоки всередині осушувача (ротор розділяє обидва контури);
- внутрішній повітрообмін через поворотний барабан з адсорбентом.

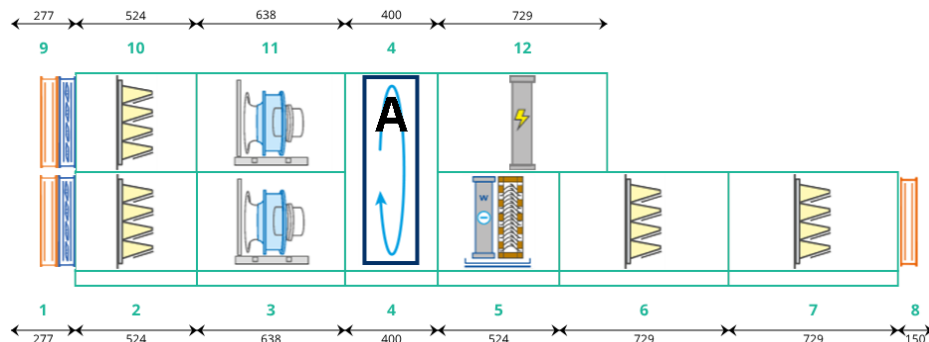


Рисунок 1.1 – Структурна схема осушувача

На рис. 1.1 зображено конструктивну схему агрегату адсорбційного типу для осушення повітря, який складається з двох паралельних повітряних контурів: процесного (осушення припливного повітря) та регенераційного (відновлення властивостей осушувача).

[1] Вхід зовнішнього повітря – забір атмосферного повітря для підготовки.

[2] Фільтри попереднього очищення – забезпечують базову очистку повітря від пилу та інших домішок.

[3] Вентилятор припливного повітря – створює необхідний тиск і об'єм повітря для переміщення по процесному тракту.

[4] Адсорбційний ротор – головний елемент установки, у якому волога із повітря поглинається осушувальним матеріалом (силікагелем або цеолітом).

[5] Камера зволоження – повертає необхідну вологість повітря за потреби (наприклад, у зимовий період).

[6, 7] Фільтри тонкого очищення – остаточна очистка перед подачею повітря в приміщення.

[8] Вихід обробленого повітря в складське приміщення – забезпечує подачу осушеного, чистого та (за потреби) підігрітого повітря.

[9] Вихід відпрацьованого регенераційного повітря – повітря, яке пройшло через зону регенерації ротора і насичене вологою, виводиться в атмосферу.

[10] Фільтр регенераційного повітря – попередня очистка повітря, що виводиться в атмосферу.

[11] Вентилятор регенераційного повітря – створює необхідний об'єм повітря для процесу регенерації осушувача.

[12] Нагрівач регенераційного повітря – нагріває повітря до температури, достатньої для ефективного випаровування вологи з ротора (температура зазвичай 80–120 °C).

1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОУ

Системи автоматизованого керування мікрокліматом у складських приміщеннях відіграють критично важливу роль у забезпеченні стабільних умов зберігання. Одним із найбільш енергоємних та динамічних компонентів таких систем є адсорбційний осушувач повітря, що вимагає точного керування температурними та вологісними параметрами. З огляду на це, у проєкті застосовано трирівневу структуру АСУТП, відповідно до стандарту ISA-95 (КПЕ за ІЕС 62264), з реалізацією чотирьох незалежних контурів регулювання .

Вибір САР

В основу системи покладено чотири одноконтурні системи автоматичного регулювання (САР)[2]:

1. САР температури після електрокалорифера.

Регулювання температури нагрівального елемента виконується за одноконтурною схемою із застосуванням ПІ-регулятора. Вхідним

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

параметром є температура повітря за електрокалорифером. Залежно від відхилення від уставки, контролер формує керуючий сигнал у вигляді широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) у межах 0-100 %, що дозволяє точно регулювати теплову потужність і запобігати перегріву.

2. САР вологості в приміщенні.

Коли поточне значення вологості перевищує допустиму уставку, контролер автоматично активує режим осушення. У цьому режимі здійснюється регулювання частоти обертання сорбційного ротора за допомогою частотного перетворювача. Збільшення частоти обертання сприяє інтенсифікації процесу регенерації сорбенту та підвищенню ефективності осушення повітряного потоку.

3. САР температури повітря в приміщенні в зимовий період.

4. САР температури повітря в приміщенні в літній період.

Контролер також здійснює подачу сигналу на електрокалорифер, який нагріває повітря для регенерації до температури близько 100 °С. Нагріте повітря проходить через ротор, активуючи сорбент, що дозволяє ефективно знижувати вологість основного потоку повітря.

Після того як вологість повітря в приміщенні знижується до рівня нижче мінімального порогу, система переходить у завершальну фазу. Частотний перетворювач зменшує оберти ротора до мінімального рівня, електрокалорифер вимикається, але вентилятор регенерації ще деякий час продовжує працювати для охолодження нагрівального елемента і самого ротора. Після завершення продувки вимикаються усі виконавчі механізми..

Рівень L0 – польовий рівень

Включає датчики температури, вологості, ШІМ-реле, виконавчі механізми (вентилятори, калорифер, привід ротора)[3].

КПЕ:

- точність вимірювання RH: $\pm 2\%$,
- точність підтримання температури: $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$,

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- час реакції виконавчих механізмів: ≤ 3 с.

Рівень L1 – керуючий рівень

Основний ПЛК (наприклад, Schneider TM172[4]) реалізує:

- логіку перемикавання режимів осушення;
- ПП-регулювання температури з ШІМ-виходом;
- умови захисту (перегрів, перевищення вологості, аварія вентилятора);
- ручний/автоматичний режим роботи.

КПЕ:

- середній час стабілізації температури після включення калорифера – до 300 с;
- зменшення тривалості циклу регенерації – до 30 %;
- мінімізація кількості включень/вимкнень нагрівача – до 5/год.

Рівень L2 – SCADA (супервізорний)

SCADA-система забезпечує:

- реєстрацію температури, вологості, кількості запусків обладнання;
- журналювання аварій;
- віддалену зміну уставок;
- візуалізацію КРЕ-індикаторів.

КПЕ:

- кількість аварійних зупинок $< 1/\text{міс.}$;
- точність архівних даних 100 %;
- швидкість реагування оператора – до 30 сек.

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Режимні параметри

Режимні параметри використовуються для реалізації керуючих функцій у чотирьох одноконтурних САР[5]:

Таблиця 1.2 – перелік режимних параметрів

№	Назва параметра	Діапазон вимірювання
1	Температура повітря після калорифера	0...120 °C
2	Вологість повітря у витяжному каналі	0...100 % RH
3	Температура повітря в приміщенні	15...32 °C

Захисні параметри

Ці параметри контролюються для попередження аварійних ситуацій і забезпечення безпечної роботи установки:

Таблиця 1.3 – перелік захисних параметрів

№	Назва параметра
1	Перевищення перепаду тиску на фільтрах
2	Відмова вентилятора регенерації
3	Аварійне зростання температури

Контрольні параметри

Ці параметри не використовуються у функціях регулювання чи захисту, але дозволяють оператору оцінювати ефективність роботи системи:

Таблиця 1.4 – перелік контрольних параметрів

№	Назва параметра
1	Температура зовнішнього повітря
2	Температура після ротора
3	Перепад тиску на роторі
4	Вологість повітря в припливному каналі

1.4 Функції АСУТП

Управляючі функції:

- Стабілізація температури повітря після електричного калорифера шляхом регулювання його потужності (ШІМ-регулювання);
- Стабілізація вологості повітря в приміщенні шляхом зміни частоти обертання ротора;
- Стабілізація температури повітря в приміщенні шляхом зміни положення РО на водяному калорифері;
- Стабілізація температури повітря в приміщенні шляхом зміни положення РО на водяному охолоджувачі.

Захисні функції:

- Вимкнення електрокалорифера у разі перевищення температури на його виході;
- Блокування осушення у разі втрати сигналу з вентилятора регенерації або ротора (контроль працездатності виконавчих органів);
- Формування сигналу обслуговування при перевищенні допустимого перепаду тиску на фільтрувальних елементах;
- Вимкнення осушення при спрацюванні температурного захисту ротора;
- Забезпечення продувки електрокалорифера після його вимкнення (запобігання локальному перегріву).

Інформаційні функції:

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Контроль температури зовнішнього повітря;
- Моніторинг температури регенераційного повітря до і після нагріву для оцінки ефективності режиму сушіння;
- Контроль перепадів тиску на фільтрах – для побудови графіків обслуговування;

1.5 Схема автоматизації функціональна

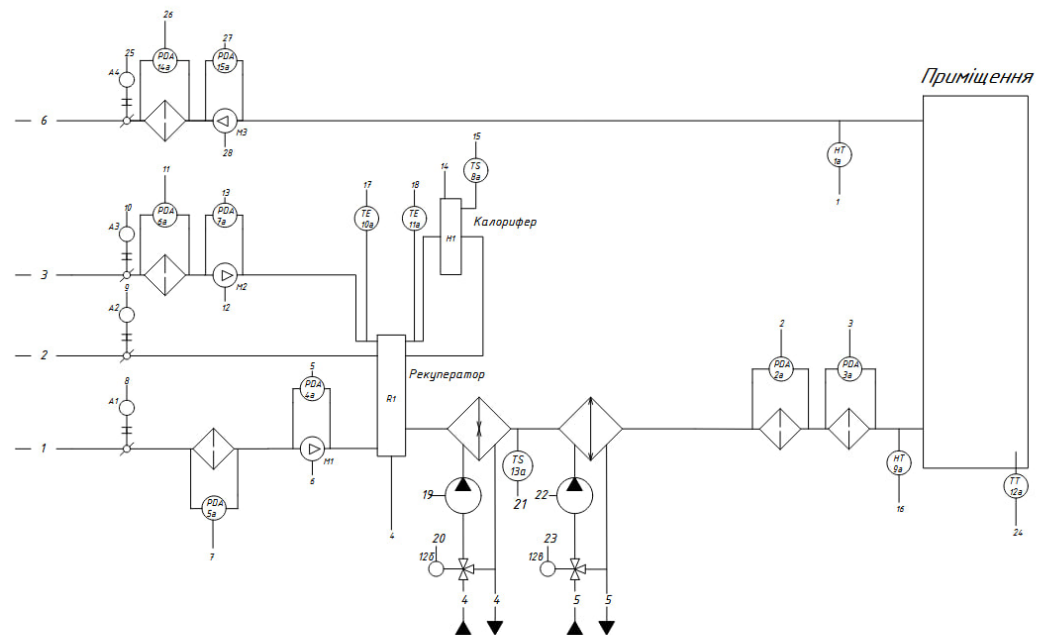


Рисунок 1.2 – Схема автоматизації АСУ мікрокліматом

На функціональній схемі автоматизації зображено повний склад технологічного об'єкта – системи керування мікрокліматом складського приміщення з адсорбційним осушувачем.

На схемі зображено три повітряних контури: припливний канал (нижній) та регенераційний канал (верхній), які об'єднані роторним сорбційним осушувачем та витяжний контур.

Вимірювальна апаратура та точки вимірювання:

- Датчики перепаду тиску (PDA) встановлено на кожному фільтрувальному елементі у припливному, регенераційному та витяжному каналах та вентиляторах;
- Датчики температури (TE) встановлено до і після ротора, після електрокалорифера – для реалізації алгоритмів регулювання та захисту;
- Датчик температури (TT) встановлено в приміщенні для реалізації контуру регулювання;
- Датчики вологості (HT) розташовані в повітроводі після фільтрів і в витяжному каналі – для формування команд керування процесом осушення;
- Усі датчики підключено до дискретних та аналогових входів контролера.

Виконавча апаратура:

- Вентилятори припливного, регенераційного та витяжного каналу (M1, M2, M3) вмикаються через аналовий сигнал з контролера (0-10V);
- Електричний калорифер (H1) керується широтно-імпульсною модуляцією (0...100 %) через аналоговий вихід (АО);
- Електроприводи повітряних заслонок відкриваються/закриваються відповідно до активних режимів;
- Роторний осушувач (R1) обладнаний мотором постійного обертання, який працює при активному режимі осушення.
- Клапани на калорифері та охолоджувачі керуються сигналом 0...10V відповідно до виходу ПІД-регулятора.
- Циркуляційні насоси (M4,M5) на тепло- та холодоносії вмикаються під час роботи відповідних контурів.

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шини та інтерфейси:

- Вся вимірювальна і виконавча апаратура підключена до контролера та модуля розширення, встановленого у щиті автоматичного керування;
- Контролер обмінюється даними з SCADA-системою (Aveva InTouch або ESM) по протоколу Modbus TCP;
- На SCADA виводяться всі основні параметри: температури, вологість, стани виконавчих механізмів, аварії та режими роботи;
- В SCADA реалізовано режими «автомат/ручний», установка уставок, перегляд журналів подій і графіків.

1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу

Структура програмно-технічного комплексу (ПТК) автоматизованої системи керування мікрокліматом складського приміщення з адсорбційним осушувачем є трирівневою та відображає логіку ієрархії прийняття рішень у системі АСУТП.

АСУТП включає такі рівні:

1. Рівень L0 – польовий (ВмА, ВкА)

До цього рівня належать усі первинні вимірювальні пристрої та виконавчі механізми. Зокрема:

- датчики температури, вологості, перепаду тиску;
- електроприводи заслонок;
- вентилятори припливного та регенераційного каналів;
- електрокалорифер;
- ротор осушувача з мотор-редуктором;
- циркуляційні насоси;
- електроприводи клапанів.

2. Рівень L1 – контролерний рівень (ПЛК)

На цьому рівні реалізується логіка керування, регулювання та захисту. Програмований логічний контролер приймає сигнали з рівня

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

L0, обробляє їх згідно з заданими алгоритмами (САР температури та вологості), та формує сигнали керування виконавчими механізмами. Контролер виконує:

- стабілізацію температури після електрокалорифера (П-регулювання), вологості в приміщенні, температури в приміщенні;
- логіку вмикання/вимкнення режиму осушення, контуру регулювання температури;
- захист обладнання та аварійну сигналізацію;
- обробку сигналів ручного/автоматичного керування;
- формування сигналів на SCADA.

3. Рівень L2 – супервізорний (SCADA-система)

На супервізорному рівні реалізується моніторинг, візуалізація, архівація даних та операторське керування. В системі використовується SCADA-платформа, що функціонує як клієнт до ПЛК через інтерфейс Modbus TCP. Основні функції:

- відображення температур, вологості, стану виконавчих пристроїв;
- архівація уставок, аварій, історії запусків;
- налаштування уставок;
- формування аварійних повідомлень і журналів подій;

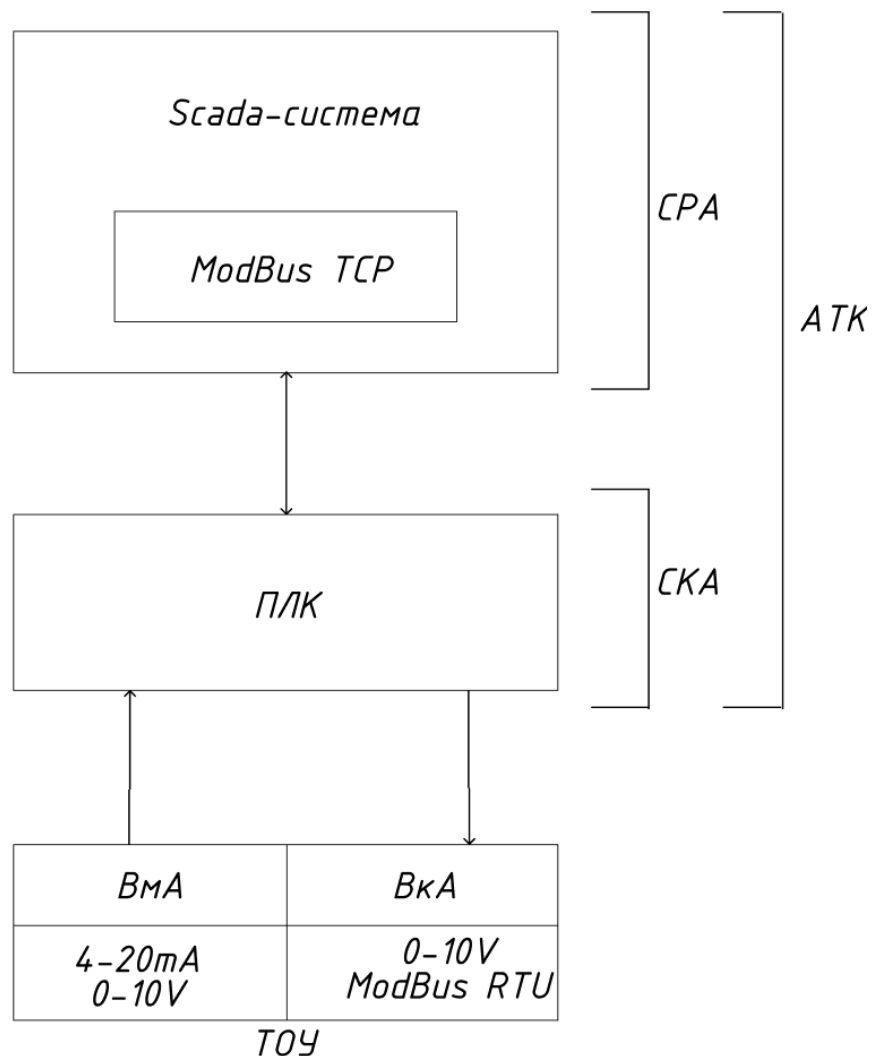


Рисунок 1.3 – Схема структурна ПТК АСУ мікрокліматом

1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОУ

Автоматизація системи керування мікрокліматом складського приміщення з адсорбційним осушувачем забезпечує низку техніко-економічних переваг, які досягаються за рахунок впровадження сучасних принципів керування, зниження енергоспоживання, підвищення надійності обладнання та зменшення витрат на обслуговування. Джерела ефективності поділяються за функціональним принципом

Управляючі функції:

1. Стабілізація температури припливного повітря після калорифера:

- Зменшення теплових втрат за рахунок точного регулювання потужності нагрівача;
- Підвищення енергоефективності шляхом застосування широтно-імпульсної модуляції;
- Зниження витрат на електроенергію.

2. Керування режимом осушення:

- Оптимальне керування ротором та нагрівачем регенерації дозволяє зменшити споживання електроенергії;
- Уникається надмірна робота системи за рахунок двопорогового алгоритму (ввімкнення/вимкнення за межами вологості);
- Зменшення спрацювання обладнання – подовження терміну служби.

3. Керування вентилятором регенерації:

- Скорочення витрат електроенергії шляхом роботи тільки в активному режимі;
- Зниження шуму і зносу елементів системи вентиляції.

Захисні функції:

1. Вимкнення калорифера при перегріві:

- Запобігання аваріям та виходу з ладу нагрівального елемента;
- Зниження витрат на ремонт і заміну обладнання.

2. Контроль фільтрів по перепаду тиску:

- Зменшення витрат повітря і навантаження на вентилятори;
- Забезпечення своєчасного обслуговування фільтруючих елементів;
- Зменшення витрат на електроенергію завдяки зниженню опору повітря.

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Продувка калорифера після вимкнення:

- Запобігання локальному перегріву;
- Підвищення пожежної безпеки.

Інформаційні функції:

- Постійний контроль вологості та температури дозволяє підтримувати оптимальні умови зберігання товарів – зменшуються втрати та псування;

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР

2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР

2.1.1 Перелік вимірювальних каналів (ВК)

- Вимірювальний канал температури повітря після калорифера;
- Вимірювальний канал вологості повітря у витяжному каналі ;
- Вимірювальний канал температури зовнішнього повітря;
- Вимірювальний канал температури повітря після ротора;
- Вимірювальний канал вологості повітря у припливному каналі.
- Вимірювальний канал температури повітря в приміщенні.

2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів

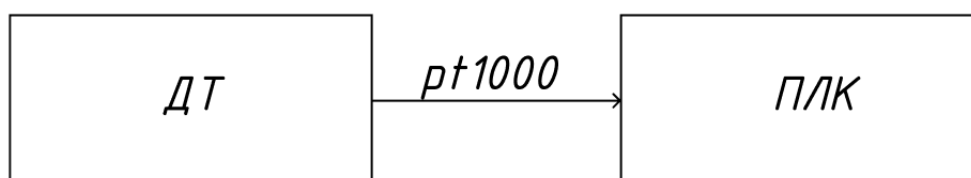


Рисунок 2.1 – Схема структурна ВК температури

ДТ – датчик температури LFT з вихідним сигналом типу Pt1000.

ПЛК – програмований логічний контролер Schneider Electric TM172PDG28.

Одиниці вимірювання: градуси Цельсія (°C).

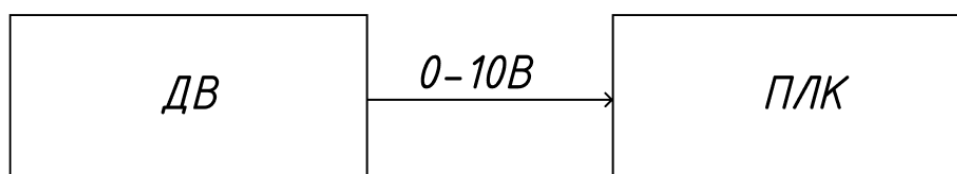


Рисунок 2.2 – Схема структурна ВК вологості

ДТ – датчик вологості raut-automatic sth-03 з вихідним сигналом типу 0-10В

ПЛК – програмований логічний контролер Schneider Electric TM172PDG28[3].

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одиниці вимірювання: відносні одиниці вологості (%).

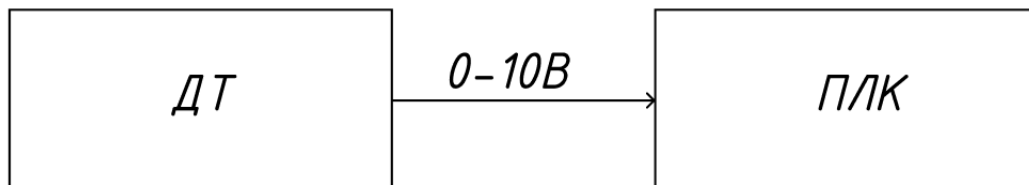


Рисунок 2.3 – Схема структурна ВК температури зовнішнього повітря

ДТ – датчик температури raut-automatic sth-03 з вихідним сигналом типу 0-10В.

ПЛК – програмований логічний контролер Schneider Electric TM172PDG28.

Одиниці вимірювання: градуси Цельсія (°C).

2.1.3 Особливості електричних підключень давачів вимірювальних каналів

Датчики з чутливим елементом pt1000 мають двопровідну схему підключення без компенсації опору.

Датчики з вихідним сигналом 0-10В мають двопровідну схему підключення.

Підключення:

Контакт «+» контролера з'єднується з контактом «+» датчика;

Контакт «-» датчика з'єднується з «-» аналогового входу контролера.

2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів

Щоб забезпечити точність вимірювання параметрів мікроклімату, у системі були застосовані відповідні методи монтажу датчиків:

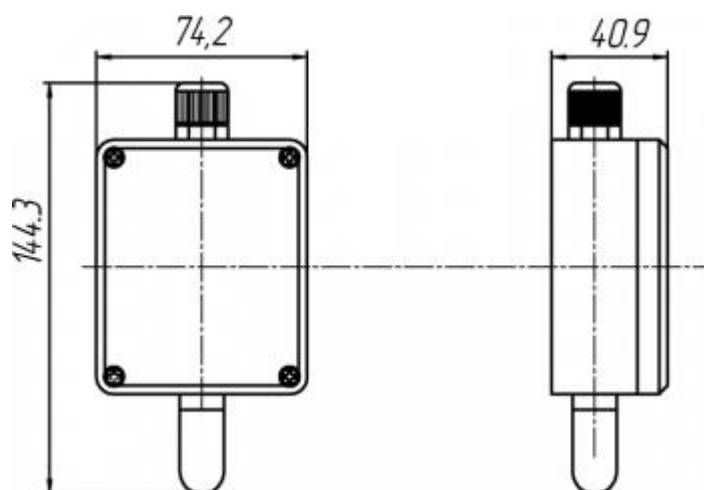


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд датчика STH-03



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд датчика LFT

Підключення до ПЛК

З метою зменшення впливу електромагнітних завад та підвищення надійності, усі датчики температури та вологості підключаються безпосередньо до аналогових входів програмованого логічного контролера Schneider Electric TM172PDG28.

Встановлення датчика температури Pt1000 (LFT)

Датчик температури типу Pt1000 встановлюється у захисну гільзу з нержавіючої сталі, яка монтується у відповідне місце вимірювання. Для покращення теплового контакту з середовищем використовується термопровідна паста. Кріплення виконується у технічні отвори з ущільненням або за допомогою монтажних тримачів.

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Встановлення датчика вологості gaut-automatic STH-03

Датчик вологості з аналоговим виходом 0–10 В встановлюється в точці, що відповідає умовам вимірювання відносної вологості. Монтаж здійснюється у вентиляційній шахті або на стіні за допомогою спеціального кронштейна. Важливо забезпечити відсутність конденсату в місці встановлення.

Встановлення датчика температури повітря STH-03 (0–10 В)

Датчик температури зовнішнього повітря та температури в приміщенні монтується на північній стіні будівлі або під навісом, що захищає від прямих сонячних променів, а в приміщенні аналогічно. Для цього використовуються герметичні корпуси з вентиляційними отворами. Забезпечується вільна циркуляція повітря навколо датчика для уникнення теплових викривлень.

Калібрування та масштабування

Аналогові сигнали 0–10 В масштабуються в контролері відповідно до діапазону вимірювань температури (°C) та відносної вологості (%), згідно з технічними характеристиками датчиків.

2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод

Для забезпечення правильного та безпечного підключення датчиків температури, вологості та виконавчих пристроїв у системі керування мікрокліматом складського приміщення з адсорбційним осушувачем повітря передбачено використання екранованих кабелів. Їх екран знижує рівень електромагнітних завад, що критично важливо для стабільної роботи системи регулювання вологості.

Кабелі прокладаються у металевих гофротрубах або екранованих каналах, що забезпечує додатковий захист від зовнішніх впливів.

З метою покращення якості обробки вимірювальних сигналів та зменшення впливу шумів у системі реалізовано аперіодичний фільтр

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

першого порядку, який фільтрує високочастотні завади та забезпечує стабільне функціонування регуляторів температури та вологості.

Застосування аналогової та цифрової фільтрації дає змогу покращити точність контролю в реальному часі, що особливо важливо для системи керування адсорбційним осушувачем, де навіть незначні похибки можуть вплинути на досягнення заданих параметрів мікроклімату.

2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів

Зобразимо структурні схеми надійності для ВК САР температури та ВК САР вологості:



Рисунок 2.6 – Схема структурна надійності ВК САР температури повітря після калорифера



Рисунок 2.7 – Схема структурна надійності ВК САР вологості повітря в приміщенні

2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів

В таблиці 2.1 наведено перелік компонентів ВК:

Таблиця 2.1 – Перелік компонентів ВК

№	Елемент	Клас точності	Діапазон вимірювання
1	Датчик температури повітря LFT	1	-50...200°C
2	Датчик вологості STH-03	1	0...100%
3	Програмований логічний контролер TM172PDG28	0.1	

Обрахуємо абсолютну похибку для ВК САР:

$$\Delta_i = \frac{\varepsilon_{\text{кл}}(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})}{100}, \text{ звідки}$$

Δ_i – абсолютна похибка і-го елементу, $\varepsilon_{\text{кл}}$ – клас точності давача, x_{max} , x_{min} , - мінімальне та максимальне значення діапазону вимірювання.

ВК САР температури після калорифера:

$$\Delta_1 = \frac{1(200 - (-50))}{100} = 2.5^\circ\text{C}, \text{ для давача температури};$$

$$\Delta_2 = \frac{0.1(200 - (-50))}{100} = 0.25^\circ\text{C}, \text{ для ПЛК}$$

ВК САР вологості повітря в приміщенні:

$$\Delta_1 = \frac{1(100 - 0)}{100} = 1.0\%, \text{ для давача вологості};$$

$$\Delta_2 = \frac{0.1(100 - 0)}{100} = 0.1\%, \text{ для ПЛК}$$

Обрахуємо абсолютну похибку для кожного ВК САР:

$$\Delta_{\text{ВК}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}$$

ВК САР температури після калорифера:

$$\Delta_{\text{ВК}} = \sqrt{2.5^2 + 0.25^2} = 2.51^\circ\text{C}$$

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВК САР вологості повітря в приміщенні:

$$\Delta_{\text{ВК}} = \sqrt{1^2 + 0.1^2} = 1\%$$

Обрахуємо відносну похибку для ВК САР:

ВК САР температури після калорифера:

$$\eta_{\text{ВК}} = \frac{\Delta_{\text{ВК}}}{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}} * 100\% = \frac{2.51}{250} * 100\% = 1.004\%$$

ВК САР вологості повітря в приміщення:

$$\eta_{\text{ВК}} = \frac{\Delta_{\text{ВК}}}{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}} * 100\% = \frac{1}{100} * 100\% = 1\%$$

У результаті виконаних розрахунків встановлено, що значення абсолютної та відносної похибки знаходяться в допустимих межах, що підтверджує можливість подальшого використання цих приладів у роботі.

2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів

Кожен компонент блок-схеми надійності описується такими характеристиками, як середній час напрацювання до відмови та інтенсивність відмов, що подано в таблиці 2.2.

Для систем автоматизованого керування технологічними процесами (АСУТП) ключовим показником надійності виступає коефіцієнт безвідмовної роботи, який повинен бути не нижчим за 0.97 для кожного функціонального модуля.

Таблиця 2.2 – Час напрацювання на відмову елементів ВК

№	Елемент	Т _{сер} , ГОД	$\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/год
1	Датчик температури повітря LFT	60000	16.1

Закінчення таблиці 2.2

2	Датчик вологості STH-03	80000	12.5
3	Програмований логічний контролер TM172PDG28	100 000	10
4	ПК зі SCADA-системою	500 000	2

БК САР температури після калорифера:

$$\lambda=(16.1+10.0+2)\cdot 10^{-6}=28.1\cdot 10^{-6} \text{ 1/Год}$$

БК САР вологості повітря в приміщенні:

$$\lambda=(12.5+10.0+2)\cdot 10^{-6}=24.5\cdot 10^{-6} \text{ 1/Год}$$

Ймовірність безвідмовної роботи за місяць:

БК САР температури після калорифера:

$$P(\tau)=e^{-28.1\cdot 10^{-6}\cdot 720}=0.97998$$

БК САР вологості повітря в приміщенні:

$$P(\tau)=e^{-24.5\cdot 10^{-6}\cdot 720}=0.98251$$

Аналіз розрахункових даних підтверджує, що система керування характеризується високою надійністю. Отримані показники повністю відповідають встановленим вимогам, що свідчить про стабільну та ефективну роботу системи в заданих експлуатаційних умовах і гарантує її безперервне функціонування.

2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК

Серед ключових функцій ПЛК щодо обробки вимірювальної інформації можна виділити такі завдання:

- Контролер постійно відстежує зміну значень з датчиків. У разі різких стрибків або аномальної стабільності сигналу (наприклад, незмінне значення або нульовий рівень) ПЛК ініціює алгоритм виявлення

несправності, що дозволяє оперативно реагувати на відмови датчика або аварійні ситуації.

- У разі досягнення параметрами системи граничних значень, ПЛК активує аварійні алгоритми. Наприклад, при надмірному підвищенні температури після калорифера здійснюється зниження інтенсивності роботи калорифера або увімкнення вентилятора продувки, що забезпечує безпечну роботу калорифера.
- Контролер перевіряє, чи входять сигнали у допустимі межі. При виявленні нестабільних або аномальних даних можуть бути застосовані фільтрація, корекція або підстановка аварійних значень для забезпечення стабільності системи.
- Вхідні сигнали у форматі 0–10 В конвертуються у відповідні фізичні величини – температуру, вологість тощо. Це дозволяє точно відображати реальний стан системи та формувати обґрунтовані керуючі впливи.

2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР

Аналіз показників надійності вимірювальних каналів дозволяє дійти висновку, що використане в системі обладнання забезпечує стабільну та ефективну роботу. Розрахункові дані підтверджують високий рівень працездатності технічних засобів, що входять до складу автоматизованої системи керування. Обладнання має значний середній напрацювання на відмову та низьку ймовірність виходу з ладу впродовж усього терміну експлуатації.

Крім того, застосовані прилади характеризуються високою точністю вимірювання, що забезпечує отримання достовірних значень технологічних параметрів у реальному часі. Виявлені похибки залишаються в межах допустимих норм, що свідчить про відповідність

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обладнання вимогам точності та надійності, особливо для критичних компонентів системи.

2.2 Інженерний розрахунок регулювально-виконавчих каналів САР

2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання

Враховуючи специфіку роботи осушувача, його призначення можна виділити дві потреби в регульованих величинах: вологість повітря, як основна величина та температура після калорифера, як засіб для забезпечення ротора необхідним регенераційним повітрям.

Тому ці величини регулюються наступним способом: температура повітря після калорифера шляхом зміни потужності нагріву самого калорифера за допомогою ШІМ-сигналу; вологість же за допомогою зміни частоти обертання ротора за допомогою частотного перетворювача на двигуні.

Отже, маємо наступні САР для режимних параметрів[2]:

- Одноконтурна САР температури повітря після виходу з калорифера;
- Одноконтурна САР вологості повітря в приміщенні.

2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР

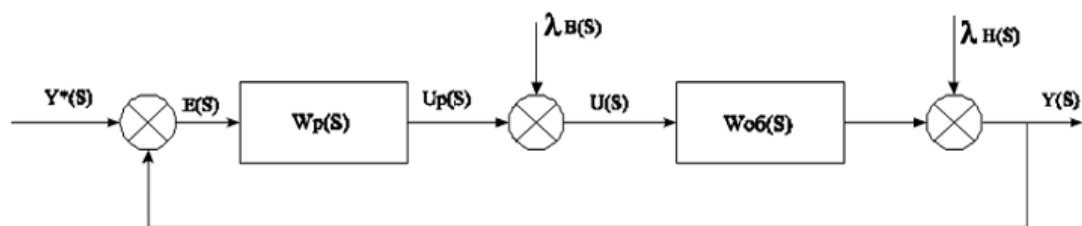


Рисунок 2.8 – Схема структурна САР температури повітря після виходу з калорифера

На рис. 2.8 наведено типову структурну схему одноконтурної САР, де:

$Y^*(S)$ – SetPoint (уставка);

$E(S)$ – ErrorValue(сигнал розбалансу);
 $Wp(S)$ – Перехідна характеристика регулятора (Модель);
 $Up(S)$ – Сигнал управління, що виходить з регулятора;
 $U(s)$ – Сигнал керування з підмішаним до нього шкідливим сигналом від збурення з боку ВМ;
 $\lambda_B(S)$ – збурення з боку виконавчого механізму;
 $\lambda_H(S)$ – збурення з боку навколишнього середовища.
 $Wоб(S)$ – передавальна функція ОУ;
 $Y(S)$ – виміряне значення режимного параметра, поступає на регулятор як ProcessValue;

Функціональну схему ВК САР температури повітря після калорифера зображено на рис 2.9.

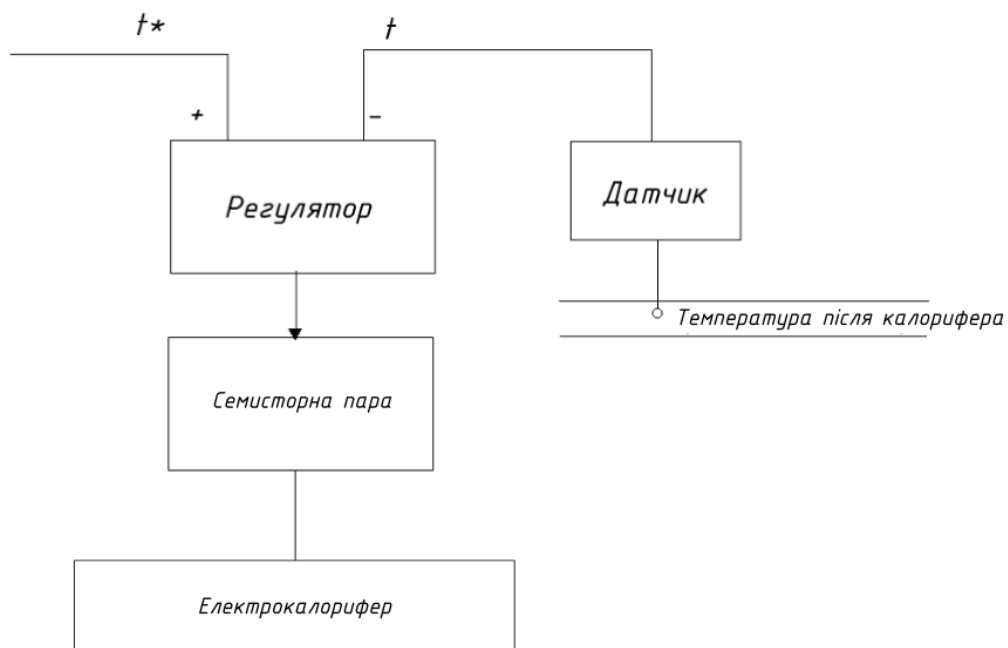


Рисунок 2.9 – Схема функціональна САР температури після калорифера

2.2.3 Схема структурна регулювально-виконавчого каналу САР

На рисунку 2.10 зображено схему структурну регулювально-виконавчого каналу САР температури повітря після електрокалорифера.

е

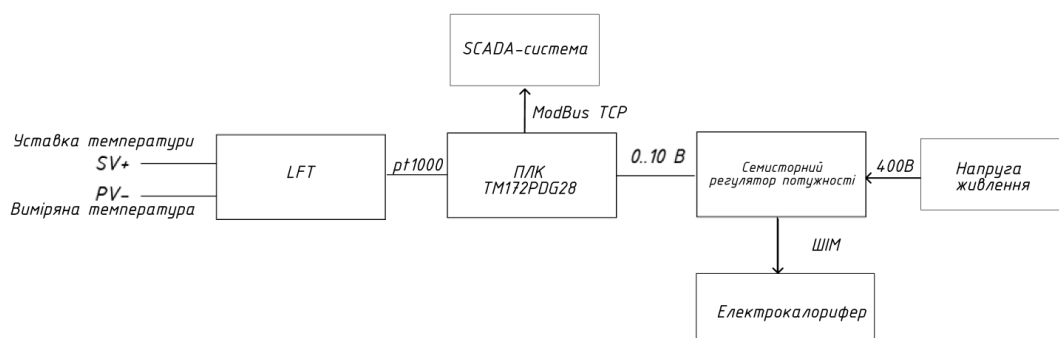


Рисунок 2.10 – Схема структурна структурну регулювально-виконавчого каналу САР температури повітря після електрокалорифера

2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР

На рисунку 2.11 зображено схему структурну програмно-технічних засобів САР температури повітря після електрокалорифера.

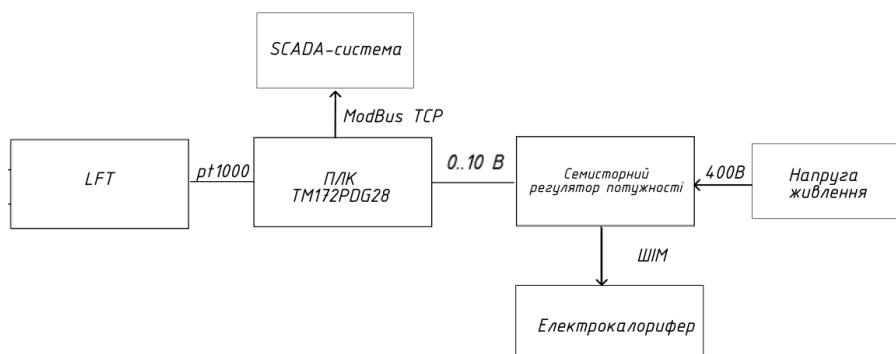


Рисунок 2.11 – Схема структурна програмно-технічних засобів САР температури повітря після електрокалорифера

2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР

На рисунку 2.12 зображено схему структурну надійності реалізації управляючої функції САР температури повітря після електрокалорифера.



Рисунок 2.12 – Схема структурна надійності реалізації управляючої функції CAP температури повітря після електрокалорифера.

На схемі (рис. 2.11) зображено принцип взаємодії компонентів контуру регулювання температури повітря після електрокалорифера. Температурний сигнал, що надходить із датчика типу pt1000 LFT, подається на вхід програмованого логічного контролера Schneider Electric TM172PDG28. У контролері здійснюється первинна обробка та аналіз даних, після чого формується аналоговий керуючий сигнал 0-10 В, який подається на тиристорний регулятор.

Тиристорний регулятор регулює за допомогою шім-сигналу продуктивність нагріву електрокалорифера.

Для візуалізації параметрів і моніторингу процесу використовується SCADA-система, що отримує дані від ПЛК через протокол обміну Modbus TCP. Така архітектура дає змогу реалізувати точне й енергоефективне керування паливоподачею відповідно до поточного теплового навантаження.

2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції CAP

Проведемо розрахунок надійності реалізації управляючої функції CAP температури повітря після електрокалорифера. (табл. 2.3)

Таблиця 2.3 – Частота відмов компонентів системи управління

№	Тип елементу	Елемент	T _{сер} , год на відмову	$\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/год
1	Датчик	LFT	60000	16.1

Закінчення таблиці 2.3

2	ПЛК	TM172PDG28	100000	10
3	Семісторний регулятор	PHC-16	80000	12.5
4	Електрокалорифер	AIP71B4	60000	16.1

Визначимо загальний показник ефективності відмов за формулою:

$$\lambda = (16.1 + 10.0 + 12.5 + 16.1) \cdot 10^{-6} = 54,7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год};$$

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи за місяць:

$$P(\tau) = e^{-54,7 \cdot 10^{-6} \cdot 720} \approx 0.9613$$

Розрахункова ймовірність безвідмовної роботи за один місяць становить близько 0.97, що відповідає нормативним вимогам надійності для систем автоматизованого керування.

Таким чином, можна стверджувати, що обрана апаратна конфігурація є надійною для використання в умовах експлуатації. Система демонструє стабільну роботу з низькою ймовірністю відмов, що критично важливо для забезпечення безпеки, енергоефективності та безперервного ходу технологічного процесу.

2.2.7 Ідентифікація об'єкта управління

Під час проходження практики на підприємстві не було можливості отримати експериментальну перехідну характеристику системи. У зв'язку з цим для подальшого моделювання САР температури повітря після електрокалорифера використано узагальнену модель, характерну для подібних теплових об'єктів.

Об'єкт управління, а саме контур «Зміна потужності нагрівача – зміна температури після калорифера» розглядається як аперіодична ланка першого порядку, доповнена ланкою транспортного запізнення, що відповідає інерційному об'єкту зі здатністю до самовирівнювання.

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З літературних джерел отримаємо приблизний вигляд необхідної ланки:

$$W(p) = \frac{1.2e^{-15p}}{100p+1}, \text{ звідки } K = 1.2 \frac{^{\circ}\text{C}}{\% \text{ потужності калорифера}}, T=100\text{с}, \tau = 15\text{с}$$

Побудуємо перехідну характеристику об'єкту (рис 2.13, рис 2.14):

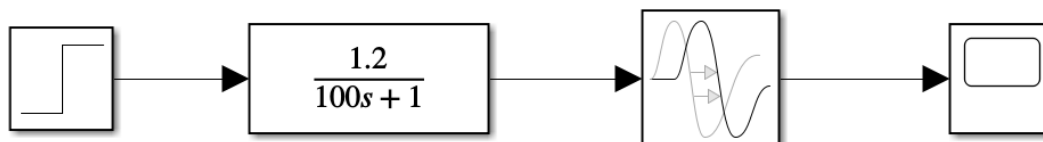


Рисунок 2.13 – Зовнішній вигляд моделі ОУ в СКМ Matlab Simulink

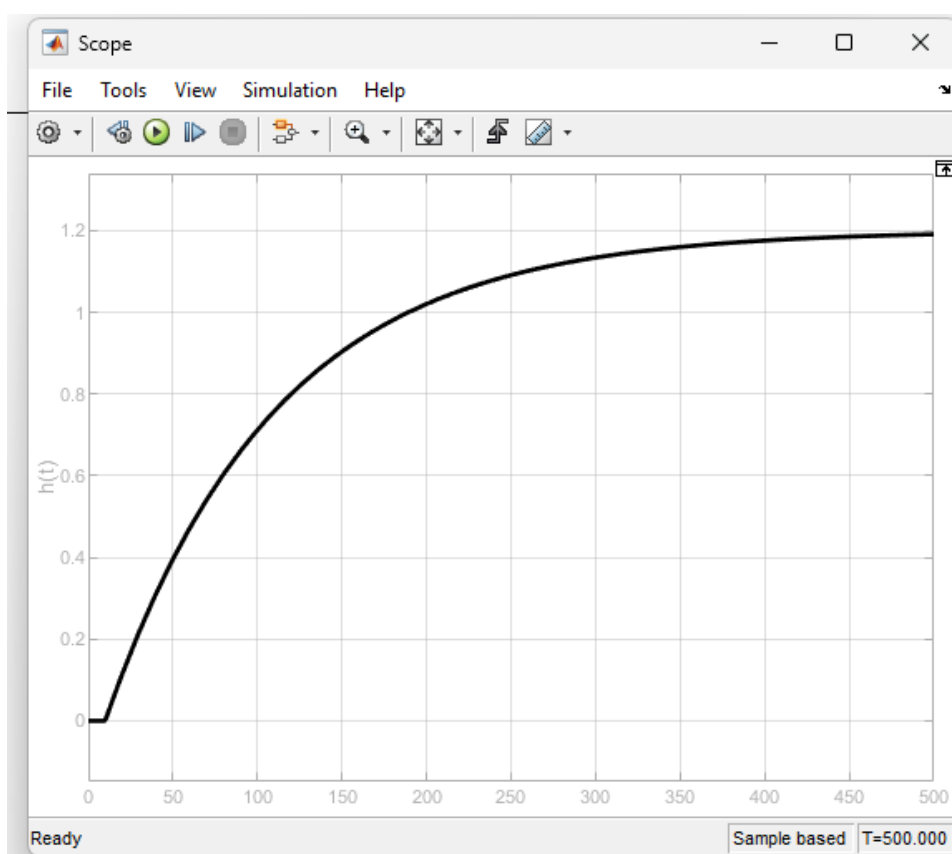


Рисунок 2.14 – Перехідна характеристика ОУ

2.2.8 Розрахунок регуляторів САР

Для розрахунку регулятору САР скористаємося методами РАФХ та експрес методикою для забезпечення показника якості по динамічній похибці не більше 0.2 (перерегулювання 20%).

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-12407.007.001.АТХ.П

Лист

39

Метод РАФХ[2]

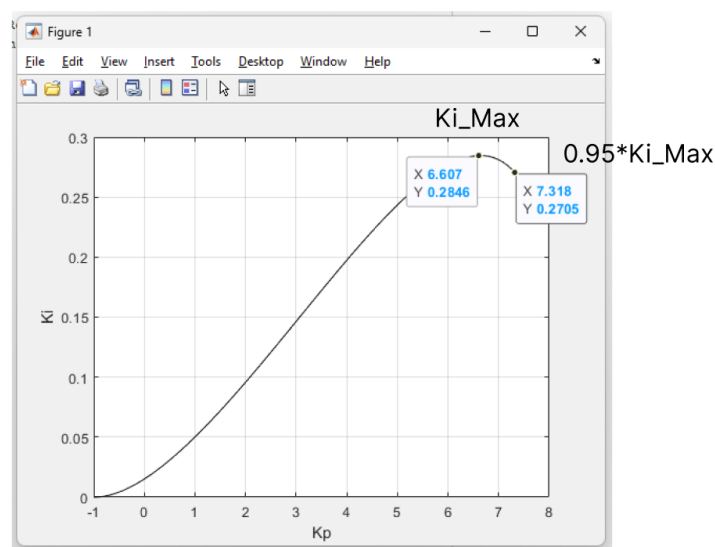


Рисунок 2.15 – Крива налаштувань для ПІ-регулятора

З рисунка 2.15 маємо наступні параметри:

$$K_i = 0.95 \text{Max}(K_i);$$

$$K_p = 7.318 \frac{\% \text{ потужності калорифера}}{^{\circ}\text{C}},$$

$$K_i = 0.2705,$$

$$T_i = K_p / K_i = 27.053 \text{ с.}$$

Перевіримо правильність визначення параметрів K_p і T_i для регулятора. Побудуємо АФЧХ та перевіримо чи проходить через точку $(-1; j0)$.

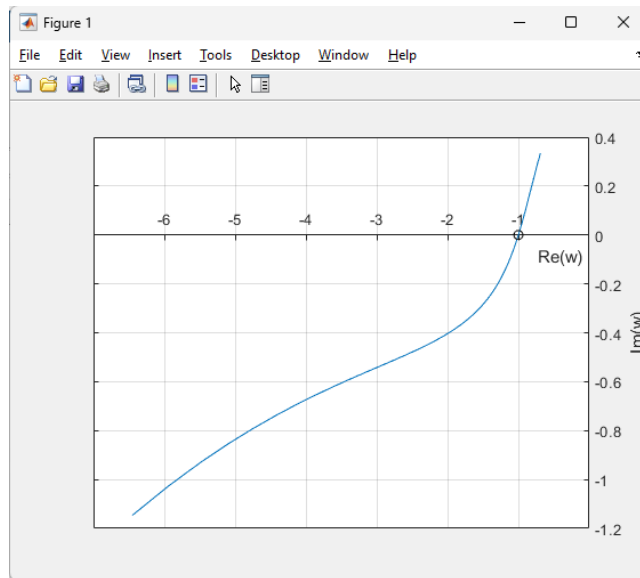


Рисунок 2.16 – АФХ моделі розімкненої САР в середовищі Matlab

Графік моделі розімкненої САР через точку $(-1;j0)$, отже розрахунки є правильними, звідки структура розрахованого ПІ-регулятора буде наступна:

$$K_p=7.318, T_i= 27.05.$$

Сформуємо замкнену систему автоматичного регулювання з ОУ та ПІ-регулятором та знімемо графіки перехідних процесів за двома каналами: по збуренню та завданню:

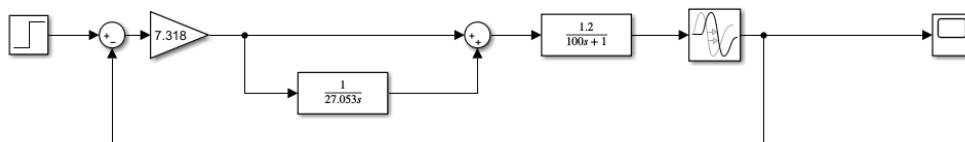


Рисунок 2.17 – Модель замкненої САР в середовищі Matlab при налаштуванні методом РАФХ

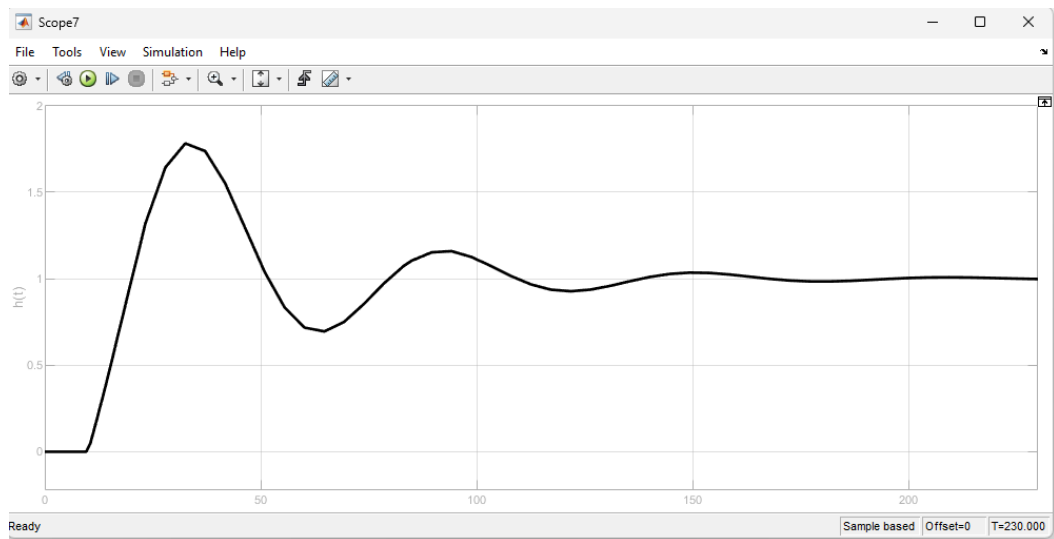


Рисунок 2.18 – Перехідний процес за каналом «Завдання-вихід» при налаштуванні методом РАФХ

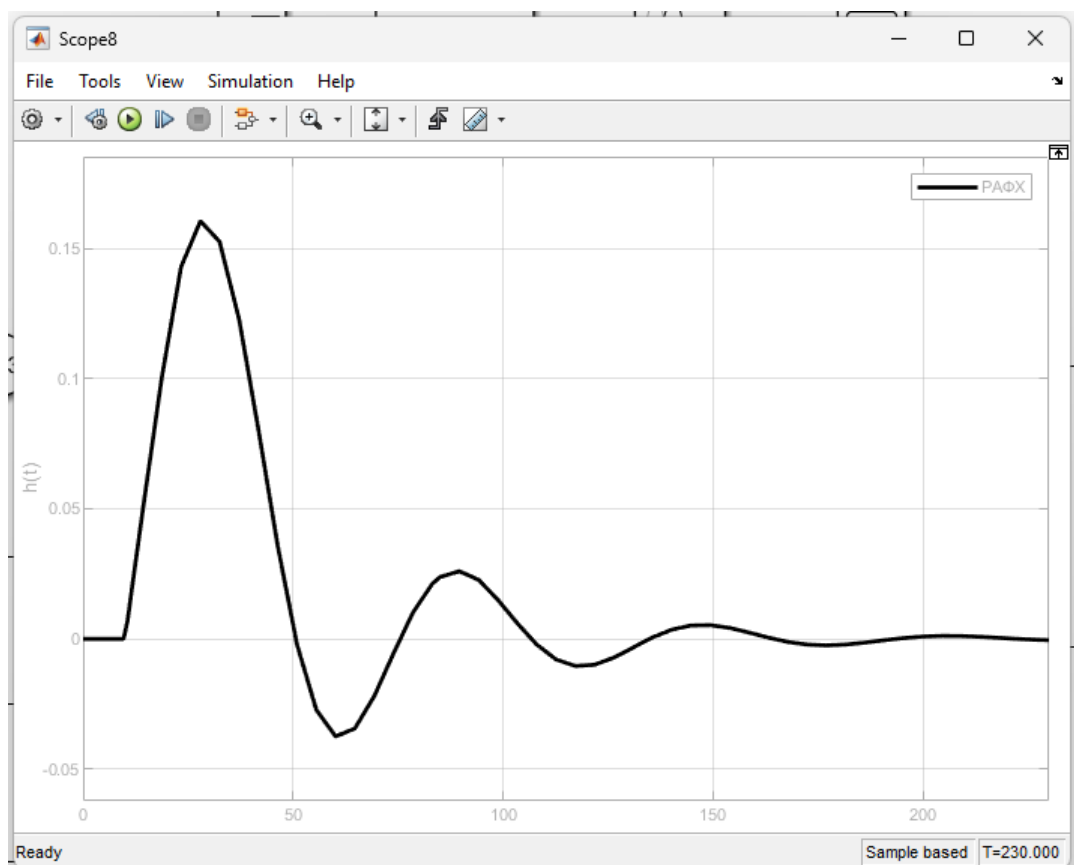


Рисунок 2.19 – Перехідний процес за каналом «Збурення-вихід» при налаштуванні методом РАФХ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-12407.007.001.АТХ.П

Лист

42

Таблиця 2.4 – Показники якості за каналами «завдання-вихід» та «збурення-вихід»

Показник якості	Канал «збурення-вихід»	Канал «завдання- вихід»
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0,17	0,67
Перерегулювання σ , %	17	67
Степінь затування, ψ	0.8145	0.73
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	200	200

Експрес метод Chien et al(1952) Metod 2

З посібника [6] експрес методик налаштувань для регулятора O. Dwyer Handbook of PI and PID controller tuning [6] для необхідного процесу з 20% перерегулюванням візьмемо цю методику. Перевіримо чи можемо ми її використовувати.

Умова, що має виконуватись: $0.1 < \frac{\tau_m}{T_m} < 1$

Перевіримо: $\frac{15}{100} = 0.15$, що входить в допустимі межі, отже можемо використовувати дану методику.

Розрахуємо параметри регулятора:

$$K = \frac{0.6T_m}{K_m\tau_m} = \frac{60}{1.2 \cdot 15} = 3.3, T_i = T_m = 100$$

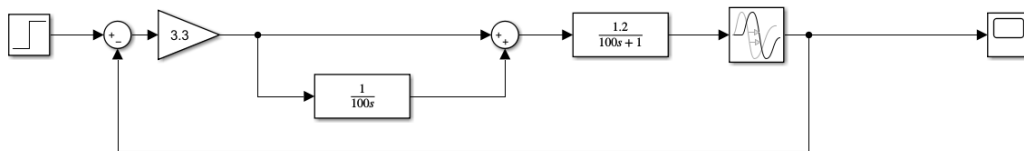


Рисунок 2.20 – Модель замкненої САР в середовищі Matlab при налаштуванні експрес методом

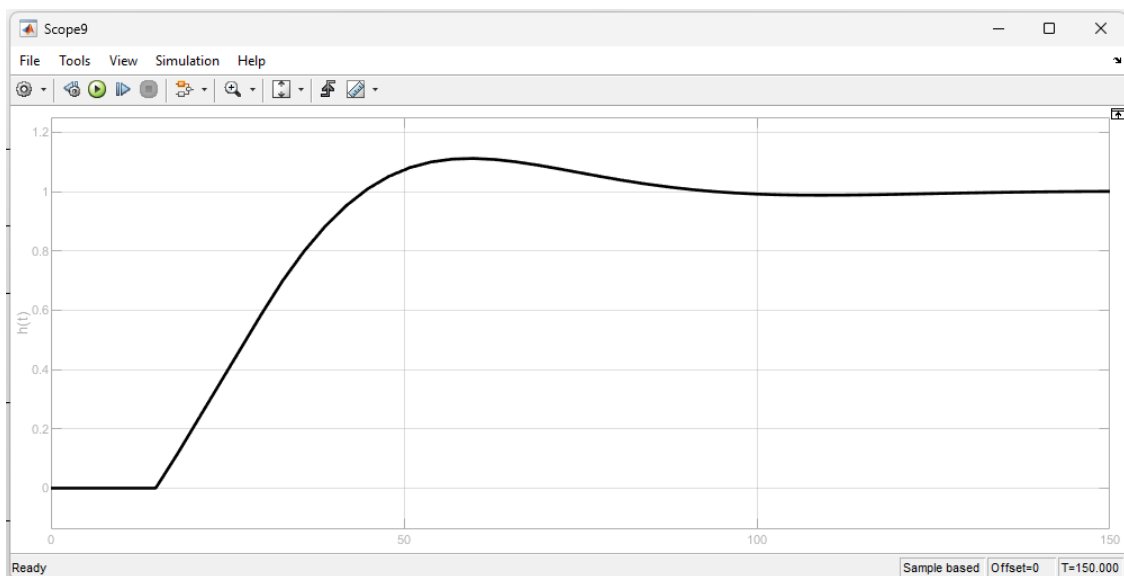


Рисунок 2.21 – Перехідний процес за каналом «Завдання-вихід» при налаштуванні експрес методом

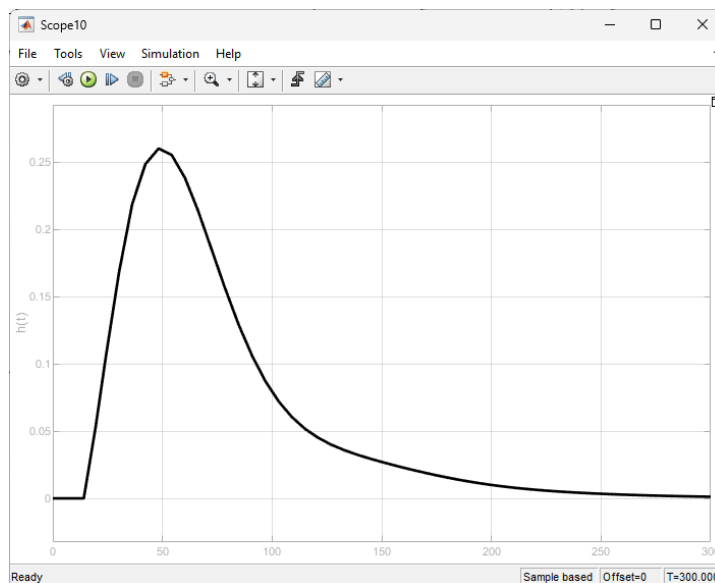


Рисунок 2.22 – Перехідний процес за каналом «Збурення-вихід» при налаштуванні експрес методом

Таблиця 2.5 – Показники якості за каналами «завдання-вихід» та «збурення-вихід»

Показник якості	Канал «збурення-вихід»	Канал «завдання- вихід»
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0,26	0,15
Перерегулювання σ , %	26	15
Степінь затухання, ψ	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	300	100

2.2.9 Функціональне моделювання САР

Порівняємо розраховані показники регулятора за обома методиками за каналом «збурення-вихід» та «завдання-вихід»:

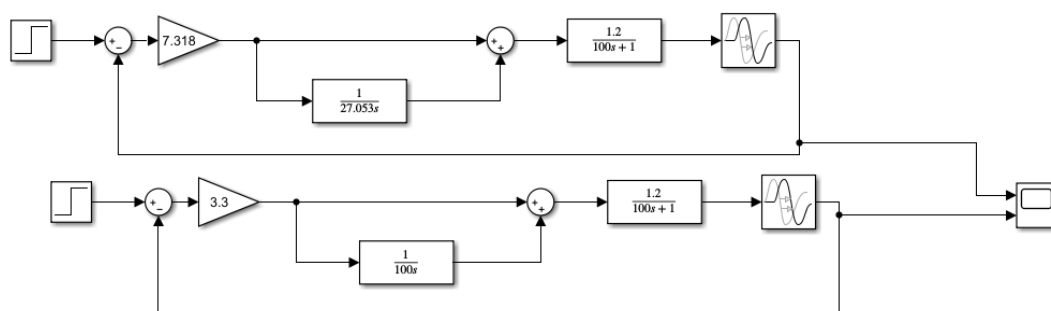


Рисунок 2.23 – Модель для порівняння перехідних процесів при різних параметрах налаштувань

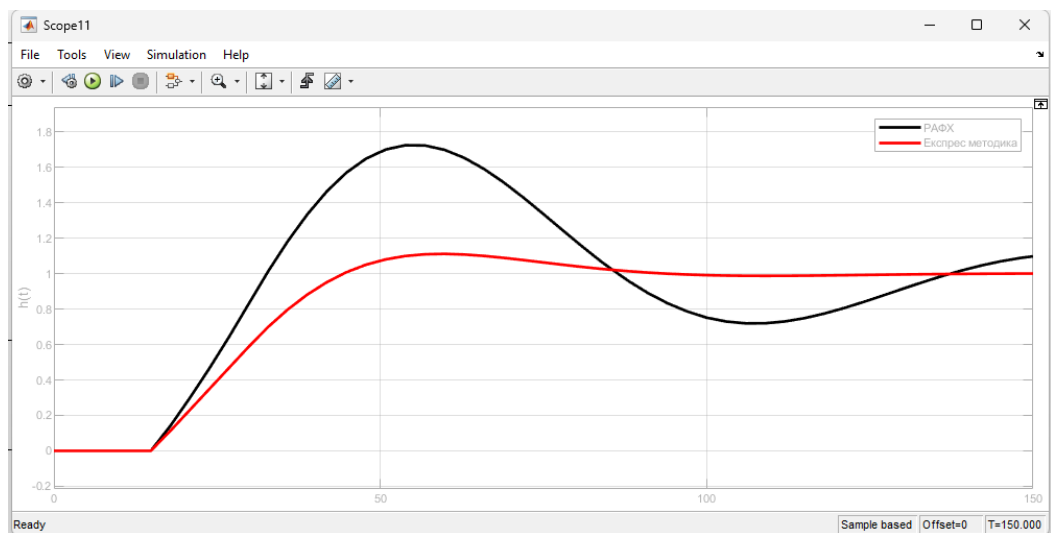


Рисунок 2.24 – Порівняння перехідних процесів при різних параметрах налаштувань за каналом «Завдання-вихід»

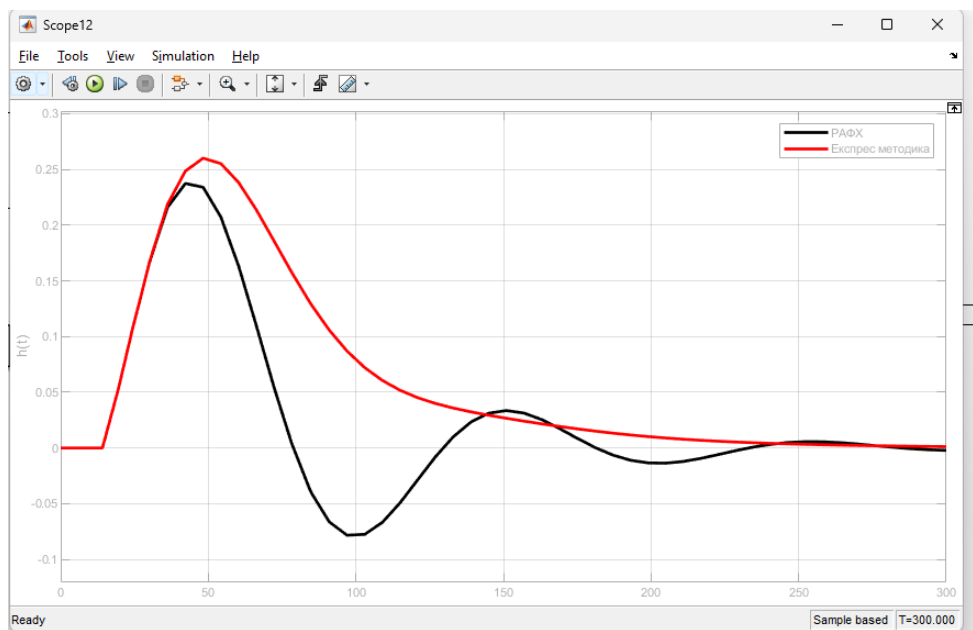


Рисунок 2.25 – Порівняння перехідних процесів при різних параметрах налаштувань за каналом «Збурення-вихід»

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-12407.007.001.АТХ.П

Лист

46

Таблиця 2.6 – Показники якості за каналами «завдання-вихід» та «збурення-вихід» для обох регуляторів

Показник якості	Канал «збурення-вихід» РАФХ	Канал «завдання-вихід» РАФХ	Канал «збурення-вихід» Експрес-метод	Канал «завдання-вихід» Експрес-метод
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0	0	0
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0,17	0,67	0,26	0,15
Перерегулювання σ , %	17	67	26	15
Степінь затухання, ψ	0.8145	0.73	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	200	200	300	100

Перевірка системи на чутливість

Враховуючи отримані показники якості, було отримано наступний результат: експрес метод за визначеним контрольним показником якості по динамічній похибці виявився кращим по каналу «завдання-вихід», який і є для нас визначальним в контексті регулювання температурою.

Дослідимо об'єкт на стійкість по каналу завдання-вихід, проваріювавши Коб, Тіоб та запізнення та сформуємо таблиці:

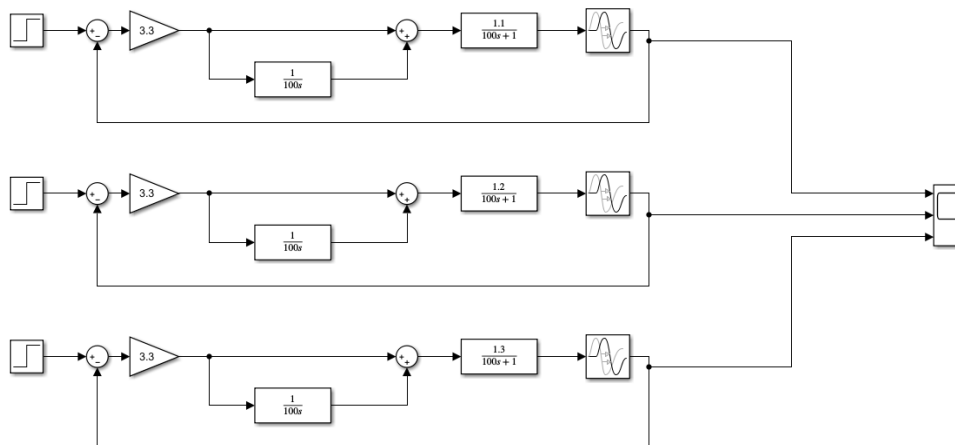


Рисунок 2.26 – Модель для перевірки системи на чутливість при зміні параметра K_{06}

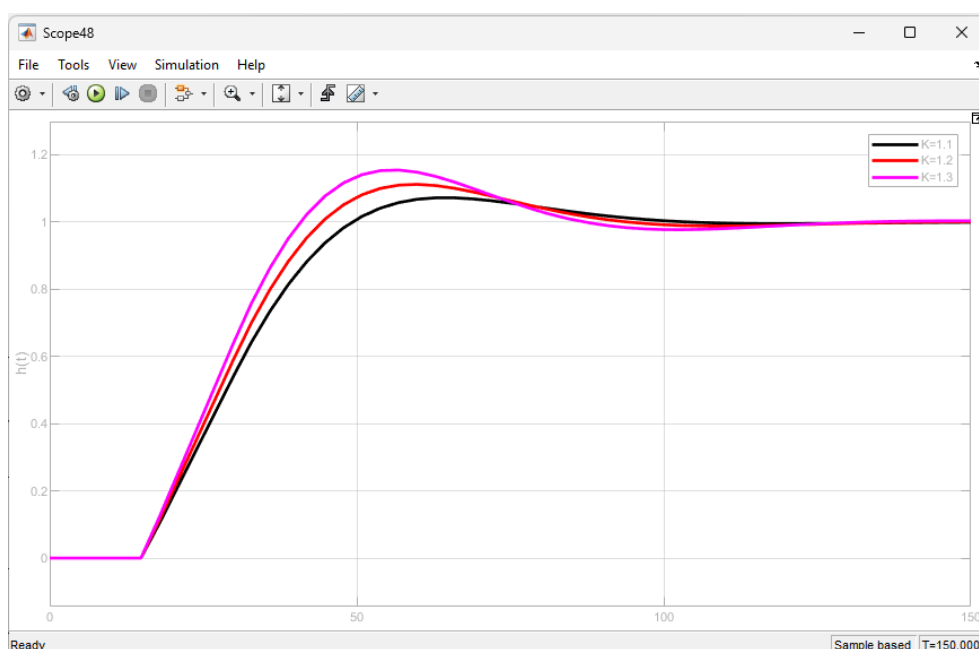


Рисунок 2.27 – Порівняння перехідних процесів при різних параметрах коефіцієнта K_{06} за каналом «Завдання-вихід»

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-12407.007.001.АТХ.П

Лист

48

Таблиця 2.8 – Показники якості за каналом «завдання-вихід»

Показник К	1.1	1.2	1.3
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0.13	0,15	0.17
Перерегулювання σ , %	14	15	17
Степінь затухання, ψ	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	100	100	100

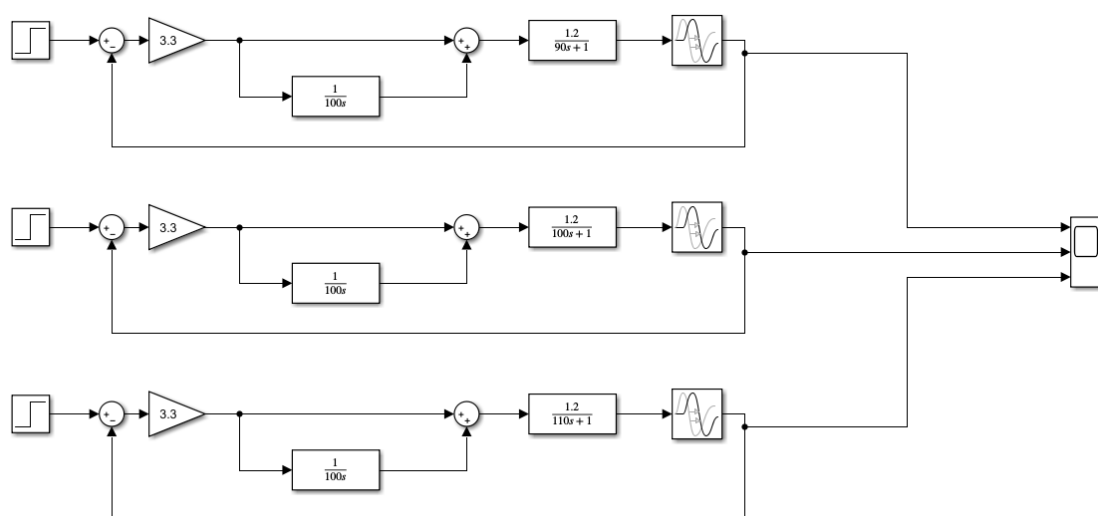


Рисунок 2.27 – Модель для перевірки системи на чутливість при зміні параметра T_i

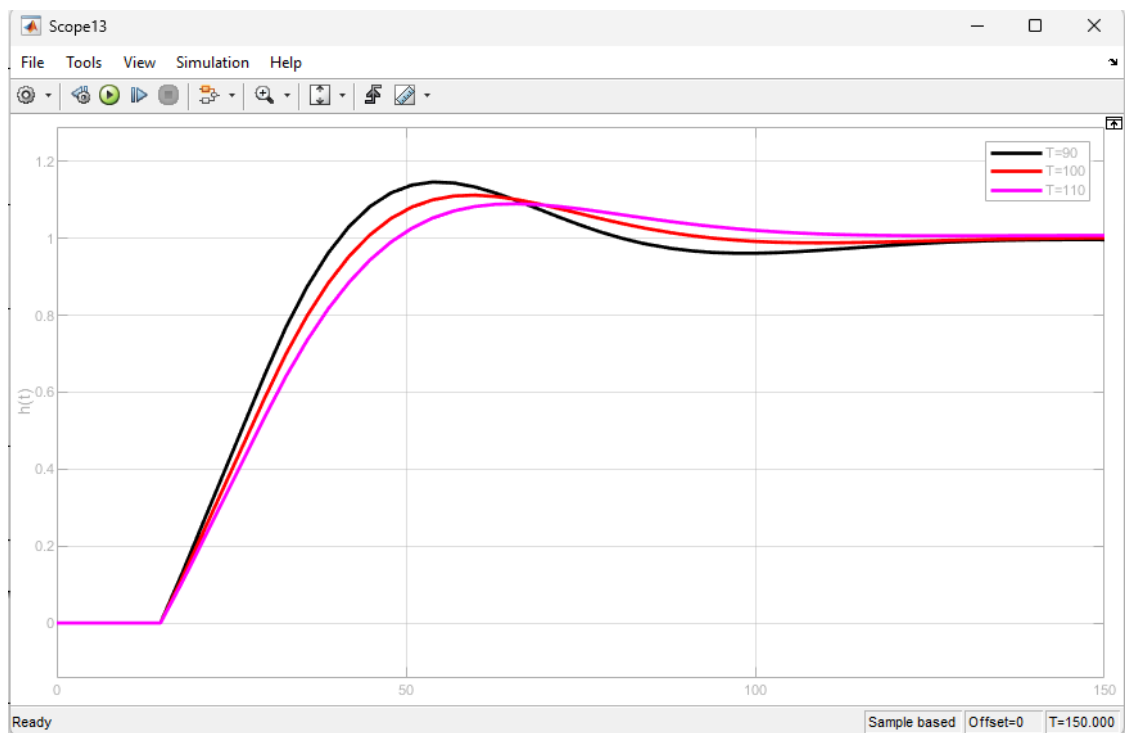


Рисунок 2.28 – Порівняння перехідних процесів при різних параметрах коефіцієнта T_1 за каналом «Завдання-вихід»

Таблиця 2.9 – Показники якості за каналом «завдання-вихід»

Показник T_1	90	100	110
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0,17	0,15	0,15
Перерегулювання σ , %	17	15	13
Степінь згасання, ψ	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	90	100	110

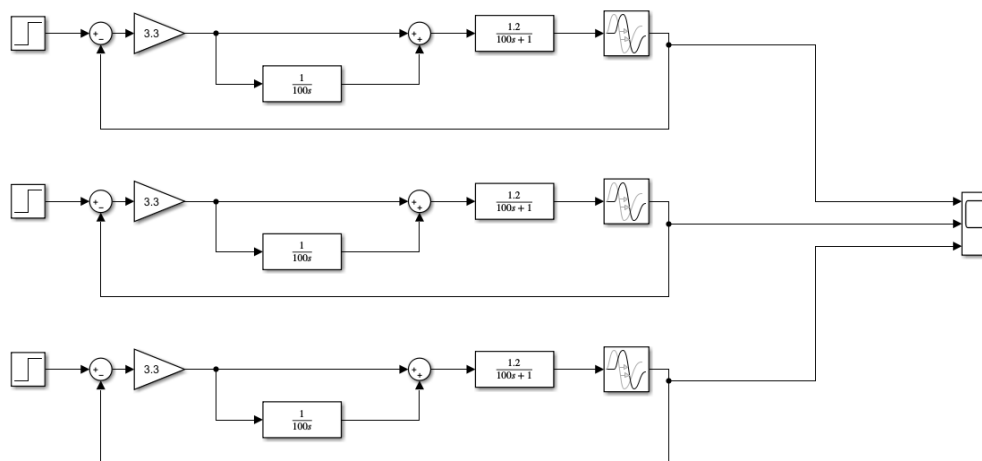


Рисунок 2.29 – Модель для перевірки системи на чутливість при зміні параметрах τ

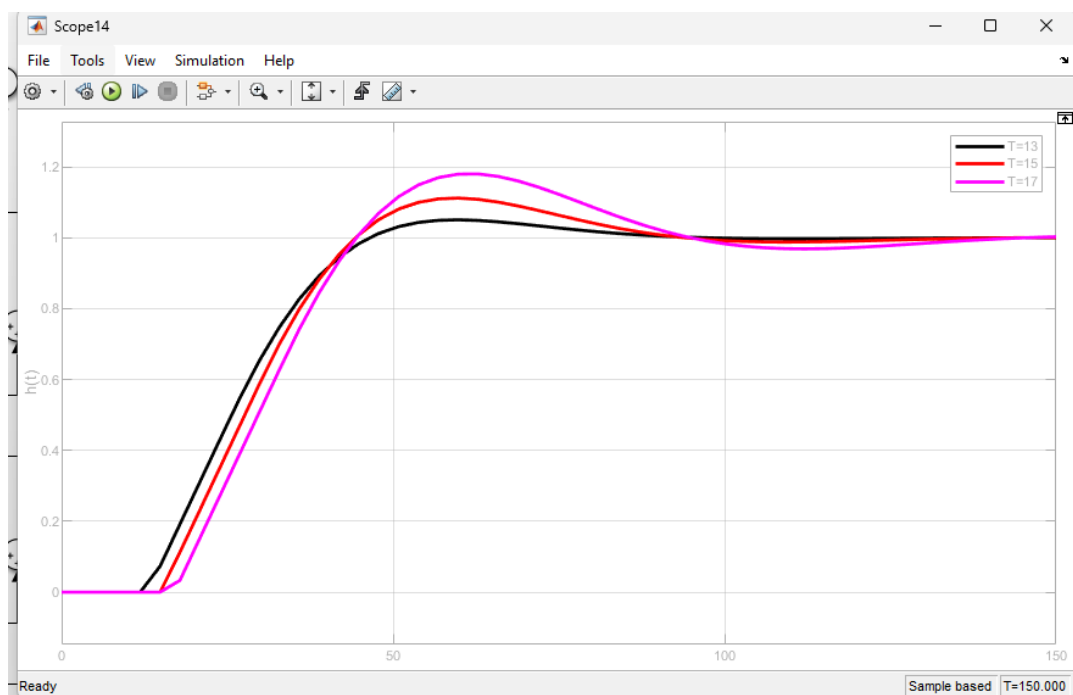


Рисунок 2.30 – Порівняння перехідних процесів при різних параметрах коефіцієнта τ за каналом «Завдання-вихід»

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-12407.007.001.АТХ.П

Лист

51

Таблиця 2.10 – Показники якості за каналом «завдання-вихід»

Показник τ	13	15	17
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0,12	0,15	0,19
Перерегулювання σ , %	12	15	19
Степінь затухання, ψ	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	80	100	120

2.2.10 Висновки щодо роботоздатності РВК САР

РВК САР температури повітря після калорифера є роботоздатним, тому що розрахований ПІ-регулятор задовільняє показники якості, визначені як основні (перерегулювання, динамічна похибка), аналіз чутливості показав, що система адекватно реагує на зміну параметрів об'єкту, а розраховані показники надійності та часу безвідмовної роботи лежать в допустимих межах.

РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЕКТУ

3.1 Схема функціональна автоматизації ТОУ

Схему описано в розділі 1.5.

3.2 Схема структурна ПТК

Схему описано в розділі 1.6.

3.3 Схема принципова електрична

На принципових електричних схемах (рисунки 3.1, 3.2, 3.3) описано електричне підключення датчиків, виконавчих механізмів, вентиляторів та циркуляційних насосів до ПЛК та його модуля розширення.

Система керування живиться від 3 фаз напруги змінного струму та захищена на вводі ввідним автоматом. Окремо кожен споживач захищений своїм автоматом, меншим за номіналом.

Усі пристрої наведено в таблиці «Перелік електроапаратури» справа на кожній схемі.

Кожна жила промаркована для зручного підключення та ідентифікації її в подальшому, жили силові (напруга від 220В маркуються позначенням 8**, слаботочні проводи починають маркування від 1).

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

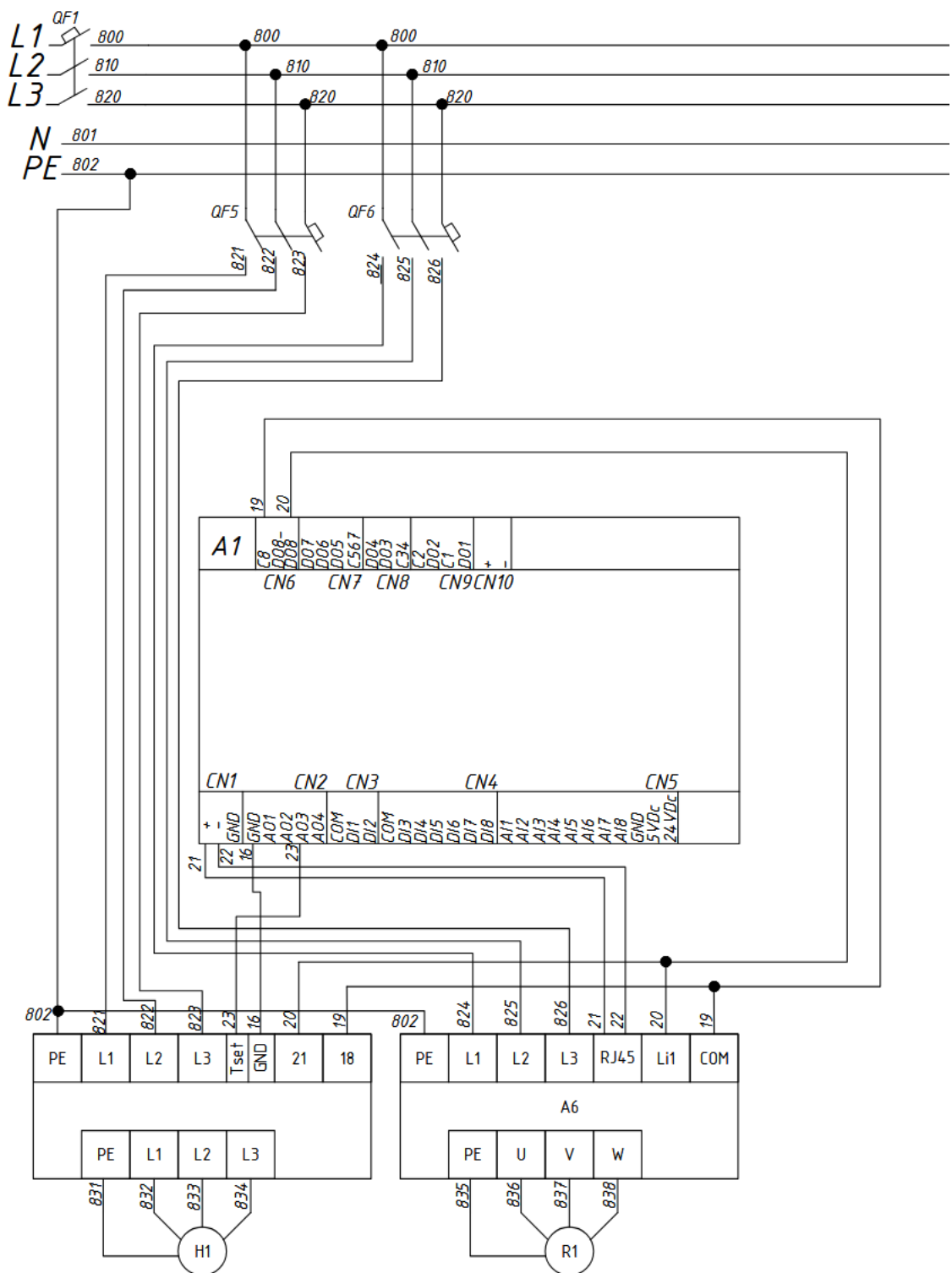


Рисунок 3.2 – Схема принципова електрична (аркуш 2)

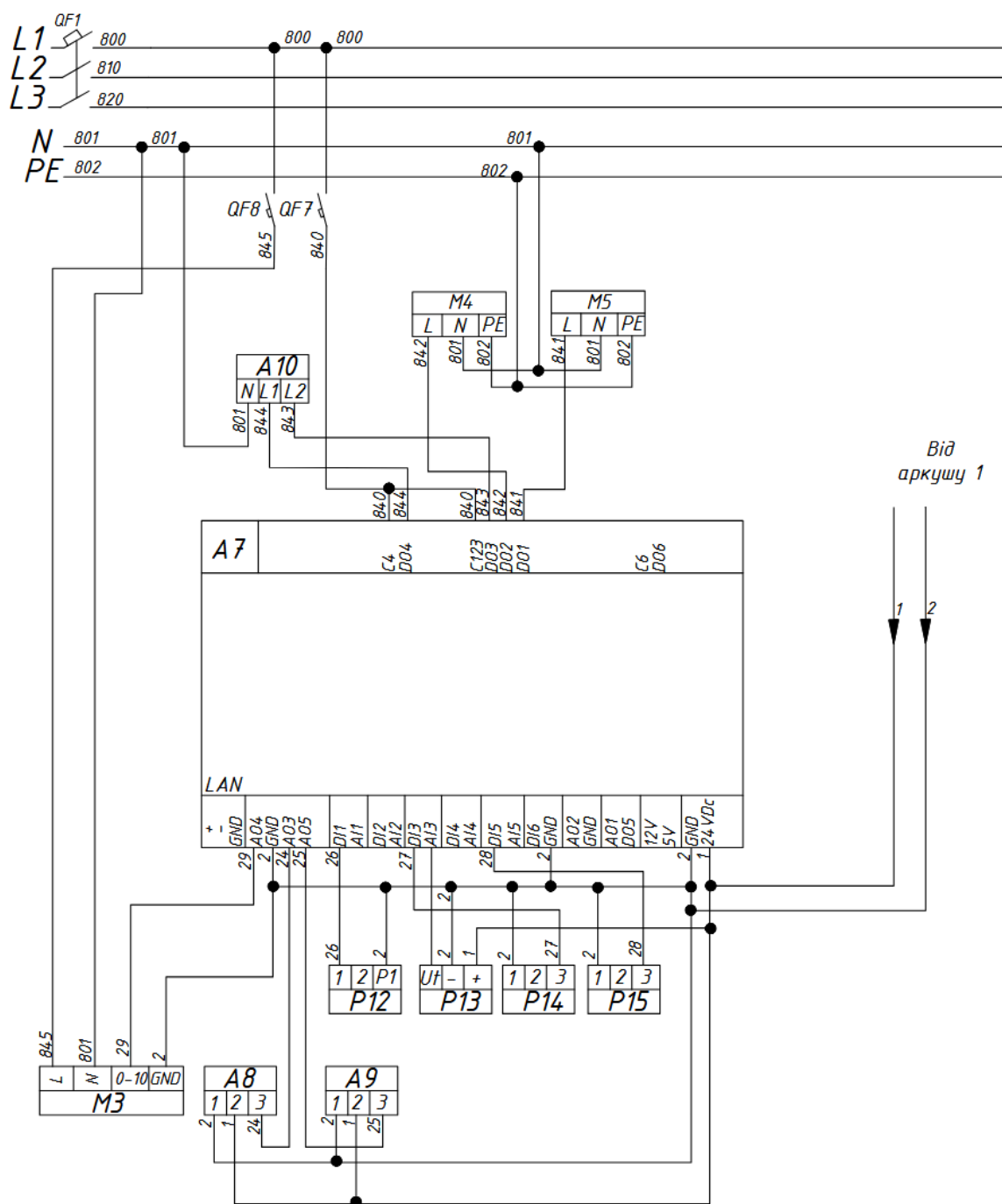


Рисунок 3.3 – Схема принципова електрична (аркуш 3)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-12407.007.001.АТХ.П

Лист

56

3.4 Креслення загального виду щита

На кресленні загального вигляду щита (рисунок 3.4) зображено загальний вигляд щита керування та пристроїв на ньому. Виконаний у масштабі 1:5 та використовується для розуміння вигляду майбутнього щита, як довідник монтажникам. Як і в попередній схемі перелік обладнання зображено в таблиці для конкретного розуміння що і в якій кількості наявно в щиті.

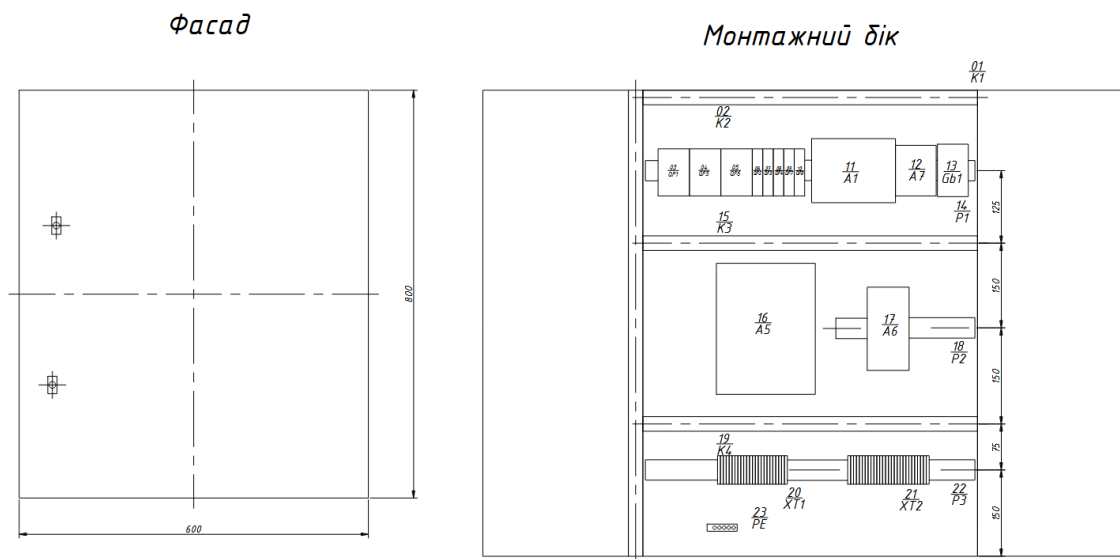


Рисунок 3.4 – Креслення загального вигляду щита

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-12407.007.001.АТХ.П

Лист

57

3.5 Схеми зовнішніх з'єднань

На схемі зовнішніх з'єднань (рисунки 3.5, 3.6) зображено підключення пристроїв, що встановлено по місцю. Вказано де встановлюється пристрій, яке позначення має і яку функцію виконує. Кабелі підписано і в таблиці справа наведено тип цього кабелю, кількість жил, їх переріз і загальну довжину.

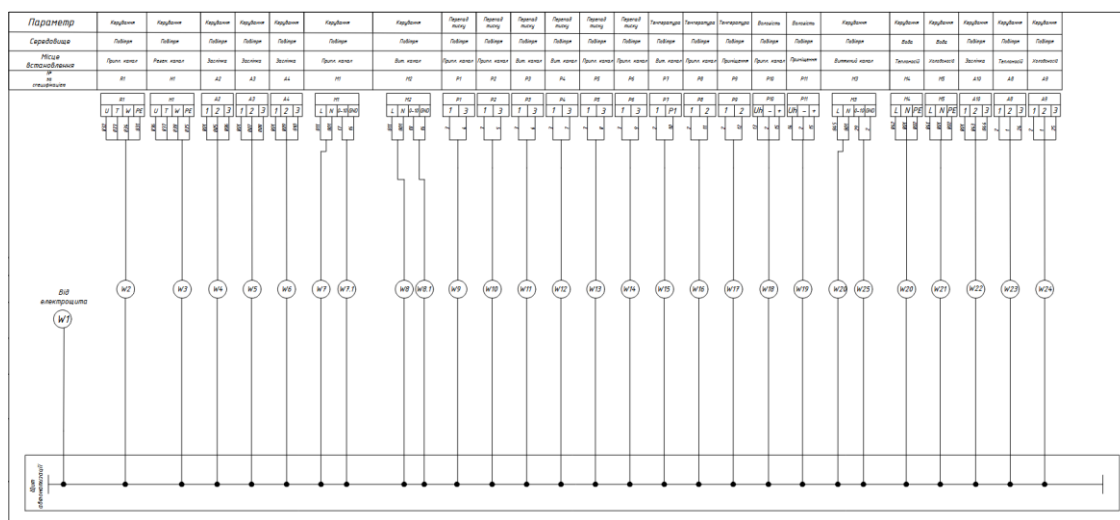


Рисунок 3.5– Схема зовнішніх з'єднань та підключень (аркуш 1)

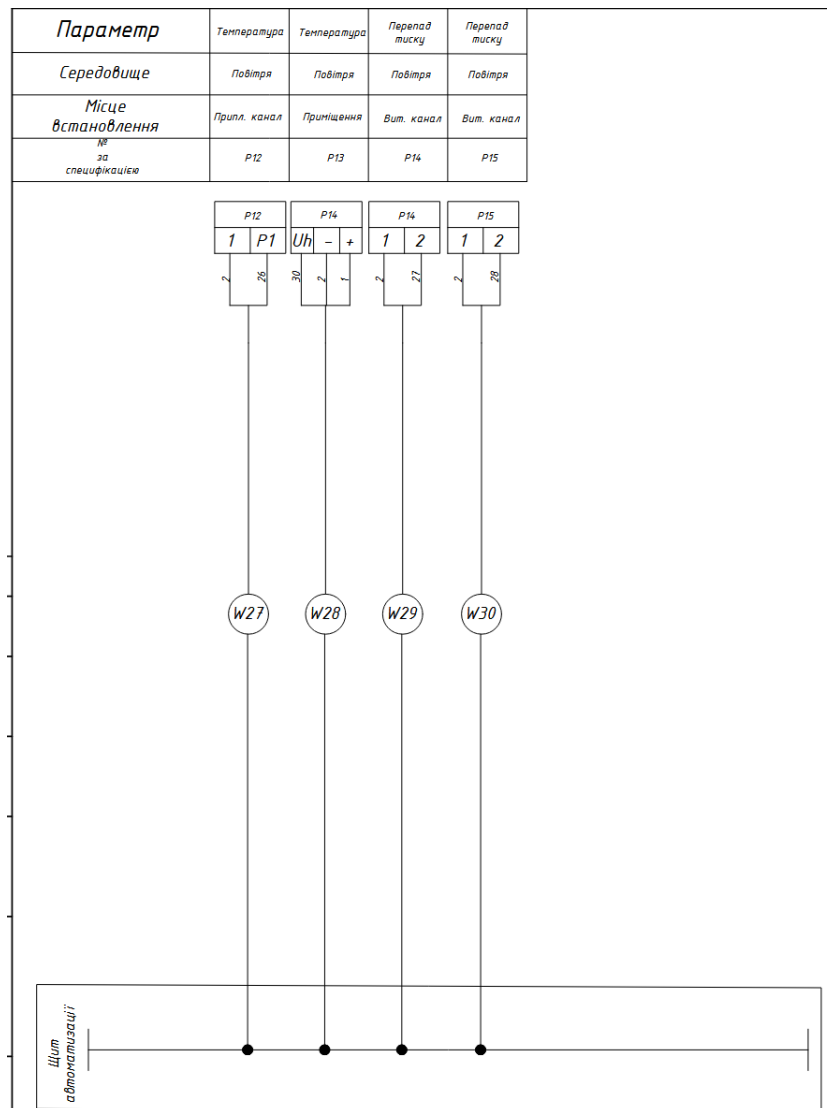


Рисунок 3.6 – Схема зовнішніх з'єднань та підключень (аркуш 2)

3.6 Схема монтажна щита

На схемі монтажній щита (рисунки 3.7, 3.8) зображено підключення пристроїв, що встановлені всередині щита. В нашому випадку це ПЛК, модуль розширення до нього, частотний перетворювач на ротор рекуператора, регулятор потужності до калорифера, клеми прохідні та автоматичні вимикачі для захисту обладнання від короткого замикання та перевантаження.

Як і в схемі принциповій електричній кожену жилу промарковано та підписано тип кабелю, його довжину та переріз.

ЩИТА.



ЩИТА.



Наведений перелік обладнання не вичерпний для реалізації даної системи та може бути доповнений відповідно до особливостей самого ТОВ.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Прилади							
1a, 9a	Датчик вологості з вихідним сигналом 0-10В к.л.т 3% діапазон 0-100%	SH-02		Релю-автоматик (Україна)	шт.	2		
1a	Вологість повітря в приміщенні, установка 40%							
9a	Вологість повітря в припливному каналі							
2a-7a	Датчик перепаду тиску, нормально-відкритий контакт (NC)	ДТВ 500		Вентис (Україна)	шт.	6		
2a	Перепад тиску на приточному фільтрі (не більше 150Па)							
3a	Перепад тиску на приточному фільтрі (не більше 150Па)							
4a	Перепад тиску на приточному вентиляторі (не менше 100Па)							
5a	Перепад тиску на приточному фільтрі (не більше 150Па)							
6a	Перепад тиску на регенераційному фільтрі (не більше 150Па)							
7a	Перепад тиску на регенераційному вентиляторі (не менше 100Па)							
8a	Термостат на калорифері, нормально-закритий контакт (NO)	F-3000		Вентис (Україна)	шт.	1		
8a	Захист від заморозки калорифера, спрацювання при 5°C							
10a, 11a	Датчик температури з вихідним сигналом Р1000, к.л.т 1%, -35...150°C	НТФ9012.150		Thermasens (Україна)	шт.	2		
10a	Температура повітря до регенерації, 0...30°C							
11a	Температура повітря після регенерації, 20...60°C							
	Комплекси технічних засобів							
A1	Програмований логічний контролер	TM172PDG285		Schneider Electric (Франція)	шт.	1		
GB1	Блок живлення 24В 2.5А	HDR-60-24		Месінайт (Китай)	шт.	1		
QF1	Автоматичний вимикач MCN340 С 40А 6 кА	MCN340		Нагел (Франція)	шт.	1		
QF2-4	Автоматичний вимикач MBN102 В 2А 6 кА	MBN102		Нагел (Франція)	шт.	3		
QF5	Автоматичний вимикач MBN325 В 25А 6 кА	MBN325		Нагел (Франція)	шт.	1		
A5	Регулятор потужності симісторний Вентис РНС-16	РНС-16		Вентис (Україна)	шт.	1		
A6	Частотний перетворювач 0.37КВт	ATV12H037M2		Schneider Electric (Франція)	шт.	1		

Рисунок 3.9 – Специфікація обладнання (аркуш 1)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Електроапарати							
M1,M2	Припливний та витяжний вентилятори, 320Вт, 2050m³	ТТ ПРО 315		Вентис (Україна)	шт.	2		
A1-A3	Виконавчий механізм на заслінці, 230В, триточковий	LM230A		Веліто (Швейцарія)	шт.	3		
	Щити і пульти							
P1-P3	DIN рейка 7.5*35мм	7.5*35мм		Schneider Electric (Франція)	м	2		
K1-K4	Кабель канал перфорований 25*40мм	25*40мм		ДКС (Італія)	м	2.5		
XT1	Клеми силові тах 4mm²	2004-1201		Wago (Німеччина)	шт.	24		
XT2	Клеми контрольні тах 1.5mm²	2002-2201		Wago (Німеччина)	шт.	28		
PE	Шина РЕ, тах 4mm²	РЕ		Е.пекхт (Польща)	шт.	1		
	Щит ЩШМ-ІІ-800x500x250 ЧХ/ІЗ.І ІР66	SPACIAL NSYCRN43200P		Schneider Electric (Франція)	шт.	1		
	Кабелі і дроти							
W1	Кабель силовий негорючий	ВВГ-НГ (LS) 5x4mm²		ЗЗКМ (Україна)	м	100		
W2	Кабель силовий негорючий	ВВГ-НГ (LS) 4x1.5mm²		ЗЗКМ (Україна)	м	100		
W3	Кабель силовий негорючий	ВВГ-НГ (LS) 4x2.5mm²		ЗЗКМ (Україна)	м	100		
W4-W6	Кабель силовий негорючий	ВВГ-НГ (LS) 3x1.5mm²		ЗЗКМ (Україна)	м	300		
W7-W8	Кабель силовий негорючий	ВВГ-НГ (LS) 2x1.5mm²		ЗЗКМ (Україна)	м	300		
W9-W17	Кабель контрольний негорючий	КВВГнг 2x1.5mm²		ЗЗКМ (Україна)	м	500		
W18,W19	Кабель контрольний негорючий	КВВГнг 3x1.5mm²		ЗЗКМ (Україна)	м	200		
1	Провід установчий	ПВ-1 4mm²		ЗЗКМ (Україна)	м	20		
2	Провід установчий	ПВ-1 2.5mm²		ЗЗКМ (Україна)	м	40		
3	Провід установчий	ПВ-3 1.5mm²		ЗЗКМ (Україна)	м	60		

Рисунок 3.10 – Специфікація обладнання (аркуш 2)

								Лист
								62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

ТА-12407.007.001.АТХ.П

РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА

4.1 Програмування функціональності ПЛК

Оскільки контролер в нас Modicon M172, його середовищем розробки є програма EcoStructure Machine Expert HVAC. В ній і розробимо алгоритм керування та автоматичного регулювання розрахованою в розділі 2.2 САР температури повітря на виході з електрокалорифера. Для початку налаштуємо конфігурацію обладнання (рисунок 4.1), далі масштабування входів і виходів (рисунок 4.2), розробимо алгоритм відслідковування помилок (рисунок 4.3) та власне сам алгоритм керування з ПІ-регулятором (рисунок 4.4). В кінці наведемо перелік змінних, використаних в проекті (рисунок 4.5).

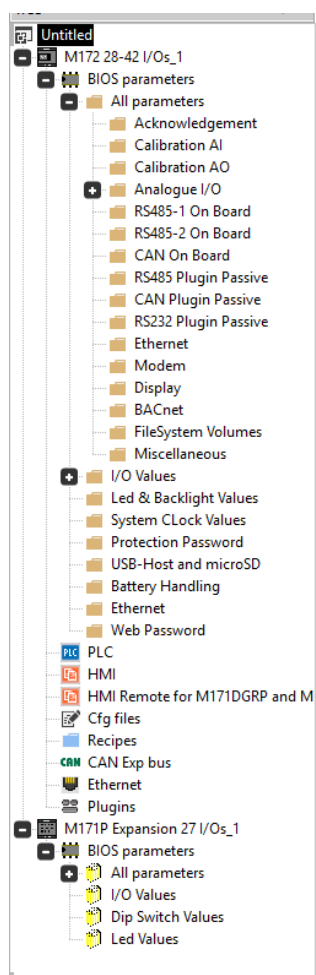


Рисунок 4.1 – Налаштування конфігурації

На рисунку 4.1 можемо бачити сам ПЛК M172 та модуль розширення входів/виходів M171P expansion

Address	Name	Value	Um
15725	Temp_UM	0=°C	num
15726	Cfg_AI1	4=0÷10V	num
15727	Cfg_AI2	3=4÷20mA	num
15728	Cfg_AI3	8=daO(PT1000)	num
15729	Cfg_AI4	3=4÷20mA	num
15730	Cfg_AI5	3=4÷20mA	num
15731	Cfg_AI6	2=NTC(103AT)	num
16100	Cfg_AI7	2=NTC(103AT)	num
16101	Cfg_AI8	2=NTC(103AT)	num
15748	Calibration_AI1	0	digit
15749	Calibration_AI2	0	digit
15750	Calibration_AI3	0	digit
15751	Calibration_AI4	0	digit
15752	Calibration_AI5	0	digit
15753	Calibration_AI6	0	digit
16118	Calibration_AI7	0	digit
16119	Calibration_AI8	0	digit

Рисунок 4.2 – Налаштування масштабування входів/виходів

На рисунку 4.2 видно вибір для кожного входу тип вхідного сигналу відповідно до електричної схеми.

```

TE_13_Value := AIL1;
TT_12_Value := AIL2;
TS_13_Value := AIL3;
HT_1_Value := AIL4;
HT_9_Value := AIL5;

TE_Fault := (TE_13_Value < -40) OR (TE_13_Value > 150);
TT_Fault := (TT_12_Value < -40) OR (TT_12_Value > 150);
TS_Fault := (TS_13_Value < -40) OR (TS_13_Value > 150);
HT_Fault := (HT_1_Value < 0) OR (HT_1_Value > 100) OR (HT_9_Value < 0) OR (HT_9_Value > 100);

Valve_OK := DIL1 AND DIL2;
Dump_OK := DIL3;
Recup_OK := DIL4;

(* Логіка несправ *)
ErrorSensor := TE_Fault OR TT_Fault OR HT_Fault OR TS_Fault;
ErrorFire := TempOverheat;
ErrorValve := NOT Valve_OK;
ErrorDump := NOT Dump_OK;
ErrorRecup := NOT Recup_OK;

(* Контроль перегріву *)
IF TT_12_Value > Temp_Max_Limit THEN
    TempOverheat := TRUE;
ELSE
    TempOverheat := FALSE;
END_IF;

(* Просма перевірка на вимову сенсорів *)
TE_Fault := (TE_13_Value < -40.0) OR (TE_13_Value > 150.0);
TT_Fault := (TT_12_Value < -40.0) OR (TT_12_Value > 150.0);
TS_Fault := (TS_13_Value < -40.0) OR (TS_13_Value > 150.0);
HT_Fault := (HT_1_Value < 0.0) OR (HT_1_Value > 100.0) OR (HT_9_Value < 0.0) OR (HT_9_Value > 100.0);

(* Помилка нагріву, якщо калорифер не реагує на сигнал *)
ErrorHeating := TempOverheat AND (HT_1_Value < 10.0);

```

Рисунок 4.3 – Розроблений алгоритм відслідковування помилок

На рисунку 4.3 зображено алгоритм відслідковування помилок в системі регулювання.

Алгоритм виконує автоматичну діагностику основних компонентів системи мікроклімату. На основі аналогових входів ПЛК здійснюється контроль температурних датчиків: якщо значення виходять за допустимі межі, фіксується помилка ErrorSensor. Якщо температура після нагріву перевищує граничне значення – виникає ErrorFire. У випадку перегріву та низької температури після калорифера спрацьовує ErrorHeating.

Цифрові входи використовуються для перевірки стану обладнання. Якщо обидва клапани у справному стані Valve_OK = TRUE, інакше виникає ErrorValve. Аналогічно, ErrorDump сигналізує про неправильне положення демпфера, а ErrorRecup – про несправність рекуператора.

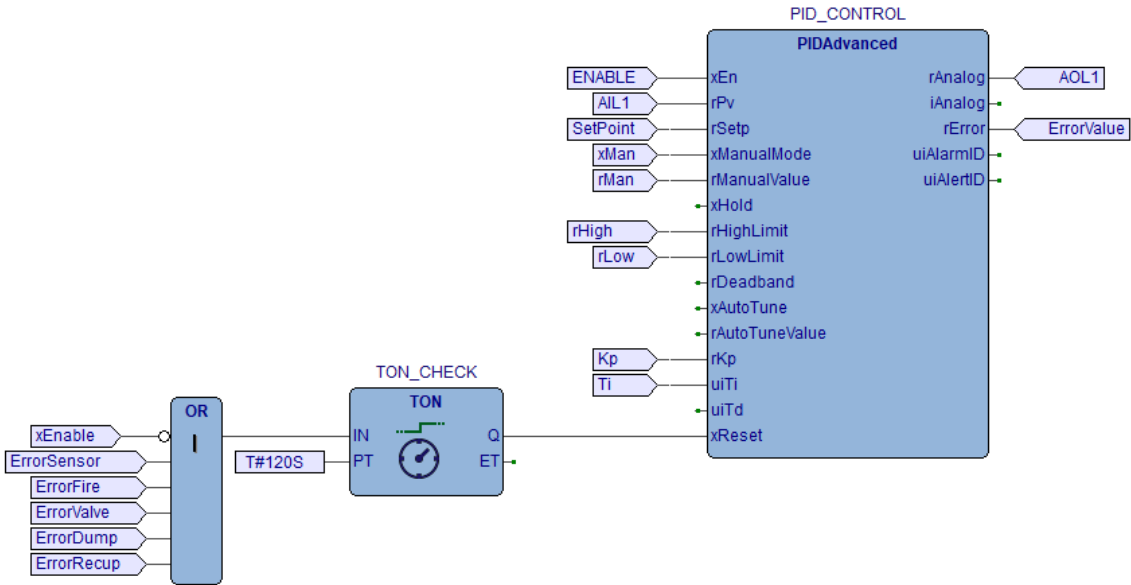


Рисунок 4.4 – Алгоритм регулювання температури

На рисунку 4.4 реалізовано автоматичне керування на основі ПІД-регулятора з контролем помилок системи мікроклімату. Основним елементом є блок PIDAdvanced, який отримує входні значення від датчика (AIL1), уставку (SetPoint) та формує аналоговий вихід (AOL1) для виконавчого механізму. Режим керування може бути автоматичним або ручним (xManualMode, rManualValue).

Перед ПІД-регулятором розташована логіка діагностики. Всі сигнали помилок – ErrorSensor , ErrorFire, ErrorValve, ErrorDump, ErrorRecup – об'єднані логічним елементом OR. Якщо хоча б одна помилка активна, або вимкнено дозвіл на роботу xEnable, вмикається таймер TON_CHECK. Якщо несправність триває понад 120 секунд, його вихід Q блокує роботу ПІД-регулятора через вхід RESET блоку регулятора.

#	Address	Name	Installer type	IEC type	Size	Default
1	16384	SetPoint	Signed 16-bit	INT		0
2	16385	ErrorHeating	Signed 16-bit	BOOL		0
3	16386	ErrorValve	Signed 16-bit	BOOL		0
4	16387	ErrorDump	Signed 16-bit	BOOL		0
5	16388	ErrorSensor	Signed 16-bit	BOOL		0
6	16389	ErrorFire	Signed 16-bit	BOOL		0
7	16390	ErrorRecup	Signed 16-bit	BOOL		0
8	16391	Kp	Signed 16-bit	REAL		0
9	16392	Ti	Signed 16-bit	REAL		0
10	16393	xMan	Signed 16-bit	BOOL		0
11	16394	rMan	Signed 16-bit	REAL		0
12	16395	rMin	Signed 16-bit	REAL		0
13	16396	rMax	Signed 16-bit	REAL		0
14	16397		Signed 16-bit	INT		0

Рисунок 4.5 – Перелік використаних змінних

На рисунку 4.5 зображено перелік змінних ПЛК, що записуються в ділянку енергонезалежної пам'яті (EEPROM) для того, щоб при вимкненні живлення значення уставки, параметрів регулятора залишались такими, які були на момент вимкнення.

4.2 Програмування функціональності SCADA-системи

Для розробки SCADA-системи використаємо SCADA-систему Indusoft Web Studio та розробимо там мінімально життєздатний функціонал для керування нашою системою. Було розроблено сторінки авторизації (рис 4.6), мнемосхеми керування (рис 4.7) , логування помилок та подій(рис. 4.8).

Враховуючи те, що у нас це все встановлено на стаціонарному робочому місці, до якого в теорії мають доступ багато людей, було поділено систему на рівні доступу і створено декілька груп користувачів. На рисунку 4.6 зображено сторінку авторизації.

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

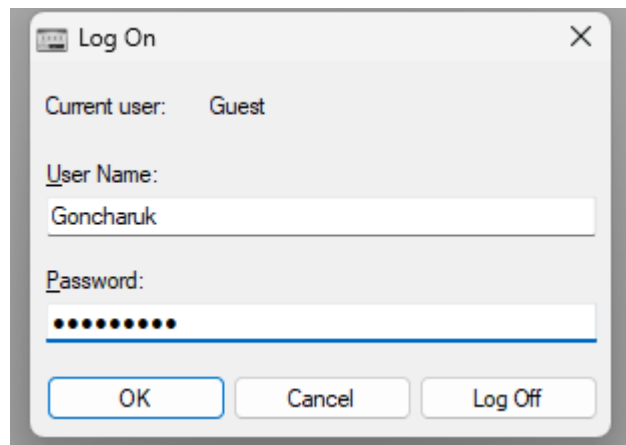


Рисунок 4.6 – Сторінка авторизації

Для зручного керування системою на мнемосхему об'єкту (рисунок 4.7) винесено керування та візуалізація стану усіх пристроїв системи, де в окремих текстових полях відображається поточні параметри, уставки на контури та перемикачі запуску системи.

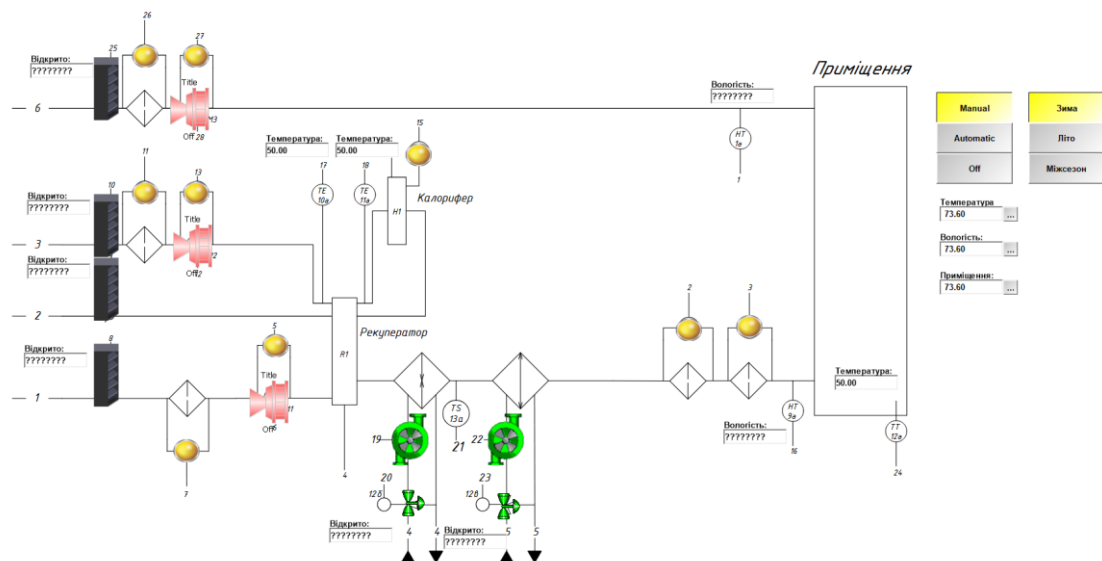


Рисунок 4.7 – Мнемосхема об'єкту

На вікні помилок та подій (рисунок 4.8) зображено 3 вікна, в яких зберігаються поточні аварії, аварії за весь час роботи системи, та події які виникли в системі.

Tag Name	Display ...	Activation TL...	Message	Ack Time	Event Time	Us
WestHeatTag	50	06/07/2025 15:53:35	ErrorSP	▲	06/07/2025 15:53:35	Gr
CVcounter	0	06/07/2025 15:53:35		▲	06/07/2025 15:53:35	Gr
PVcounter	60	06/07/2025 15:53:35	ErrorHeat	▲	06/07/2025 15:53:35	Gr
PVvar	0.000000	06/07/2025 15:53:35		▲	06/07/2025 15:53:35	Gr
PVvar	0.000000	06/07/2025 15:53:35		▲	06/07/2025 15:53:35	Gr

Tag Name	Message	Event Time	User	Value

Рисунок 4.8 – Вікно помилок та подій

РОЗДІЛ 5 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК

5.1 Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ

Імітаційна модель технологічного об'єкта керування (ТОУ) була реалізована із використанням трьох програмних середовищ: CoDeSys, WebStudio та Matlab Simulink. Середовище CoDeSys виконує функцію програмного ПЛК (SoftPLC), де розроблено алгоритми управління технологічним процесом (рисунок 5.1).

Моделювання фізичних характеристик і динамічної поведінки об'єкта здійснюється у Matlab Simulink, що дає змогу з високою точністю відтворювати зміни параметрів у часі.

Для організації зручної взаємодії з оператором та візуалізації процесу застосовано SCADA-систему WebStudio, яка забезпечує графічне представлення даних і інструменти для оперативного керування.

Зв'язок між усіма середовищами реалізовано за допомогою OPC-сервера, що забезпечує двосторонній обмін інформацією та узгоджену роботу компонентів у реальному часі.

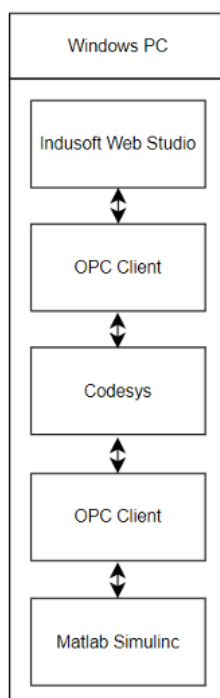


Рисунок 5.1 – Структурна полігону SIL-моделювання

5.2 Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink

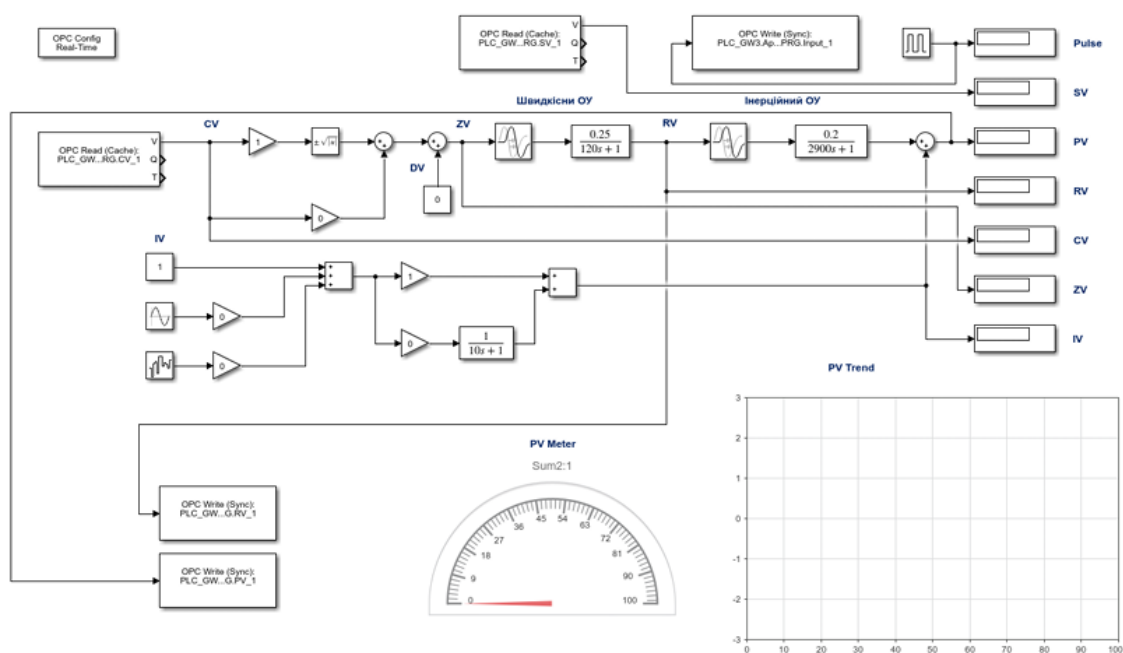


Рисунок 5.2 – Модель універсального ТОВ в СКМ Matlab Simulink

На рисунку 5.2 представлено модель об'єкта управління, реалізовану у середовищі Matlab Simulink. Для забезпечення обміну даними між віртуальним процесом та зовнішніми елементами автоматизації інтегровано блоки “OPC Config”, “OPC Read” та “OPC Write”, які відповідають за конфігурацію, зчитування та передачу даних за протоколом OPC.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

5.3 Реалізація контролерної функціональності САР в софтПЛК

CoDeSys

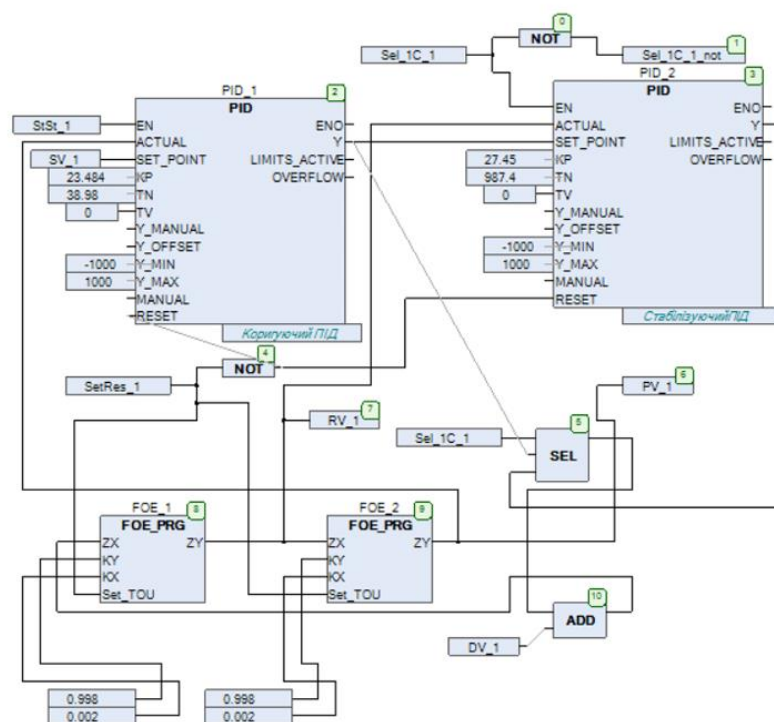


Рисунок 5.3 – Універсальна каскадна АСР в софтПЛК Codesys

Для побудови каскадної структури автоматизованої системи регулювання використано два послідовно з'єднаних регулятори (рисунок 5.3): один виконує функцію коригування, а інший – стабілізації. Перший регулятор генерує керуючий сигнал, який подається на вхід другого регулятора, що забезпечує зменшення впливу зовнішніх збурень та підтримання стійкої роботи системи.

У разі необхідності переходу до одноконтурної схеми управління стабілізуючий регулятор вимикається. У такому режимі управління об'єктом здійснюється виключно за рахунок коригуючого регулятора, який самостійно підтримує задане значення контрольованого параметра.

5.4 Реалізація супервізорної hmi-standard функціональності в HMI/SCADA системі webstudio

Реалізацію функціональності описано в розділі 4.2 поточного документу.

5.5 Реалізація супервізорної MES-Lite функціональності в HMI/SCADA-системі WebStudio

Вікно «Models», зображене на рисунку 5.4, слугує для візуального представлення основних параметрів, які підлягають моніторингу в автоматизованій системі керування. Тут відображаються уставка, фактичне значення контрольованого параметра, вихідний сигнал регулятора та величина керуючого впливу з урахуванням зовнішніх збурень.

Користувач може змінювати налаштування системи в режимі реального часу, що забезпечує адаптацію до змін у процесі. Крім того, реалізовано функцію активації або деактивації регулятора. Усі внесені зміни відображаються у вигляді перехідної характеристики, що дозволяє оперативно оцінити реакцію системи на коригування.

Вікно «Recipes», зображене на рисунку 5.5, призначене для створення, редагування та збереження налаштувань технологічного процесу. Воно надає зручні засоби для роботи з типовими конфігураціями – їх можна легко завантажувати або зберігати, що значно полегшує керування повторюваними виробничими сценаріями.

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

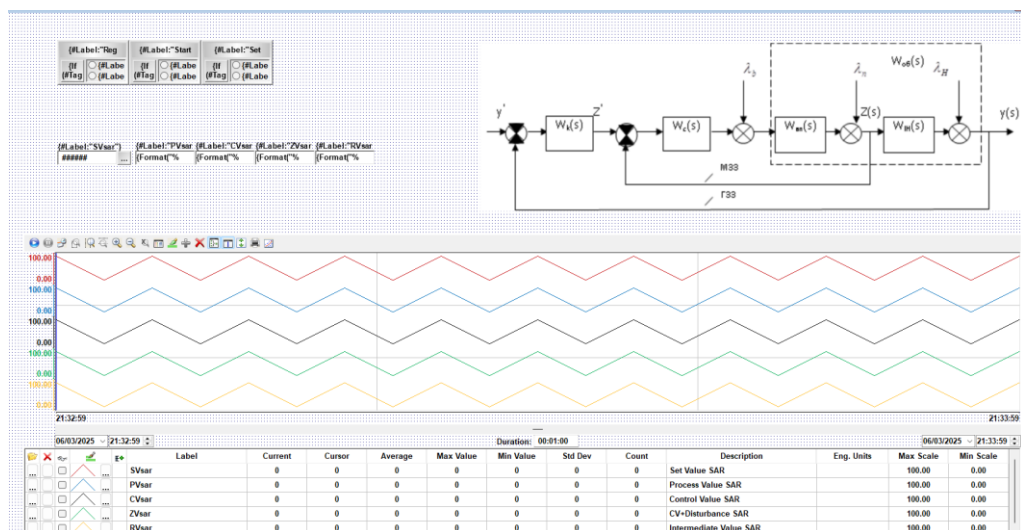


Рисунок 5.4 – Экран «Models»

Class Formula:

Data	Data	Data	Data	Data	Data	Data
MMM 1	MMM 1	MMM 1	MMM 1	MMM 1	MMM 1	MMM 1

Update Formula 1

Save Recipe 1

Load Recipe 1

#Label:"SVvar"
 #####

#Label:"PVcounter"
 (Format:"%0.2-Trunc
 #Decimal:0)~"T", #FlagName:PVcounter

#Label:"Formula.SVvar(MAN)"
 #####

#Label:"Formula.SVcounter(MAN)"
 #####

#Label:"Formula.Name"
 #####

Load Enabled

Exec Enabled

Рисунок 5.5 – Вікно «Recipes»

У системі передбачено спеціальне вікно з назвою «Reports», яке призначене для генерації звітної інформації (рисунок 5.6). Воно надає користувачеві засоби для створення документів, що відображають хід технологічного процесу, зміни параметрів, зафіксовані події та стани обладнання. Сформовані звіти можна переглядати прямо в інтерфейсі програми, а також зберігати у зручному форматі для подальшого аналізу або архівного зберігання.

Create Current RTF Report 1

Append to Current RTF Report 1



(Date)
(Time)

Create Historical CSV Report Trend 1

Requery

(#Label:"HSTreport.StartDate")
#####

(#Label:"HSTreport.StartDate")
#####

(#Label:"HSTreport.StartDate")
#####

(#Label:"HSTreport.StartTime")
#####

(#Label:"HSTreport.StartTime")
#####

(#Label:"HSTreport.StartTime")
#####

(#Label:"HSTreport.Duration")
#####

(#Label:"HSTreport.Duration")
#####

(#Label:"HSTreport.Duration")
#####

ID	Data	Time	SVsar	PVsar	CVsar	ZVsar	RVsar	PVcounter	CVcounter	OEEsar	OTDsar	RMYear	TestAnalTag1	TestAnalTag2
1	MMM 1	MMM 1	MMM 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	MMM 2	MMM 2	MMM 2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	MMM 3	MMM 3	MMM 3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	MMM 4	MMM 4	MMM 4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	MMM 5	MMM 5	MMM 5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	MMM 6	MMM 6	MMM 6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	MMM 7	MMM 7	MMM 7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	MMM 8	MMM 8	MMM 8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	MMM 9	MMM 9	MMM 9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	MMM 10	MMM 10	MMM 10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	MMM 11	MMM 11	MMM 11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	MMM 12	MMM 12	MMM 12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	MMM 13	MMM 13	MMM 13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	MMM 14	MMM 14	MMM 14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
15	MMM 15	MMM 15	MMM 15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
16	MMM 16	MMM 16	MMM 16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	MMM 17	MMM 17	MMM 17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
18	MMM 18	MMM 18	MMM 18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
19	MMM 19	MMM 19	MMM 19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
20	MMM 20	MMM 20	MMM 20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
21	MMM 21	MMM 21	MMM 21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

Рисунок 5.6 – Вікно «Reports»

5.6 Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі

Для проведення випробувань і дослідження систем автоматичного керування без залучення реального обладнання використовуються програмно-апаратні симулятори. Вони дають змогу створювати віртуальні моделі технологічних процесів, відтворювати їхню динаміку в різних умовах, перевіряти функціонування алгоритмів і збирати дані для подальшої оптимізації.

Використання таких симуляторів на етапі розробки дозволяє ефективніше налаштовувати параметри системи та обирати найбільш раціональні методи управління. Це значно зменшує витрати часу й матеріальних ресурсів, необхідних для переходу до реального впровадження.

Крім того, симуляційні середовища забезпечують безпечне випробування конфігурацій і сценаріїв роботи, що виключає ризик пошкодження обладнання. Вони також служать платформою для навчання персоналу: оператори мають змогу практикуватися в умовах, близьких до

реальних, включно з імітацією аварійних ситуацій, що підвищує їхню підготовленість до експлуатації системи (рисунок 5.7).

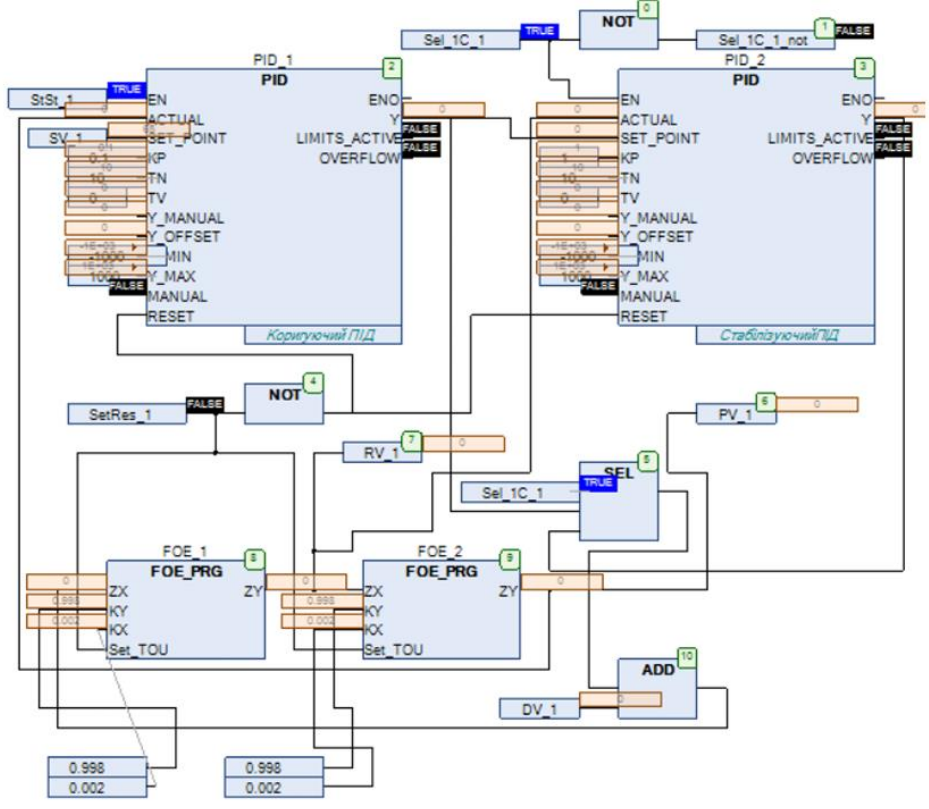


Рисунок 5.7 – CFC-діаграма універсальної каскадної системи регулювання в софтПЛК Codesys

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці - це система заходів, спрямованих на створення безпечних і здорових умов праці під час експлуатації технічних засобів, проведення виробничих процесів та обслуговування обладнання. Стан охорони праці безпосередньо впливає на збереження життя, працездатності персоналу та загальну ефективність функціонування технологічної системи [5].

У контексті автоматизованої системи керування мікрокліматом складського приміщення важливе значення має безпечна експлуатація електрообладнання, систем нагріву, вентиляції, а також забезпечення умов, що виключають виникнення аварійних і пожежонебезпечних ситуацій. Особливу увагу приділено роботі з електрокалориферами, роторними механізмами осушення, вентиляторами та електроприводами, які за певних умов можуть становити джерело підвищеного ризику.

У цьому розділі запропоновано основні технічні й організаційні рішення щодо безпеки експлуатації спроектованої системи, а також визначені основні заходи з електробезпеки, гігієни праці, виробничої санітарії та пожежної безпеки і профілактики. Усі запропоновані заходи базуються на нормативних документах, а також враховують особливості роботи обладнання в замкненому приміщенні складу, де підтримуються специфічні параметри мікроклімату [6][7][8].

6.1. Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації і технологічного устаткування

Автоматизована система керування мікрокліматом складського приміщення включає електрокалорифер, вентилятори, повітряні заслонки, ротор осушувача, датчики температури, вологості та перепаду тиску, а також програмований логічний контролер і SCADA-систему. Враховуючи взаємодію електричних, теплових і рухомих компонентів, у проєкті

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передбачено ряд заходів для забезпечення безпеки під час експлуатації та обслуговування.

Розміщення всього обладнання передбачене в окремому технічному приміщенні із площею не менше 12 квадратних метрів, що дає змогу організувати зручний доступ до основних вузлів для технічного обслуговування. Проходи між агрегатами мають ширину не менше 0,8 метра. На всі двері та люки нанесено відповідні попереджувальні таблички згідно з чинними нормами охорони праці.

Робоче місце оператора розташоване у відокремленій диспетчерській зоні, обладнаній персональним комп'ютером із встановленою SCADA-системою. Приміщення має природне освітлення, вентиляцію, неслизьку підлогу та забезпечує умови відповідно до вимог ДСТУ ISO 9241-1:2003[7]. Робоче місце дозволяє вести моніторинг температури, вологості, стану виконавчих механізмів, переглядати архівні дані та змінювати уставки без фізичного втручання в технологічний процес.

Виконавчі механізми - вентилятори, ротор, електроприводи заслонок - встановлено у металевих корпусах із захистом від випадкового контакту із струмовідними частинами. Електрокалорифер керується через широтно-імпульсну модуляцію з контролем температури вихідного повітря. При перевищенні критичного значення система зупиняє подачу живлення на нагрівальний елемент, що знижує ризик перегріву або займання.

Усі виконавчі пристрої оснащено термозахистом та функціями аварійної зупинки. Для запобігання перегріву передбачено автоматичну продувку калорифера після його вимкнення. Повітряні заслонки повертаються в безпечне положення у разі аварійного відключення живлення.

У разі технічного обслуговування система переводиться в режим ручного управління через SCADA. Передбачено захист від несанкціонованого доступу до інтерфейсу системи, а також

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

попереджувальне візуальне та звукове оповіщення про виконання ремонтних робіт. Доступ до електрообладнання дозволений лише персоналу, який пройшов інструктаж з електробезпеки та має відповідну кваліфікацію.

6.1.1. Електробезпека

Система автоматизованого керування мікрокліматом складського приміщення включає велику кількість електротехнічного обладнання: електрокалорифер, частотні перетворювачі, вентилятори, мотор-редуктор ротора, електроприводи заслонок, датчики з аналоговим виходом, програмований логічний контролер та SCADA-комплекс. Усі ці пристрої працюють на напругах 24, 230 та 400 вольт, що вимагає суворого дотримання вимог з електробезпеки.

Приміщення, в якому встановлено обладнання, має підвищену пожежо- і електробезпеку через наявність струмовідних елементів ЕУ, рухомих вузлів і джерел тепла. Згідно з класифікацією ДСТУ 7237:2011[8], такі умови потребують додаткових захисних заходів.

У проєкті передбачено реалізацію наступних технічних рішень:

- Використання електропроводки з подвійною ізоляцією, прокладеної в гофротрубі або кабель-каналах з негорючого матеріалу.
- Усі металеві корпуси приладів, включаючи частотні перетворювачі, щит керування, калорифер і мотор-редуктор ротора, приєднані до заземлювальної шини, підключеної до контуру захисного заземлення.
- Щит керування та електричні шафи виконано в захищеному виконанні зі ступенем IP54.
- На вводах застосовано автоматичні вимикачі з вбудованим тепловим і струмовим захистом, а також пристрої захисного вимкнення (ПЗВ) з номінальним струмом спрацювання не більше 30 мА.
- Усі кабельні вводи до щита ущільнено, на дверцятах щита передбачено блокування відкривання під напругою.

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Вентилятори, двигуни й калорифер обладнано аварійним захистом від перегріву та короткого замикання.

Для персоналу передбачено використання діелектричних засобів захисту: рукавичок, калош, інструменту з ізольованими рукоятками. Робоча зона біля щита обладнана гумовим діелектричним килимком.

Усі засоби електрозахисту мають бути в справному стані та підлягають перевірці згідно з внутрішнім регламентом. Перевірка опору заземлення виконується не рідше одного разу на три роки. Контроль ПЗВ здійснюється щомісяця за допомогою кнопки тестування.

Під час ремонтних робіт обладнання переводиться в знеструмлений стан, про що оператору повідомляється через SCADA-інтерфейс. Роботи виконуються тільки персоналом, який має посвідчення з електробезпеки відповідної групи.

6.2. Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії.

Забезпечення безпечних та комфортних умов праці є важливим аспектом експлуатації автоматизованої системи керування мікрокліматом складського приміщення. Робота обслуговуючого персоналу передбачає періодичний моніторинг параметрів у SCADA-системі, виконання профілактичного обслуговування та перевірку стану електрообладнання.

Робоче місце оператора розміщено у відокремленій диспетчерській кімнаті, в якій встановлено персональний комп'ютер з моніторинговим програмним забезпеченням. Приміщення обладнано природним освітленням, вентиляцією, обігрівом, неслизькою антистатичною підлогою, а також ергономічним робочим місцем. Усі елементи (монітор, стіл, крісло) відповідають вимогам ДСТУ ISO 9241-1:2003 до взаємодії людини з комп'ютерною технікою.

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Температура в диспетчерській підтримується в межах 18–22 °С у холодну пору року та 20–24 °С у теплу. Вологість не перевищує 60 %, швидкість руху повітря не перевищує 0,3 м/с, що відповідає вимогам ДСН 3.3.6.042-99[10] для умов легкої фізичної праці (категорія Іб).

Технічне приміщення, де розміщено осушувач, електрокалорифер, вентилятори та електрообладнання, періодично відвідується для огляду і обслуговування. У даному приміщенні забезпечено загальнообмінну вентиляцію, яка виключає накопичення вологи, пилу або теплового перевантаження. У разі перевищення температури або вологості система автоматично сигналізує про це через SCADA-інтерфейс.

Підлога технічного приміщення виконана з неслизького матеріалу, стіни пофарбовані в світлі тони, забезпечено вільний доступ до щитів і вузлів обслуговування. Система освітлення забезпечує на робочих місцях рівень не менше 200 лк, що відповідає нормам для технічних приміщень.

Для профілактики захворювань і перевтоми передбачено:

- обмеження тривалості роботи за комп'ютером згідно з вимогами охорони праці;
- перерви кожні 2 години по 10–15 хвилин;
- використання налаштованих моніторів з правильною яскравістю та кутом огляду.

Таким чином, умови праці оператора та персоналу, що обслуговує систему, відповідають чинним санітарно-гігієнічним та ергономічним вимогам, що створює безпечне середовище для ефективного виконання професійних обов'язків.

6.2.1. Мікроклімат робочої зони

Параметри мікроклімату відіграють ключову роль у забезпеченні нормальної працездатності та самопочуття персоналу. У системі керування мікрокліматом складського приміщення основним робочим середовищем є

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

диспетчерська зона, де оператор здійснює спостереження за параметрами системи за допомогою SCADA-системи, а також технічне приміщення, яке відвідується періодично для обслуговування обладнання.

Робоче місце оператора відноситься до категорії Іб за ДСН 3.3.6.042-99[10], що включає легку розумову та малорухливу діяльність. Для таких умов встановлено наступні нормативні значення мікроклімату:

Таблиця 6.1 Оптимальні параметри повітряного середовища

Пора року	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	19-23	45-70	0,2-0,4
Теплий	21-25	45-70	0,2-0,5

У диспетчерській кімнаті підтримується стабільна температура в межах 21–22 °C, вологість 45–55 %, забезпечено приплив свіжого повітря через вентиляційні отвори або провітрювання. Оснащення комп'ютерного місця передбачає мінімізацію теплового навантаження від обладнання, уникнення локального перегріву та надмірної сухості повітря.

У технічному приміщенні, де встановлено електрокалорифер, вентилятори та ротор осушувача, мікрокліматичні умови змінні. Температура може тимчасово перевищувати комфортні значення через роботу нагрівального елемента, однак система вентиляції забезпечує ефективне видалення надлишкового тепла. Вологість у приміщенні знижується завдяки роботі осушувача, тому в середньому становить 30–40 %.

Встановлені датчики температури й вологості дозволяють здійснювати безперервний моніторинг мікроклімату, дані передаються на SCADA-систему, що дозволяє вчасно реагувати на відхилення від норми.

6.2.2. Склад повітря робочої зони

Якість повітря у приміщеннях, де розміщено обладнання автоматизованої системи осушення та місце роботи оператора, має суттєве значення для здоров'я персоналу та надійної роботи системи. Відповідно до вимог ДСТУ EN 482:2022, повітря у робочій зоні не повинно містити шкідливих домішок у концентраціях, що перевищують гранично допустимі рівні.

У технічному приміщенні основними потенційними забруднювачами є:

- пил, що може потрапляти з повітряних фільтрів при обслуговуванні;
- продукти перегріву електрообладнання при несправності;
- тепле, осушене повітря з підвищеним рівнем озону, якщо використовується УФ-дезінфекція (опційно).

Для запобігання перевищенню концентрацій шкідливих речовин у повітрі реалізовано такі заходи:

- очищення повітря фільтрами тонкого очищення на вході в установку;
- організація повітрообміну за допомогою примусової вентиляції;
- регулярне прибирання приміщення для зменшення пилоутворення;
- контроль перепаду тиску на фільтрах за допомогою датчиків, що сигналізують про їх засмічення.

Згідно з даними датчиків вологості й температури, які передають інформацію до SCADA, повітря в технічному приміщенні має низький вміст водяної пари (30–40 % RH), не має запахів, а температура залишається в межах допустимих значень. При виявленні порушень у вентиляції або перегріву обладнання система подає сигнал оператору.

У диспетчерській кімнаті склад повітря є наближеним до природного. Приміщення обладнане вентиляційною решіткою або можливістю провітрювання. Пил, запахи та продукти згоряння відсутні, а рівень CO₂ не

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевищує допустимих значень, що виключає потребу в додаткових системах очищення.

6.2.3. Виробниче освітлення

Раціонально організоване освітлення є важливою умовою безпечної та ефективної праці персоналу в системах автоматизації. У проєкті передбачено освітлення двох зон: диспетчерської кімнати, де оператор керує системою за допомогою SCADA, та технічного приміщення, де розміщено адсорбційний осушувач, калорифер, вентилятори, приводи заслонок та контрольно-вимірювальні прилади.

У диспетчерській кімнаті реалізовано комбіноване освітлення: природне та штучне. Природне освітлення забезпечується через віконний проріз. Штучне освітлення побудовано на основі світлодіодних світильників, розміщених над робочою зоною. Світловий потік орієнтований так, щоб уникати відблисків на моніторі та зменшити навантаження на зір оператора. Освітленість на рівні столу становить не менше 300–500 лк, що відповідає вимогам до роботи з дисплеями згідно з ДСТУ ISO 9241-1:2003[7] та ДБН В.2.5-28:2018[10].

У технічному приміщенні використовується суцільне штучне освітлення на базі волого- і пилозахищених світлодіодних приладів із класом захисту не нижче IP54. Освітлення організовано рівномірно, щоб виключити зони тіней або недостатньої видимості біля щитів, вентиляційних вузлів і трубопроводів. Рівень освітленості в зоні обслуговування обладнання становить не менше 200 лк. У разі відключення основного живлення передбачено аварійний світильник над виходом з приміщення.

Усі світильники мають надійне кріплення та розташовані на висоті понад 2,3 метра. Управління освітленням здійснюється через автоматичні вимикачі, встановлені біля входу до кожного приміщення. Резервне

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						83
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

живлення аварійного освітлення виконується від автономного джерела з контролем заряду.

Таким чином, організація освітлення відповідає вимогам ергономіки, безпеки та зорового комфорту, що створює умови для повноцінного контролю за технологічним процесом і надійного обслуговування обладнання.

6.3. Пожежна безпека та профілактика

6.3.1. Технічні рішення системи запобігання пожежі

У системі керування мікрокліматом складського приміщення використовується обладнання, що працює під електричним навантаженням і пов'язане з нагріванням повітря. Зокрема, електрокалорифер, двигуни вентиляторів, мотор-редуктор ротора та частотні перетворювачі є потенційними джерелами нагріву і можуть створювати умови для займання у разі несправностей або порушення режиму роботи. У зв'язку з цим, проєктом передбачено низку технічних заходів, які запобігають виникненню пожежонебезпечних ситуацій.

Технічне приміщення, де розміщується основне обладнання, класифікується як пожежонебезпечне середовище категорії В згідно з ДБН В.1.1-36:2016[11], оскільки можливе накопичення пилу, перегрів елементів та іскріння при короткому замиканні.

Для запобігання пожежі реалізовано такі рішення:

- Температурний контроль на виході з електрокалорифера. У разі перевищення заданої температури система автоматично вимикає нагрівальний елемент та активує продувку для охолодження.
- Контроль справності вентиляторів регенерації та припливу. При зупинці вентиляторів автоматично припиняється нагрів, щоб уникнути перегріву повітряного потоку.
- Контроль фільтрів по перепаду тиску. Засмічення фільтра створює підвищений опір, що може призвести до локального нагріву та

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перегріву двигунів. У разі виявлення перевищення тиску система формує сигнал тривоги та зупиняє процес.

- Плавне керування через частотні перетворювачі з обмеженням струму та захистом від перенапруги.
- Усі кабелі прокладені в негорючих каналах з вогнестійкою ізоляцією. Проходи через стіни герметизовані жаростійкими ущільнювачами.

Крім технічних рішень, на видимому місці розміщено табличку з категорією пожежної небезпеки та план дій у разі пожежі. Регламент обслуговування передбачає щомісячну перевірку стану кабелів, елементів живлення та функціональних блоків, що нагріваються. Приміщення очищається від пилу не рідше одного разу на тиждень.

6.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Наявність електрокалорифера, двигунів вентиляторів, електроприводів та іншого ЕУ у складі системи осушення повітря створює потенційно пожежонебезпечні умови. Тому в проєкті передбачено реалізацію технічних рішень для активного протипожежного захисту, які відповідають вимогам НАПБ А.01.001-2014[12] та ДБН В.2.5-56:2014.[13]

У технічному приміщенні, де встановлено обладнання, реалізовано такі заходи:

- Система пожежної сигналізації, яка базується на встановлених теплових сповіщувачах. У разі перевищення температури повітря у приміщенні вище допустимого порогу формується тривожний сигнал, що передається на SCADA-систему.
- Функція аварійного вимкнення системи: при спрацюванні сигналізації здійснюється автоматичне відключення живлення електрокалорифера, вентиляторів та приводу ротора. Такий захід унеможливорює подальше нагрівання або циркуляцію повітря, що вже має підвищену температуру.

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						85
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Наявність автономного оповіщення - встановлено світловий і звуковий сигналізатор, що активується при спрацюванні датчика пожежі.

Для оперативного реагування персоналу в приміщенні передбачено засоби первинного пожежогасіння:

- вуглекислотний вогнегасник (ВВК-3,5) - для гасіння електроустановок без ризику пошкодження обладнання;
- порошковий вогнегасник (ВП-5) - для гасіння вогню на поверхнях корпусів і кабельних трас;
- усі вогнегасники мають маркування, кріплення на висоті 1,2 м та перевіряються згідно з графіком.

Також реалізовано:

- ізоляцію електропроводки в жаростійких кабель-каналах;
- ущільнення проходів кабелів крізь стіни та стелю за допомогою протипожежних герметиків;
- захист SCADA-системи і ПЛК від перевантаження та короткого замикання, а також встановлення ПЗВ.

У разі знеструмлення або виходу з ладу основної автоматики обладнання переходить у безпечний стан, при якому припиняється нагрів, обертання вентилятора й ротора, а всі повітряні заслонки переходять у закрите положення.

6.3.3. Пожежна профілактика

Пожежна профілактика в системах автоматизованого керування є комплексом заходів, спрямованих на запобігання виникненню та поширенню пожежі, особливо в умовах експлуатації обладнання з нагрівальними елементами та електроприводами. Система осушення повітря складського приміщення передбачає роботу електрокалорифера, мотор-редуктора ротора, вентиляторів і частотних перетворювачів, що вимагає підвищеної уваги до організаційних заходів безпеки.

У проекті реалізовано такі профілактичні дії:

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						86
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Регулярне обслуговування нагрівального елемента, зокрема перевірка стану ізоляції, контактів, термозахисту, зчитування показників температури до і після калорифера. При виявленні відхилень обладнання автоматично зупиняється.
- Очищення вентиляційних каналів і фільтрів, що забезпечує нормальний повітрообмін і виключає локальне перегрівання або накопичення пилу, який може бути джерелом займання.
- Щомісячна перевірка стану пожежних сповіщувачів і працездатності автоматичного відключення обладнання при спрацюванні сигналізації.
- Ведення журналу технічного обслуговування, у якому фіксуються дати перевірок, стан захисних елементів, вогнегасників та результат візуального контролю.

Організаційні заходи включають:

- інструктаж персоналу з питань пожежної безпеки;
- наявність плану евакуації, вивішеного біля входу в технічне приміщення;
- наявність чітко позначених вогнегасників, перевірених і придатних до використання.

Програмно реалізовано захист від неправильних дій оператора: наприклад, запуск осушення без умови на вентиляцію або перевищення температури одразу блокується системою керування. Усі аварійні сигнали журналюються та фіксуються на SCADA.

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						87
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Для виконання економічного обґрунтування було зібрано інформацію про вартість окремих компонентів обладнання, що використовувалися в даному проєкті. На основі отриманих даних розраховано загальну вартість апаратної частини системи. Детальний кошторис представлено у таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Кошторис обладнання

№	Назва обладнання	Одиниці вимірювання	Кількість	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
1	Програмований логічний контролер TM172PDG28S	шт.	1	21849	21849
2	Датчик вологості SH-02 (0–10 В)	шт.	3	5600	16800
3	Датчик вологості SH-03	шт.	2	6000	12000
4	Датчик перепаду тиску ДТВ 500	шт.	8	2711	21688
5	Термостат F-3000	шт.	2	700	1400
6	Датчик температури НТФ9012.150 (Pt1000)	шт.	2	350	700
7	Регулятор потужності Вентс РНС-16	шт.	1	11374	11374
8	Частотний перетворювач 0.37 кВт (ATV12H037M2)	шт.	1	9448	9448
9	Блок живлення Meanwell HDR-60-24	шт.	1	880	880
10	Автоматичний вимикач MCN340 C 40 А	шт.	1	715	715
11	Автоматичний вимикач MBN102 В 2 А	шт.	6	300	1800
12	Автоматичний вимикач MBN325 В 25 А	шт.	1	796	796
13	Вентилятор 320 Вт, 2050 м³/год	шт.	3	8620	25860

Кінець таблиці 7.1

14	Виконавчий механізм LM230A	шт	3	5006	15018
15	Щит ЩШМ-II-800х500х250 IP66	шт	1	6120	6120
16	Кабель-канал перфорований 25×40 мм	шт	2	270	540
17	DIN-рейка 7.5×35 мм	шт	2.5	75	187,5
18	Клеми силові max 4 мм ²	шт	36	100	3600
19	Клеми контрольні max 1.5 мм ²	шт	45	35	1575
20	Шина РЕ, max 4 мм ²	шт	1	80	80
21	ВВГ-НГ (LS) 5×4 мм ²	м	100	160	16000
22	ВВГ-НГ (LS) 4×1.5 мм ²	м	100	48	4800
23	ВВГ-НГ (LS) 4×2.5 мм ²	м	100	74	7400
24	ВВГ-НГ (LS) 2×1.5 мм ²	м	300	26	7800
25	ВВГ-НГ (LS) 3×1.5 мм ²	м	300	45	15000
26	КВВГнг 2×1.5 мм ²	м	500	31	15500
27	КВВГнг 3×1.5 мм ²	м	200	30	6000
28	Провід ПВ-1 2.5 мм ²	м	70	20	1400
29	Провід ПВ-3 1.5 мм ²	м	50	9	450
30	Провід ПВ-1 4 мм ²	м	20	31	620
Всього			227213		

Прийmemo термін окупності системи як 5 років, розрахуємо капітальну вартість впровадження АСК.

$$\Delta K_{\text{авт}} = V_{\text{об}} + V_{\text{пр}} + V_{\text{т}} + V_{\text{м}} + V_{\text{пн}}$$

Розрахуємо допоміжні витрати:

Проектування прийmemo на рівні 5% від загальної вартості:

$$V_{\text{пр}} = 227213 * 0.05 = 11361 \text{ грн}$$

Транспортування прийmemo на рівні 3% від загальної вартості:

$$V_{\text{пр}} = 227213 * 0.03 = 6816 \text{ грн}$$

Монтаж системи прийmemo на рівні 20% від загальної вартості:

$$B_M = 227213 * 0.2 = 45443 \text{ грн}$$

Витрати на проведення пуско-налагоджувальних робіт приймемо на рівні 10% від загальної вартості:

$$B_{\text{пр}} = 227213 * 0.1 = 22712 \text{ грн}$$

Тоді капітальна вартість:

$$\Delta K_{\text{авт}} = 227213 + 11361 + 6816 + 45443 + 22712 = 313554 \text{ грн}$$

Розрахуємо економію витрат після впровадження за наступними формулами:

$$\Delta U = E_K - \Delta B_{\text{авт}},$$

$$\Delta B_{\text{авт}} = B_e + B_a + B_p + B_z,$$

Витрати на електроенергію:

$$B_e = C_e * T * N = 6.53 * 2500 * 7 = 114275 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

Витрати на реновацію:

$$B_a = 0,15 * \Delta K_{\text{авт}} = 0,15 * 313554 = 47033 \text{ грн}$$

Витрати на ремонт:

$$B_p = 0,15 * \Delta K_{\text{авт}} = 0,15 * 313554 = 47033 \text{ грн}$$

Витрати на ЗП:

$$B_{\text{зп}} = B_z * T * n = 13000 * 8 * 2 = 208000 \text{ грн}$$

$$\Delta B_{\text{авт}} = 114275 + 47033 + 47033 + 208000 = 416341 \text{ грн}$$

Розрахуємо економічний ефект E_Φ :

Приймемо E_K 600000 грн, оскільки можемо вивільнити 1 штатну особу, у зв'язку з високим рівнем автоматизації, тоді:

$$E_\Phi = \Delta U - E_H * \Delta K_{\text{авт}} = (600000 - 416341) - 0,15 * 313554 = 136626 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

Розрахуємо термін окупності АСР:

$$\Delta T_{\text{ок}} = \frac{\Delta K_{\text{авт}}}{\Delta U} = \frac{313554}{136626} = 2,29 \text{ року}$$

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						90
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки розрахований строк окупності складає близько 2,3 років і не перевищує допустимого граничного значення, впровадження системи автоматизації є економічно обґрунтованим та доцільним з точки зору ефективності витрат.

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						91
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У межах дипломного проєкту було розроблено автоматизовану систему керування мікрокліматом складського приміщення з використанням адсорбційного осушувача повітря. Система забезпечує підтримання нормативного рівня вологості та температури в приміщенні незалежно від зовнішніх кліматичних умов, що є критичним для збереження якості продукції та забезпечення належних санітарних умов на складі.

У процесі проектування було здійснено:

- формування технічних вимог до системи;
- структурно-функціональне моделювання об'єкта в середовищі Matlab Simulink;
- розробку алгоритмів керування у EcoStruxure Machine Expert HVAC;
- реалізацію візуалізації та HMI у SCADA-середовищі WebStudio.

Об'єкт автоматизації включає фільтри з датчиками тиску, систему вентиляції, адсорбційний роторний осушувач, електричний та водяний калорифер та охолоджувач, а також щит керування з ПЛК і комплектом виконавчих механізмів. Основу технології становить процес осушення повітря шляхом адсорбції водяної пари та подальшої регенерації адсорбенту нагрітим повітрям.

На етапі моделювання перехідних процесів було обґрунтовано вибір експрес-методу Chien et al. (1952) (метод 2), який продемонстрував найкращі характеристики за критерієм перерегулювання у каналі "завдання–вихід".

Проведено техніко-економічне обґрунтування впровадження системи. Загальна капітальна вартість становить 313 554 грн, а щорічна економія експлуатаційних витрат – 136 626 грн, що дозволяє досягти терміну окупності 2,3 роки. Це значно нижче за умовно встановлений граничний термін, отже, впровадження системи є економічно доцільним та ефективним.

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						92
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила виконання дипломного проєкту бакалавра. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ВО рівня «бакалавр» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», ОПП «Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології кібер-енергетичних систем» / Т.Г. Баган, С.Г. Батюк, П.В. Гікало, С.В. Любицький, О.В. Некрашевич; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 0,6 МБайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 62 с.
2. Теорія автоматичного управління: Навчальний посібник [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології», освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»; уклад.: О. Й. Штіфзон, П. В. Новіков, В.П. Бунь. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 144 с.
3. Технічні засоби автоматизації [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”, освітньо-професійна програма “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем” / Укладач: І.М. Голінко, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,2 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 63 с.
4. TM172PDG42R - Modicon M172 Performance Display 42 I/Os, Ethernet, Modbus | Schneider Electric. Schneider Electric Global | Global Specialist in Energy Management and Automation. URL: <https://www.se.com/ua/uk/product/TM172PDG42R/modiconm172-performance-display-42-i-os-ethernet-modbus>
5. Автоматика і автоматизація систем теплогазопостачання і вентиляції: Підр. Для вузів / А.А. Калмаков, Ю.Я. Кувшинов, С.С. Романова, С.А. Щелкунов; Під.ред. В.Н. Богословського. М.: Будвидат, 1986. 479 с.

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						93
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Hahn J. Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules By Aidan O'Dwyer. Published by Imperial College Press, 186094342X. Journal of Process Control. 2004. Т. 14, № 5. С. 591. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2004.01.007>
7. ДСТУ ISO 9241-1:2003 – Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі.
8. ДСТУ 7237:2011 – Безпечність електроустановок. Класифікація середовищ за електронезбезпекою.
9. ДСН 3.3.6.042-99 – Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
10. ДБН В.2.5-28:2018 – Природне і штучне освітлення.
11. ДБН В.1.1-36:2016 – Визначення категорій приміщень, будівель та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
12. ДБН В.2.5-56:2014 – Системи протипожежного захисту.
13. НАПБ А.01.001-2014 – Правила пожежної безпеки в Україні.

					ТА-12407.007.001.АТХ.П	Лист
						94
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		