

**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: «Автоматизація системи вентиляції закладу харчування»

Виконав:

студент IV курсу, групи ТА-11

Путро Дар'я Дмитрівна

Керівник:

Доцент, к.т.н.

Штіфзон Олег Йосипович

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

Путро Дар'я Дмитрівна

1. Тема проєкту «Автоматизація системи вентиляції закладу харчування», керівник проєкту асистент, Штіфзон Олег Йосипович, затверджені наказом по університету від 02 червня 2025 року № 1875-с
2. Термін подання студентом проєкту «10» червня 2025р.
3. Вихідні дані до проєкту : Система приточно-витяжної вентиляції в кафе «Марія» в м. Києві, площа 100м², вентиляція приміщень залу та кухні
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	12.04.2024	
2	Проектування АСУТП	21.04.2024	
3	Інженерний розрахунок САР	27.04.2024	
5	Опис графічної частини проєкту	03. 05.2024	
6	Програмування ПТКЗА	18. 05.2024	
7	Імітаційне моделювання АТК	19. 05.2024	
8	Охорона праці, Техніко-економічний розрахунок	24.05.2024	
9	Висновки	28.05.2024	
10	Список використаних джерел	30.05.2024	
11	Нормконтроль		
12	Попередній захист дипломного проєкту		
13	Захист		

Студент

Керівник

Дар'я ПУТРО

Олег ШТІФЗОН

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт присвячено розробці автоматизованої системи керування припливно-витяжною вентиляцією у закладі харчування. Метою є забезпечення стабільного мікроклімату приміщень з урахуванням санітарно-гігієнічних норм. У системі реалізовано регулювання температури повітря та концентрації CO², а також контроль за станом фільтрів і вентиляційного обладнання.

Проєкт містить опис технічних характеристик об'єкта, вибір датчиків та виконавчих механізмів, розробку структурної та електричної схем автоматизації. Всі функції керування реалізовано на базі ПЛК з візуалізацією у SCADA-системі. Проведено моделювання роботи системи та перевірку її надійності. Встановлено, що автоматизована система забезпечує ефективну та енергоощадну вентиляцію приміщення.

Ключові слова: вентиляція, автоматизація, мікроклімат, SCADA, ПЛК, заклад харчування

ANNOTATION

The diploma project is devoted to the development of an automated control system for supply and exhaust ventilation in a food service facility. The goal is to maintain a stable indoor microclimate in accordance with sanitary and hygienic standards. The system implements air temperature and CO² control, as well as monitoring of filters and ventilation equipment.

The project includes a description of the technical parameters of the object, selection of sensors and actuators, development of the structural and electrical automation diagrams. All control functions are implemented using a PLC with visualization via a SCADA system. The system's operation was simulated and tested for reliability. It was found that the automated system ensures efficient and energy-saving ventilation of the premises.

Keywords: ventilation, automation, microclimate, SCADA, PLC, food facility.

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
ПЗ	– пояснювальна записка
ПІД	– пропорційно-інтегрально-диференціальний
ПЛК	– програмований логічний контролер
ПТЗ	– програмно-технічні засоби
ПТКЗА	– програмно-технічний комплекс засобів автоматизації
РАФХ	– розширена амплітудо-фазова характеристика
РВК	– регулювально-виконавчий канал в складі РВС
РВС	– регулювально-виконавча система АСУТП
РО	– регулюючий орган
САР	– система автоматичного регулювання
СКМ	– система комп'ютерної математики
ТОУ	– технологічного об'єкту управління
ЧП	– частотний перетворювач
ЦАП	– цифро-аналоговий перетворювач
HMI	– human-machine interface, людино-машинний інтерфейс
PLC	– programmable logic controller, програмований логічний контролер
SCADA	– supervisory control and data acquisition, диспетчерське управління і збір даних

ЗМІСТ

Вступ	9
РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП	11
1.1 Характеристика технологічного об'єкта управління	11
1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТОУ	12
1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОУ	15
1.4 Функції АСУТП	17
1.5 Схема автоматизації функціональна	18
1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу	21
1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОУ	24
РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР.....	27
2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР.....	27
2.2 Інженерний розрахунок регулювально-виконавчих каналів САР	34
2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР	34
Розділ 3 опис графічної частини проекту.....	55
3.1 Схема функціональна автоматизації ТОУ	55
3.2 Схема структурна ПТК.....	55
3.3 Схема принципова електрична	55
3.4 Креслення загального виду щита.....	56
3.5 Схема зовнішніх з'єднань	57

						ТА-11386.0011.002.АТХ.П			
Зм.	Кільк.	Ар	№	Підпис	Дата				
Розроб.		Путро Д.Д.				Автоматизація системи вентиляції закладу харчування	Стадія	Аркуш	Акрушів
Перевір.		Штіфзон О.Й.					ДП	1	89
Т. контр.							НТУУ "КПІ", НН ІАТЕ, ТА-11		
Н. контр.		Штіфзон О.Й.							
Затвердив		Волощук В.А.							

3.6	Схема монтажна щита	58
3.7	Специфікація обладнання.....	59
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА		61
4.1	Програмування функціональності ПЛК	61
4.2	Програмування функціональності SCADA-системи	62
РОЗДІЛ 5 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК		65
5.1	Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОВ	65
5.2	Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink.....	66
5.3	Реалізація контролерної функціональності САР в софтПЛК CoDeSys	66
5.4	Реалізація супервізорної HMI-Standard функціональності в HMI/SCADAсистемі WebStudio.....	66
5.5	Реалізація супервізорної MES-Lite функціональності в HMI/SCADA-системі WebStudio	67
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ		68
6.1.	Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації і технологічного устаткування.....	69
6.2.	Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії.	73
6.3.	Пожежна безпека та профілактика	77
Розділ 7 техніко-економічний розрахунок.....		82
Висновки		86
Список використаних джерел		88

ВСТУП

Системи вентиляції відіграють ключову роль у забезпеченні санітарно-гігієнічних та комфортних умов у приміщеннях різного призначення, особливо в закладах громадського харчування. У таких приміщеннях концентрація вологи, тепла, вуглекислого газу та інших побічних продуктів діяльності значно перевищує типові побутові показники, що вимагає організації надійного та контрольованого повітрообміну. Порухення режимів вентиляції може призвести не лише до зниження якості обслуговування клієнтів, але й до порушень норм охорони праці, санітарних правил та правил експлуатації кухонного обладнання.

У сучасних умовах енергоощадності та автоматизації особливої актуальності набуває впровадження автоматизованих систем управління вентиляцією (АСУТП). Завдяки застосуванню програмованих логічних контролерів, сенсорики, виконавчих механізмів і засобів візуалізації, система може не лише підтримувати необхідні параметри повітря в автоматичному режимі, а й реагувати на змінні умови (температура зовнішнього повітря, кількість людей у приміщенні тощо), оптимізуючи роботу обладнання й мінімізуючи енергоспоживання.

Об'єктом автоматизації у даному дипломному проєкті є система вентиляції закладу громадського харчування, розміщеного в багатоповерховій будівлі. Приміщення передбачає наявність зони для відвідувачів, кухні та підсобних приміщень, що формує складний мікроклімат та вимагає постійного повітрообміну. Для цього передбачено використання припливно-витяжної вентиляційної установки з водяним калорифером та охолоджувачем, частотними перетворювачами на вентиляторах, фільтрами та повітряними заслінками.

Завданням автоматизації є реалізація функцій стабілізації температури та якості повітря за допомогою трьох одноконтурних систем автоматичного регулювання:

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- за температурою припливного повітря (режими нагріву та охолодження);
- за концентрацією CO₂ (регулювання об'єму повітря).

Також система виконує захисні функції (контроль обмерзання, перепаду тиску на фільтрах) та інформаційні (виведення параметрів на НМІ або SCADA, архівація даних, сигналізація аварій) [1].

Метою дипломного проєкту є розробка техно-робочого проєкту автоматизованої системи управління вентиляцією закладу харчування, що забезпечує комфортний мікроклімат, енергоефективність та надійність роботи системи у будь-який сезон.

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП

1.1 Характеристика технологічного об'єкта управління

Об'єктом автоматизації є система вентиляції з припливно-витяжною установкою, яка обслуговує типовий заклад громадського харчування, розташований у багатоповерховій будівлі. Площа приміщення становить близько 100 м². Враховуючи наявність кухонного обладнання, відвідувачів і змінне теплове навантаження, виникає потреба в постійній подачі свіжого повітря, видаленні відпрацьованого повітря та підтриманні комфортних умов у приміщенні за будь-яких погодних умов.

Система вентиляції реалізована на основі припливно-витяжної установки з рекуперацією тепла, водяним калорифером для нагріву повітря та водяним охолоджувачем для його охолодження. Таким чином, установка забезпечує повноцінну обробку повітря: фільтрацію, нагрів або охолодження, подачу в приміщення та видалення забрудненого повітря через витяжну частину. Рециркуляція не передбачена.

До складу технологічного об'єкта входять такі основні елементи: припливний і витяжний вентилятори, водяний нагрівач (калорифер), водяний охолоджувач, фільтри, електроприводи повітряних заслінок, а також набір контрольно-вимірювальних приладів. Система оснащена датчиками температури (припливного, витяжного, зовнішнього повітря), датчиком концентрації CO₂, а також диференційними датчиками тиску для моніторингу стану фільтрів. Наявний також термостат захисту від замерзання, встановлений на калорифері.

Установка працює в автоматичному режимі відповідно до заданих уставок і значень параметрів, отриманих з датчиків. Управління температурою припливного повітря здійснюється через регулювання витрати гарячої або холодної води у відповідні теплообмінники. При цьому перемикання між режимами (нагрів або охолодження) може базуватися на температурі зовнішнього повітря або бути реалізоване логічно. Об'єм

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повітряного потоку коригується на основі вмісту CO₂ у приміщенні, що дозволяє оптимізувати вентиляцію за реальним навантаженням.

Для реалізації функцій керування застосовується ПЛК із вбудованими аналоговими і дискретними входами/виходами, який обробляє сигнали з датчиків і формує керуючі впливи на виконавчі пристрої: електроприводи клапанів, вентилятори через частотні перетворювачі, сигналізацію тощо. Робота системи супроводжується візуалізацією даних на НМІ-панелі або світловою індикацією станів. На рисунку 1.1 зображено функціональну схему установки.

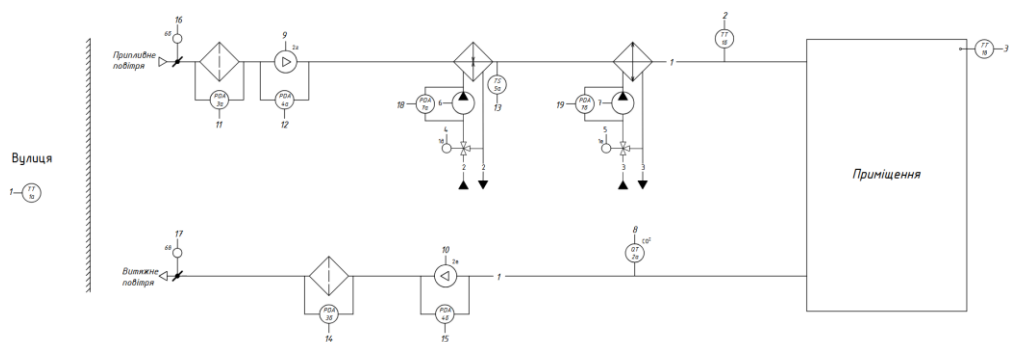


Рисунок 1.1 – Функціональна схема ПВУ

1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТОУ

Для регулювання температури повітря у приміщеннях кафе можуть використовуватись кілька варіантів побудови систем автоматичного регулювання. Найбільш типовими є три підходи [1];

- Одноконтурна система по температурі повітря на вході до приміщення (рисунок 1.2);
- Одноконтурна система по температурі повітря в контрольній точці приміщення;
- Каскадна система по температурі на вході і в приміщенні (комбінована) (рисунок 1.3).

У першому випадку температурний датчик встановлюється безпосередньо в повітроводі перед подачею повітря в приміщення. Така

система забезпечує високу швидкодію, однак має низьку точність, особливо при великих об'ємах або теплових навантаженнях, оскільки не враховує інерційність повітря в самій кімнаті.

Каскадна схема з двома датчиками – на вході та в контрольній точці – дозволяє значно підвищити якість регулювання, однак потребує складнішої реалізації, додаткового обчислення з випередженням, і доцільна переважно у великих або критичних об'єктах.

У цьому проєкті обрано варіант – одноконтурну САР із датчиком температури безпосередньо в приміщенні. Такий підхід дозволяє регулятору реагувати на реальну температуру в зоні перебування людей, що забезпечує комфорт та стабільність. Незважаючи на дещо вищу інерційність порівняно з датчиком на вході, точність регулювання у цьому випадку є достатньою, особливо з урахуванням площі та теплонавантаження об'єкта.

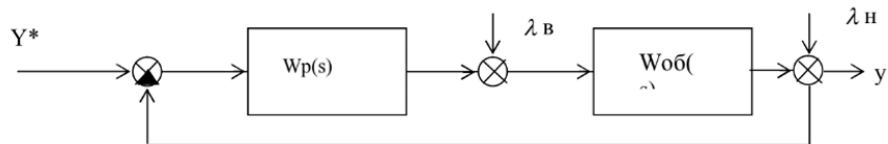
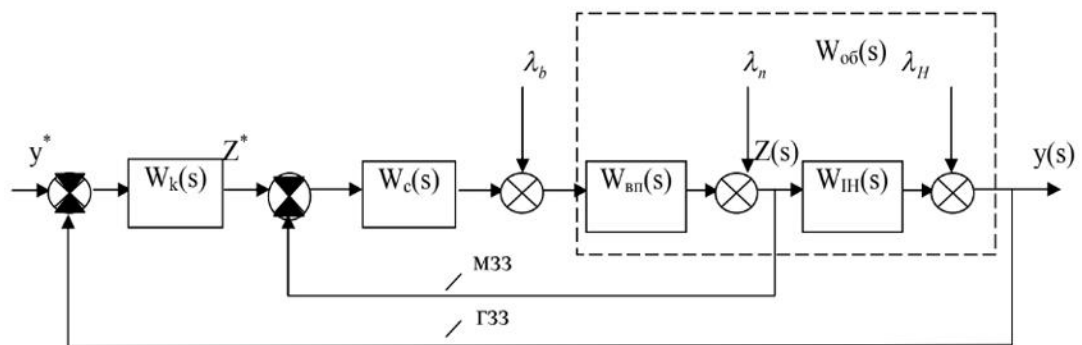


Рисунок 1.2 – Схема одноконтурної САР



$W_k(s)$ - передаточна функція коригуючого регулятора

$W_c(s)$ - передаточна функція стабілізуючого регулятора

$W_{vp}(s)$ - передаточна функція випереджаючої частини об'єкта управління $W_{об}(s)$

$W_{ih}(s)$ - передаточна функція інерційної частини об'єкта управління $W_{об}(s)$

ГЗЗ – головний зворотній зв'язок

МЗЗ – місцевий зворотній зв'язок

Рисунок 1.3 – Схема каскадної САР

На рівні L0 розміщується вимірювальна та виконавча апаратура. До цього рівня відносяться всі сенсори (температури, CO₂, перепаду тиску) та пристрої впливу (вентилятори, електроприводи клапанів, заслінок, термостат). Їх основна задача — забезпечити збір і передачу фактичних значень параметрів, а також реалізувати фізичне втручання в процес за командами з ПЛК. Основними КПЕ (ключовими показниками ефективності) цього рівня є точність вимірювання, швидкодія виконавчих органів та надійність спрацювання захисних елементів.

Контролерний рівень (L1) - це програмований логічний контролер (ПЛК), що виконує логіку управління системою. У цій роботі використовується контролер типу TM172PDG28S (Schneider Electric), який реалізує три незалежні одноконтурні САР: регулювання температури припливного повітря в режимах нагріву та охолодження, а також керування вентиляторами за сигналом CO₂. Окрім цього, контролер забезпечує обробку аварійних ситуацій, перемикання режимів, контроль стану системи та формування дискретних сигналів на індикацію. На цьому рівні приймаються

всі логічні рішення щодо керування, реагування на збурення й активації захистів.

Супервізорний рівень (L2) представлено SCADA-системою Aveva InTouch, яка взаємодіє з контролером через протокол Modbus TCP. SCADA виконує функції візуалізації, ведення архівів даних, журналювання подій, дистанційного налаштування параметрів та сповіщення персоналу про аварійні ситуації. Це дозволяє оператору або інженеру оперативно приймати рішення, коригувати режими роботи та здійснювати моніторинг стану системи в реальному часі.

1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОУ

В таблиці 1.1 зображено перелік технологічних параметрів.

Таблиця 1.1 Перелік технологічних параметрів

№	Найменування параметра	Діапазон	Уставка
1	Температура повітря в приміщенні	10...30°C	20°C
2	Концентрація CO ₂ у каналі	400...1000ppm	800ppm
3	Перепад тиску на приточному вентиляторі	<250Па	-
4	Перепад тиску на приточному фільтрі	>150Па	-
5	Перепад тиску на витяжному вентиляторі	<250Па	-

Закінчення таблиці 1.1

№	Найменування параметра	Діапазон	Уставка
6	Перепад тиску на витяжному фільтрі	>150Па	-
7	Температура припливному каналі	10...30	-
8	Перепад тиску на насосі калорифера	<200Па	-
9	Перепад тиску на насосі охолоджувача	<200Па	-
10	Термостат замерзання калорифера	5°C	-

Захисні параметри

До захисних параметрів належать:

- температура повітря після калорифера (контроль від замерзання);
- перепад тиску на фільтрах — при перевищенні спрацьовує сигналізація та аварійна зупинка;
- контроль справності виконавчих механізмів (вентиляторів, клапанів, заслінок).

Система автоматично переходить у безпечний режим при виникненні аварійної ситуації.

Контрольні параметри

Контрольні параметри не регулюються, але використовуються для аналітики:

- температура зовнішнього повітря
- температура витяжного повітря;
- сигнали індикації: (стан фільтрів, CO₂, аварій).

Усі параметри контролюються через аналогові і дискретні входи ПЛК, з відображенням інформації на панелі НМІ.

1.4 Функції АСУТП

Управляючі функції (стабілізація режимних параметрів)

- Регулювання температури повітря в приміщенні у зимовий період шляхом зміни витрати гарячої води через водяний калорифер за допомогою електроприводу клапану .
- Регулювання температури повітря в приміщенні влітку через зміну витрати холодної води через охолоджувач за допомогою електроприводу клапану .
- Регулювання концентрації CO₂ у приміщенні шляхом зміни частоти обертання припливного та витяжного вентиляторів через частотні перетворювачі залежно від сигналу датчика CO₂ .

Захисні функції (контроль захисних параметрів)

- Захист від замерзання калорифера — при досягненні критично низької температури термостат блокує подачу води.
- Сигналізація при забрудненні фільтрів — на основі перепаду тиску при перевищенні порогу система видає сигнал і переходить у безпечний режим.
- Аварійне відключення вентиляційного обладнання у разі несправності виконавчих механізмів або втрати сигналів з критичних датчиків.
-

Інформаційні функції (контроль контрольних параметрів)

- Моніторинг температури зовнішнього повітря — використовується для перемикання між режимами нагріву та охолодження.
- Вимірювання температури витяжного повітря — дозволяє здійснювати аналітику щодо ефективності вентиляції та теплозбереження.

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5 Схема автоматизації функціональна

На рисунку 1.4 зображено схему функціональну автоматизації[2][3].

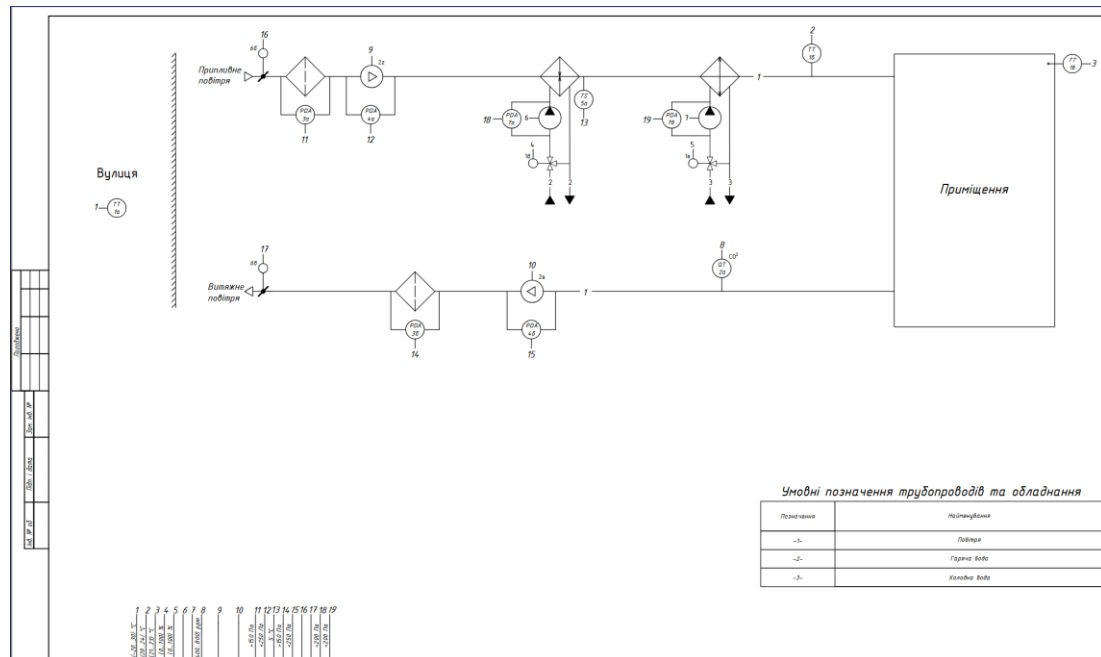


Рисунок 1.4 – Схема автоматизації функціональна

- 1а — Датчик температури зовнішнього повітря ($-20\dots+30\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4–20 мА);
- 1б — Температура припливного повітря;
- 1в — Кімнатний датчик температури (0–10 В);
- 2а — Датчик концентрації CO_2 у приміщенні (4–20 мА);
- 3а, 3б, 4а, 4б, 7а, 7б — Датчики перепаду тиску (пресостати на фільтрах);
- 5а — Капілярний термостат для захисту калорифера від замерзання;
- HL1–HL3 — Світлосигнальні лампи (24 В; червона – аварія, жовта – CO_2 , зелена – робота);
- 16 — Програмований логічний контролер Schneider TM172PDG28S (28 входів/виходів, дисплей, 24 В);
- 2в, 2д — Частотні перетворювачі ATV12 (0,37 кВт, 220 В) — керування вентиляторами;

- 6б, 6в — Електроприводи повітряних заслінок (24 В);
- 2в, 2е — Промислові вентилятори (припливний/витяжний, 0,37 кВт, 2480 об/хв);
- 1д, 1е — Електроприводи кульових клапанів (24 В, 0–10 В) — регулювання витрати води на нагрів/охолодження;
- Циркуляційний насос (75 Вт, 40 л/хв) — на контурі води.

Функціональна схема автоматизації системи вентиляції демонструє взаємозв'язок між технологічним обладнанням, контрольно-вимірювальними приладами, виконавчими механізмами та контролером. Вона відображає основні сигнальні потоки, принципи регулювання та структуру логіки керування об'єктом.

На схемі представлені основні вузли припливно-витяжної установки:

- водяний калорифер (для нагріву повітря);
- водяний охолоджувач;
- фільтри з датчиками перепаду тиску;
- електроприводи клапанів і заслінок;
- вентилятори припливного та витяжного повітря.

Кожен виконавчий механізм підключений до програмованого логічного контролера, який обробляє сигнали від сенсорів і формує відповідні керуючі впливи. Управління швидкістю вентиляторів здійснюється за допомогою частотних перетворювачів, які підключені до аналогових виходів ПЛК. Регулювання витрати гарячої та холодної води в теплообмінниках реалізується за допомогою аналогових сигналів (0–10 В), які надходять на приводи клапанів (1д, 1е).

Сигнали від датчиків температури, CO₂, зовнішнього повітря та тиску передаються на аналогові входи контролера. Відповідно до алгоритмів ПД-регулювання, ПЛК здійснює стабілізацію температури та концентрації CO₂.

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також у схемі реалізовано аварійні входи: наприклад, сигнал від капілярного термостата (5а), що діє незалежно від ПЛК і безпосередньо відключає подачу теплоносія до калорифера при ризику замерзання. Для локального візуального контролю використано світлосигнальні індикатори HL1–HL3 (стан нормальний, CO₂ перевищено, аварія) [5].

Дані з ПЛК також можуть передаватися на панель оператора НМІ для візуалізації поточних значень, зміни уставок і сигналізації. Передбачена взаємодія з користувачем через локальний інтерфейс або в рамках SCADA-рівня при розширенні системи.

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу

На рисунку 1.5 зображено схему структурну програмно-технічного комплексу.

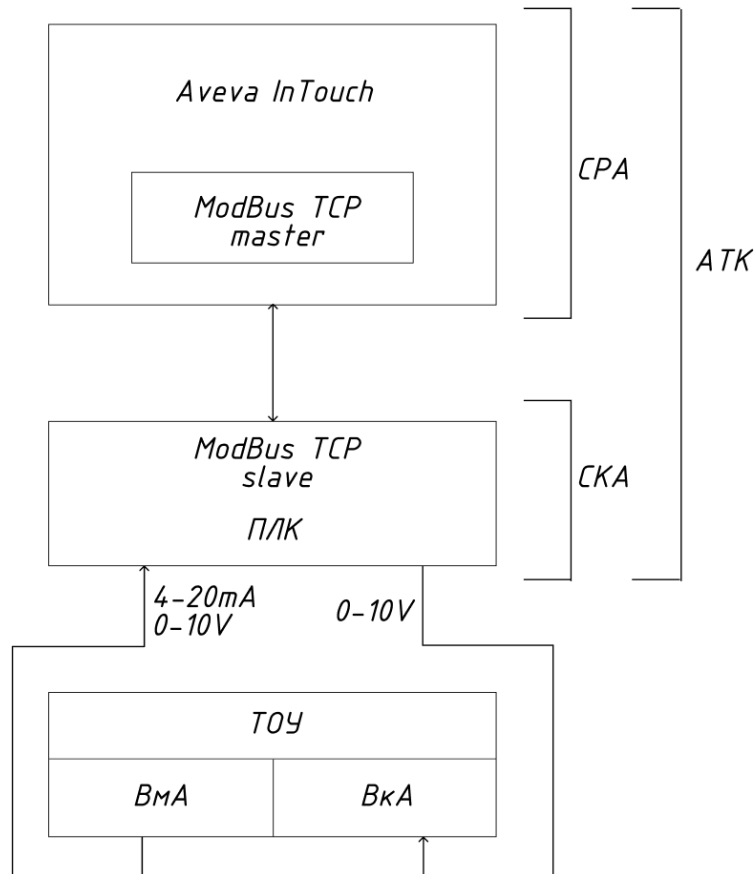


Рисунок 1.5 – Схема структурна програмно-технічного комплексу

На рисунку зображено структурну схему програмно-технічного комплексу (ПТК), який реалізує автоматизацію системи вентиляції закладу харчування. Архітектура побудована відповідно до трирівневої моделі згідно зі стандартом ISA-95, що дозволяє розділити функціональність за рівнями відповідальності: польовим, контролерним та операторським (супервізорним).

Рівень L0 – технологічний об'єкт (ТОУ)

Нижній рівень системи охоплює вимірювальну апаратуру (ВМА) та виконавчі механізми (ВКА), які безпосередньо взаємодіють з повітряними потоками та теплоносіями.

До ВМА належать:

- датчики температури зовнішнього, припливного, витяжного та кімнатного повітря;
- датчик концентрації CO₂ у приміщенні;
- диференційні датчики тиску (пресостати) для контролю стану фільтрів.

До ВКА відносяться:

- електроприводи повітряних заслінок;
- електроприводи регулюючих клапанів на калорифері та охолоджувачі;
- частотно-регульовані вентилятори (припливний та витяжний);
- циркуляційні насоси для теплоносія/холодоагенту.

Інформація з датчиків передається до ПЛК через аналогові сигнали (4–20 мА або 0–10 В), а керуючі сигнали до виконавчих пристроїв формуються через аналогові або дискретні виходи.

Рівень L1 – контролерний

На середньому рівні знаходиться програмований логічний контролер (ПЛК), який виконує всі розрахунки, логіку керування та формує керуючі дії. У даному проєкті застосовано ПЛК з вбудованим дисплеєм типу TM172PDG28S (Schneider Electric). Він реалізує:

- три одноконтурні САР:
 1. регулювання температури припливного повітря в режимі нагріву (керування клапаном на калорифер);
 2. регулювання температури припливного повітря в режимі охолодження (керування клапаном на охолоджувач);

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. регулювання продуктивності вентиляції залежно від рівня CO₂ (керування обертами вентиляторів через частотники);

- логіку перемикання між режимами нагріву й охолодження,
- обробку аварійних сигналів (від термостата, перепаду тиску тощо),
- формування сигналів індикації на HL1–HL3 (CO₂, аварія, робота).

Передбачено також резервний ручний режим через дисплей ПЛК або локальні перемикачі.

Рівень L2 – супервізорний

Верхній рівень реалізовано на базі SCADA-системи Aveva InTouch, яка виконує роль Modbus TCP master. SCADA з'єднана з ПЛК (Modbus TCP slave) через Ethernet-мережу.

Цей рівень дозволяє:

- виводити на екран поточні значення всіх технологічних параметрів;
- змінювати уставки (температура, порогові значення CO₂ тощо);
- відображати аварійні повідомлення, статуси виконавчих механізмів;
- вести архіви, тренди, лог подій;
- обирати режими роботи (автомат/ручний).

Інтерфейс SCADA дозволяє оператору зручно контролювати систему та оперативно реагувати на зміни або відхилення в роботі.

Обмін сигналами

- Аналогові сигнали: 4–20 мА, 0–10 В — передача температур, CO₂, регулювання клапанів і частотників.
- Дискретні сигнали: для аварійної індикації, запусків/зупинок.
- Modbus TCP: для зв'язку ПЛК ↔ SCADA.

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОУ

Автоматизація технологічних процесів вентиляції в закладах громадського харчування забезпечує низку техніко-економічних переваг. Впровадження АСУТП дозволяє не лише підвищити комфорт та якість повітря в обслуговуваних приміщеннях, але й оптимізувати енергоспоживання, зменшити витрати на обслуговування та знизити аварійність системи. Джерела ефективності можна розділити за видами реалізованих функцій: управляючих, захисних та інформаційних.

Управляючі функції

Основні економічні ефекти забезпечуються за рахунок реалізації трьох одноконтурних САР.

1. Регулювання температури припливного повітря дозволяє уникнути надмірного нагріву або охолодження, що веде до економії енергії теплового або холодильного контуру. Застосування ПІД-регулювання витрати води через калорифер або охолоджувач дозволяє підтримувати комфортну температуру з точністю $\pm 1^\circ\text{C}$ без перевитрат.
2. Регулювання вентиляції за сигналом CO_2 забезпечує адаптивне керування продуктивністю вентиляторів: при низькому навантаженні (мала кількість людей у залі) система знижує витрати повітря, що призводить до зменшення електроспоживання та зниження експлуатаційного зносу вентиляторів.

Впровадження частотного керування вентиляторами дозволяє зменшити споживання електроенергії до 20–30 % порівняно з традиційною двопозиційною схемою пуск/стоп.

Захисні функції

Захисні функції спрямовані на запобігання аварійним ситуаціям і зниження витрат на ремонт та обслуговування:

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Контроль перепаду тиску на фільтрах дозволяє вчасно сигналізувати про засмічення і проводити технічне обслуговування без пошкодження вентиляторів і зниження ефективності вентиляції.
- Капілярний термостат як апаратний захист від замерзання усуває ризик обмерзання калорифера, що знижує ймовірність виходу з ладу теплообмінника та зупинки системи.
- Аварійна сигналізація через індикатори HL1–HL3 або SCADA дозволяє персоналу оперативно реагувати на критичні відхилення.

Таким чином, система захистів значно зменшує прямі й опосередковані витрати, пов'язані з простоем обладнання, його пошкодженням або нештатною роботою.

Інформаційні функції

Інформаційна складова системи дозволяє підвищити якість обслуговування та прийняття рішень:

- Виведення параметрів на панель оператора або SCADA (Aveva InTouch) дозволяє візуально контролювати стан системи, спростити її експлуатацію та знизити вимоги до кваліфікації персоналу.
- Зміна уставок без переконфігурації ПЛК дає можливість адаптувати систему до зміни умов експлуатації без додаткових витрат.
- Архівація аварій та трендів створює базу для аналізу ефективності та впровадження енергозберігаючих заходів.
- Віддалений контроль і діагностика (у разі підключення до SCADA-системи) дозволяє скоротити час реагування на несправності та знизити витрати на виїзд обслуговуючого персоналу.

Узагальнюючи, реалізація АСУТП дозволяє досягти:

- зниження енергоспоживання (тепло, електроенергія);
- зменшення кількості аварійних зупинок і пошкоджень обладнання;
- скорочення витрат на сервісне обслуговування;
- підвищення зручності та швидкості реагування на зміни;

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- покращення якості повітря в залі з одночасним контролем витрат.

Таким чином, автоматизація системи вентиляції дозволяє підвищити загальну ефективність закладу, зменшити експлуатаційні витрати та забезпечити стабільний мікроклімат, необхідний для безперебійного функціонування об'єкта громадського харчування.

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР

2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР

2.1.1 Перелік вимірювальних каналів (ВК)

В обраній АСУТП ТОВ присутні такі ВК:

- Вимірювальний канал температури у приміщенні;
- Вимірювальний канал температури повітря в припливному каналі;
- Вимірювальний канал концентрації CO² у приміщенні;
- Вимірювальний канал перепаду тиску на фільтрах;
- Вимірювальний канал перепаду тиску на вентиляторах;
- Вимірювальний канал перепаду тиску на насосах;

2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів

На рисунках 2.1, 2.2 зображено схеми структурні ВК.

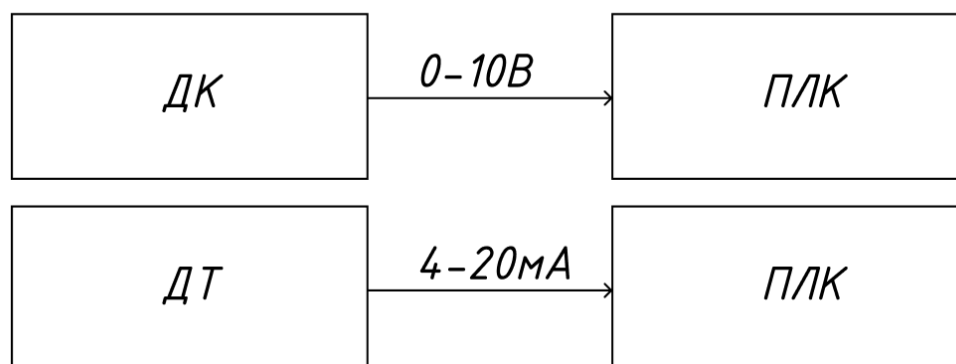


Рисунок 2.1 – Схеми структурні ВК температури та концентрації

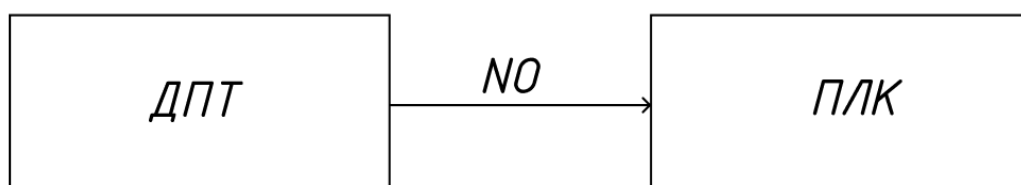


Рисунок 2.2 – Схеми структурна ВК перепаду тиску

2.1.3 Особливості електричних підключень датчиків вимірювальних каналів

Датчики температури та концентрації з аналоговим вихідним сигналом підключаються до аналогових входів ПЛК за двопровідною схемою, а датчики перепаду тиску до дискретних входів ПЛК. Тип виходу нормально відкритий.

Датчики температури мають уніфікований вихідний сигнал 4...20мА, датчик концентрації уніфікований вихідний сигнал 0...10В.

2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів

На рисунках 2.3 - 2.6 зображено схеми монтажу технічних засобів.

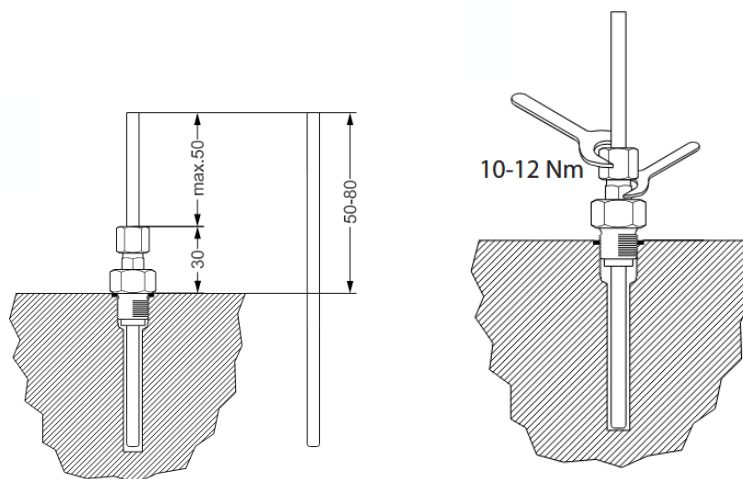


Рисунок 2.3 – Монтаж датчика температури

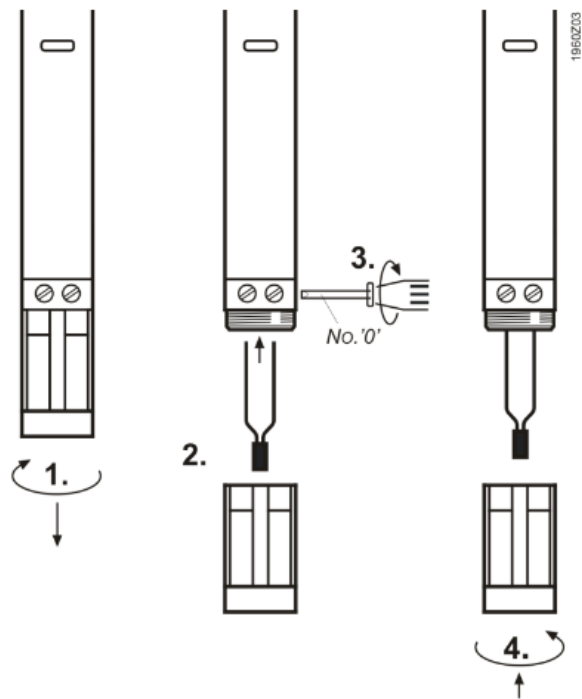


Рисунок 2.4 – Монтаж датчика концентрації

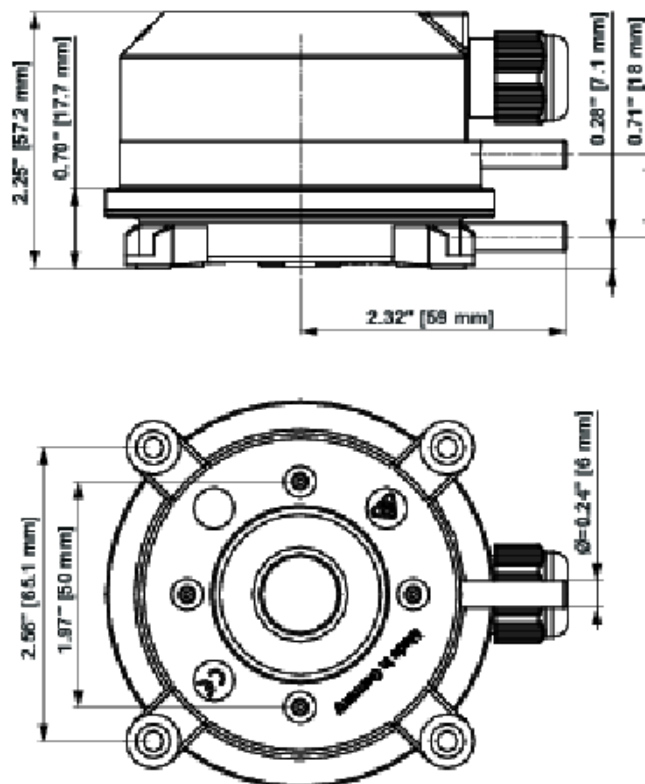


Рисунок 2.5 - Монтаж датчика перепаду тиску

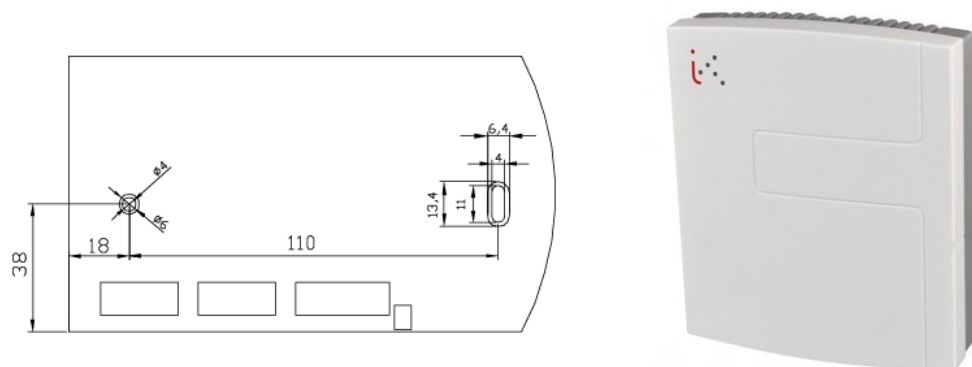


Рисунок 2.6 – Монтаж датчика температури повітря в приміщенні

2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод

Для надійного та безпечного підключення датчиків, а також виконавчих механізмів у системі автоматизації передбачено використання кабелів з екрануванням. Такий екран зменшує вплив електромагнітних перешкод, що є важливим чинником для безперервної та точної роботи контурів регулювання вологості.

Прокладка кабелів здійснюється в металевих гофрованих трубах або спеціальних екранованих каналах, що забезпечує додаткову механічну та електромагнітну захищеність.

Для покращення якості сигналів із вимірювальних каналів у системі впроваджено фільтр першого порядку аперіодичного типу. Його функція - усунення високочастотних шумів, що дозволяє стабілізувати роботу регуляторів.

2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів

Як було зазначено в п. 2.1.4 усі аналогові сигнали від датчиків напряму йдуть в ПЛК, далі по протоколу ModBus TCP до системи диспетчеризації.

На рисунку 2.6 показано схему структурну надійності ВК САР.



Рисунок 2.6 – Схема структурна надійності ВК САР температури повітря в приміщенні

2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів

Розрахуємо похибки ВК САР температури повітря в приміщенні (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Перелік компонентів ВК

№	Елемент	Клас точності	Діапазон вимірювання
1	Датчик температури повітря ТТА IndustrieTechnik	2	10...30°C
3	Програмований логічний контролер ТМ172PDG28S	0.01	

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, $\varepsilon_{\text{кл}}$ – клас точності давача, x_{max} , x_{min} – мінімальне та максимальне значення діапазону вимірювання.

$$\Delta_{\text{ДАВАЧ}} = \frac{2(30-10)}{100} = 0.4^\circ\text{C}, \text{ для давача температури;}$$

$$\Delta_{\text{ПЛК}} = \frac{0.01(30-10)}{100} = 0.002^\circ\text{C}, \text{ для ПЛК}$$

Обрахуємо абсолютну похибку для ВК САР:

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

$$\Delta_{\text{ВК}} = \sqrt{0.4^2 + 0.002^2} = 0.400005^\circ\text{C}$$

Обрахуємо відносну похибку для ВК САР:

$$\eta_{\text{ВК}} = \frac{\Delta_{\text{ВК}}}{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}} * 100\% = \frac{0.400005}{20} * 100\% = 2\%$$

У результаті проведених обчислень визначено, що як абсолютна, так і відносна похибки не перевищують встановлених допустимих значень. Це свідчить про придатність використаних приладів для подальшої експлуатації в системі.

2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів

Розрахуємо надійність ВК САР температури повітря в приміщенні (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Час напрацювання на відмову елементів ВК

№	Елемент	$T_{\text{сер}}, \text{ год}$	$\lambda \cdot 10^{-6}, 1/\text{год}$
1	Датчик температури повітря MBT5252	60000	16.1
2	Програмований логічний контролер TM172PDG28S	100 000	10
3	ПК Оператора	500 000	2

Визначимо інтенсивність відмов:

$$\lambda = (16.2 + 10.0 + 2) \cdot 10^{-6} = 28.2 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год}$$

Ймовірність безвідмовної роботи за місяць:

$$P(\tau) = e^{-28.2 \cdot 10^{-6} \cdot 720} = 0,9799$$

Розрахуємо коефіцієнт готовності та імовірність безвідмовної роботи:

Коефіцієнт готовності:

$$K_{\text{гот}} = T_{\text{сер}} / (T_{\text{сер}} + T_{\text{в}})$$

$$K_{\text{гот}} = \frac{22 \cdot 10^5}{22 \cdot 10^5 + 2} = 0,99999909$$

$$P_{\text{оч}}(\tau) = K_{\text{гот}} \cdot P_{\delta}(\tau) = 0,99999909 \cdot (1 - 22 \cdot 10^{-6} \cdot 720) = 0,9841599$$

Проведений аналіз розрахункових результатів підтверджує високу надійність системи керування. Всі отримані параметри відповідають

нормативним вимогам, що вказує на стійке та ефективне функціонування системи в умовах реальної експлуатації та забезпечує її безперебійну роботу.

2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК

Програмований логічний контролер (ПЛК) виконує низку важливих функцій, пов'язаних з обробкою вимірювальної інформації. Передусім, він забезпечує безперервний моніторинг значень, що надходять від датчиків. У випадку різких стрибків або аномально стабільного сигналу, наприклад, незмінного нульового значення, автоматично активується алгоритм виявлення несправностей, що дозволяє своєчасно виявити відмову датчика або іншу аварійну ситуацію. Крім того, при досягненні параметрами системи критичних значень ПЛК вмикає аварійні алгоритми.

Контролер також перевіряє, чи входять вхідні сигнали в допустимі межі, і в разі виявлення нестабільних або недостовірних значень може застосовувати фільтрацію, корекцію або підстановку аварійних даних з метою збереження стійкості системи. Сигнали, що надходять у форматі 0–10 В/4-20мА, перетворюються у фізичні величини, такі як температура чи концентрація, що дозволяє точно відображати фактичний стан процесу і забезпечувати обґрунтоване формування керуючих впливів.

2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР

Оцінка показників надійності вимірювальних каналів свідчить про те, що обладнання, використане в системі, забезпечує стабільну та ефективну роботу. Результати розрахунків підтверджують високий рівень технічної готовності пристроїв, що входять до складу автоматизованої системи керування.

Обладнання демонструє великий середній ресурс безвідмовної роботи та низьку ймовірність відмови протягом усього строку експлуатації. Крім того, застосовані технічні засоби мають високу точність вимірювань, що дає змогу отримувати достовірні значення технологічних параметрів у реальному часі. Зафіксовані похибки не виходять за межі допустимих

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значень, що підтверджує відповідність обладнання вимогам до точності й надійності, зокрема в частині елементів, критичних для функціонування системи.

2.2 Інженерний розрахунок регулювально-виконавчих каналів САР

2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання

В даній системі керування наявні дві САР режимних параметрів, а саме:

1. Одноконтурна САР температури повітря в приміщенні
2. Одноконтурна САР концентрації вуглекислого газу в приміщенні

Для аналізу і розрахунку контуру регулювання було обрано САР температури повітря в приміщенні.

2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР

На рис. 2.7 наведено типову структурну схему одноконтурної САР:

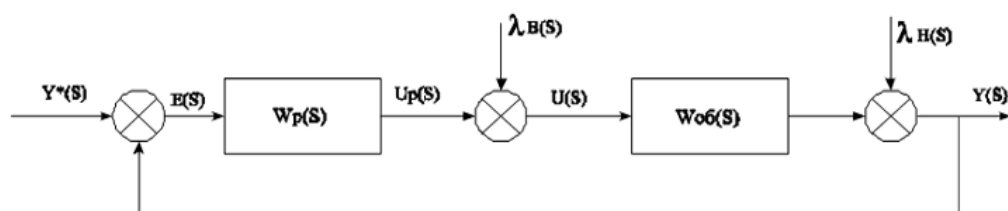


Рисунок 2.7 – Схема структурна одноконтурної САР

Де:

- $Y(S)^*$ - задане значення параметра, яке повинне підтримуватись системою;
- $E(S)$ - сигнал розбалансу, тобто різниця між уставкою та фактичним значенням параметра;
- $Wp(S)$ - модель або передавальна функція регулятора, що описує його динамічну поведінку;
- $Up(S)$ - вихідний сигнал з регулятора, який визначає дію на виконавчий механізм;

- $U(S)$ - керуючий сигнал, який надходить на об'єкт керування, включаючи шкідливі впливи з боку збурень;
- $\lambda_B(S)$ - збурення, що виникає з боку виконавчого механізму, наприклад, через нестабільність роботи привода;
- $\lambda_H(S)$ - збурення, що виникає внаслідок дії зовнішнього середовища, наприклад, зміни температури чи тиску;
- $W_{об}(S)$ - передавальна функція об'єкта керування (ОУ), яка описує його реакцію на вхідні впливи;
- $Y(S)$ - поточне значення регульованого параметра (Process Value), яке надходить на вхід регулятора для порівняння з уставкою.

На рис 2.8 зображено схему функціональну САР температури повітря в приміщенні



Рисунок 2.8 – Схема функціональна САР температури повітря в приміщенні

2.2.3 Схема структурна регулювально-виконавчого каналу САР

На рисунку 2.9 зображено схему структурну РВК САР температури повітря в приміщенні.

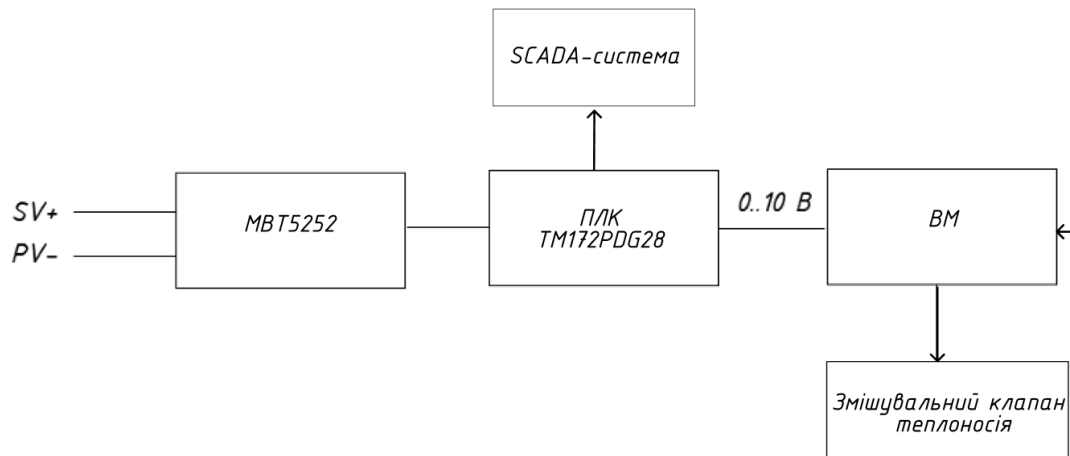


Рисунок 2.9 – Схема структурна РВК САР температури повітря в приміщенні

2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР

На рисунку 2.10 зображено схему структурну ПТЗ САР температури повітря в приміщенні .

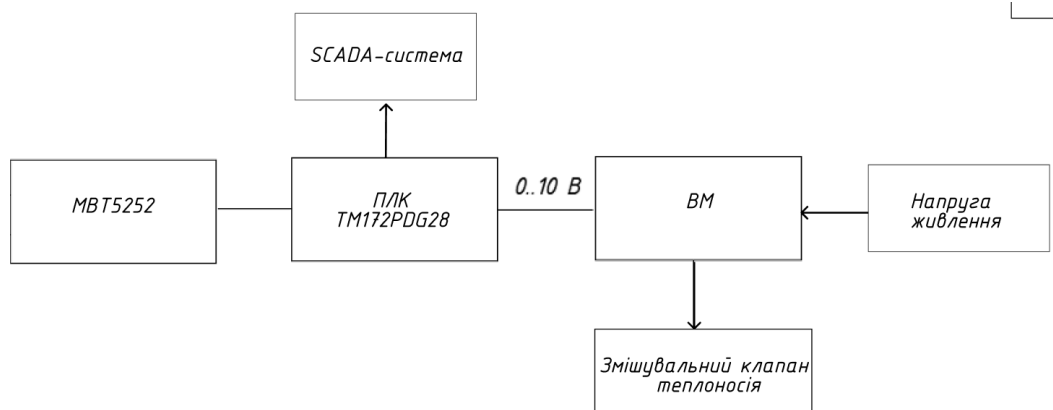


Рисунок 2.10 – Схема структурна програмно-технічних засобів САР температури повітря в приміщенні

2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР

На рисунку 2.11 зображено схему структурну надійності реалізації управляючої функції САР температури повітря в приміщенні .



Рисунок 2.11 – Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР температури повітря в приміщенні .

2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР

Проведемо розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР температури повітря в приміщенні . (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	MBT5252	60000	16.1
2	ПЛК	TM172PDG28	100 000	10
3	ВМ	LR24A-SR	80000	12.5

Для визначення інтенсивності відмов візьмемо наступний розрахунок [4]:

$$\lambda = (16.1 + 10.0 + 12.5) \cdot 10^{-6} = 38.6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год};$$

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи за місяць:

$$P(\tau) = e^{-38.6 \cdot 10^{-6} \cdot 720} \approx 0.9726$$

Розрахуємо коефіцієнт готовності та ймовірність безвідмовної роботи:

Коефіцієнт готовності:

$$K_{\text{гот}} = T_{\text{ср}} / (T_{\text{ср}} + T_{\text{в}})$$

$$K_{\text{гот}} = \frac{8 \cdot 10^5}{8 \cdot 10^5 + 2} = 0,99997$$

$$P_{\text{оч}}(\tau) = K_{\text{гот}} * P\delta(\tau) = 0,99997 * (1 - 8 \cdot 10^{-6} * 720) = 0,99421$$

Згідно з розрахунками, ймовірність безвідмовної роботи системи протягом одного місяця становить приблизно 0,97, що повністю відповідає встановленим нормативам.

Це дозволяє зробити висновок, що вибрана апаратна конфігурація є технічно доцільною та придатною для експлуатації в заданих умовах. Система працює стабільно, з мінімальним ризиком відмов, що має вирішальне значення для забезпечення безпеки, енергоефективності та безперервності технологічного процесу.

2.2.7 Ідентифікація об'єкта управління

ОУ в даній САР являється об'єктом зі здатністю до самовирівнювання, тож його можна апроксимувати як аперіодичну ланку першого порядку з послідовним з'єднанням ланки транспортного запізнення

Було взято наступні параметри для ланки [5]:

$$W(p) = \frac{0,45 * e^{-85p}}{720p + 1}$$

В середовищі СКМ Matlab Simulink побудуємо сам ОУ та знімемо його перехідну характеристику (рис 2.12, рис 2.13):

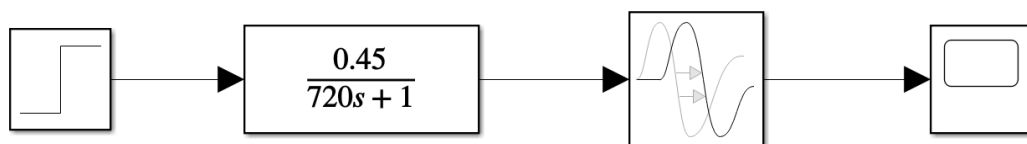


Рисунок 2.12 – Модель ОУ в СКМ

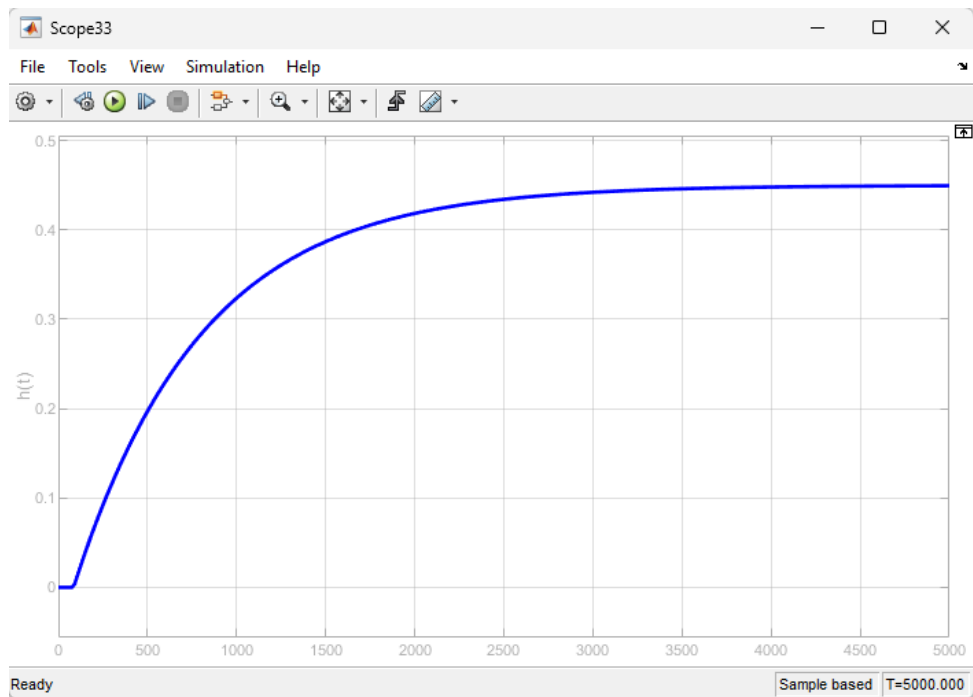


Рисунок 2.13 – Перехідна характеристика ОУ в СКМ

2.2.8 Розрахунок регуляторів САР

Розрахуємо регулятори для нашої САР двома методами (за РАФХ та Chien et al-/. (1952)- regulator. Model: Method 2 для 20% перегулювання)

Метод РАФХ

Код з середовища matlab:

Задамо значення $m=0.366$ (для 20% перерегулювання) (рис 2.14)

```
w=0:0.0001:0.015;
m=0.366;
p=w*(1j-m);
W=(0.45.*exp(-85*p))./(720*p+1);
Re=real(W);
Im=imag(W);
Kp=-(m*Im+Re)./(Im.^2+Re.^2);
Ki=-w*(m.^2+1).*Im./(Im.^2+Re.^2);
plot(Kp,Ki,'k');
ylabel('Ki');
xlabel('Kp');
grid on;
```

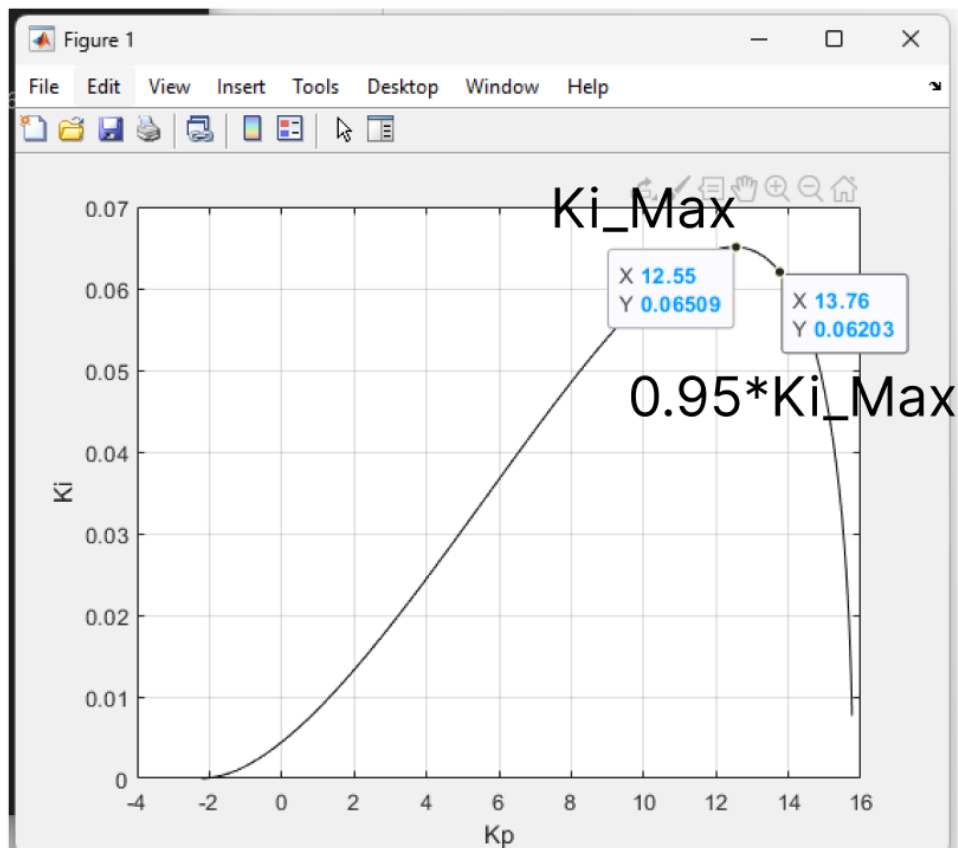


Рисунок 2.14 – Крива заданого ступеня коливальності
Налаштування ПІ-регулятора згідно з рис. 2.13

$$K_p = 13.76$$

$$K_i = 0.06203$$

$$T_i = 221.83$$

Для перевірки правильності розрахунків ПІ-регулятора побудуємо РАФХ, і переконаємось чи проходить вона через точку $(-1; j0)$ (рис 2.15).

Код з matlab:

```

m=0.366;
w=0.02:0.001:0.15;
Kp=13.76;
Ti=221.83;
p=w*(1j-m);
Wob=(0.45.*exp(-85*p))./(720.*p+1);
Wr=Kp+(Kp./(Ti.*p));
W=Wob.*Wr;
Re=real(W);
Im=imag(W);
plot(Re,Im);
xlabel('Re(w)');
ylabel('Im(w)');
grid on;
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
hold on;
plot(-1,0,'ko');

```

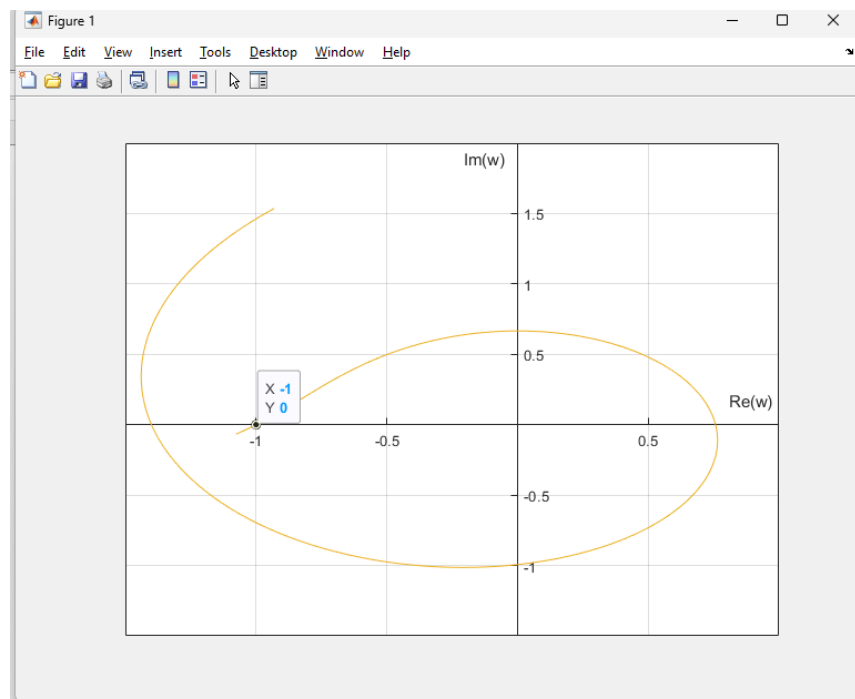


Рисунок 2.15 – Графік з точкою (-1;0)

Побудуємо замкнену САР та знімемо характеристику за двома каналами, по збуренню та завданню, нанісши при цьому одиничне збурення (рис 2.17-2.19).

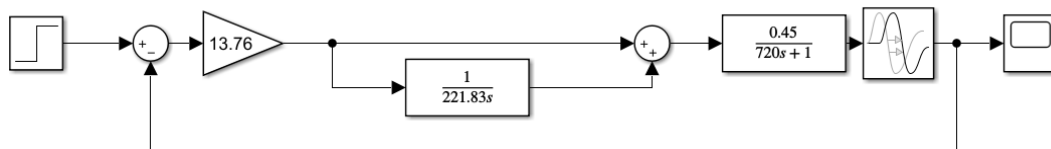


Рисунок 2.17 – Розроблена САР в середовищі СКМ

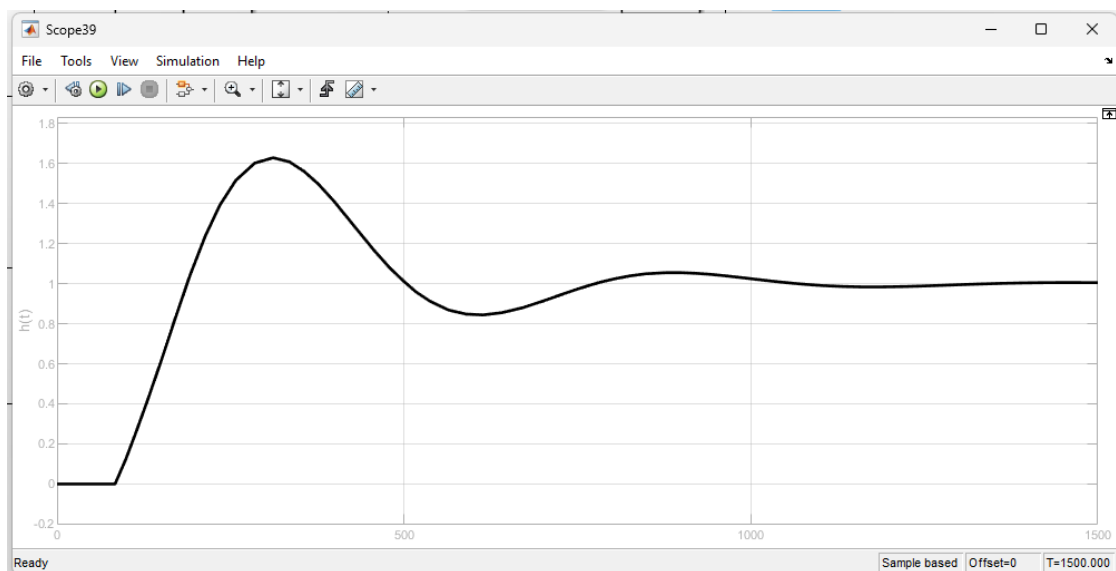


Рисунок 2.18 – Перехідна характеристика за каналом «Завдання-вихід»

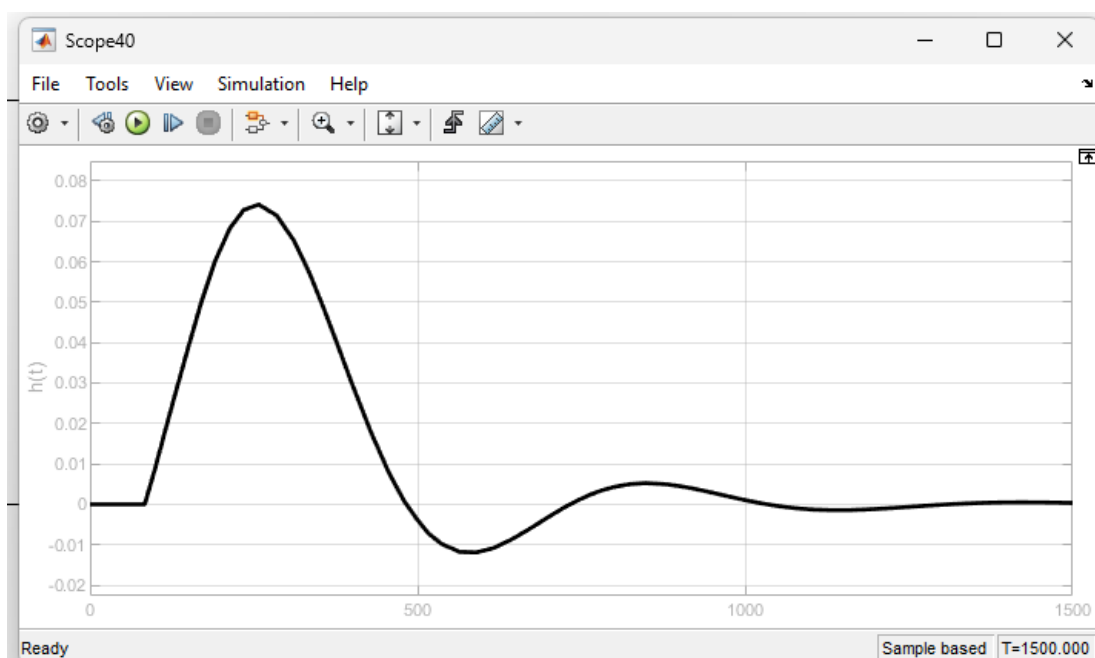


Рисунок 2.19 – Перехідна характеристика за каналом «Збурення-вихід»

Обрахуємо прямі показники якості за обома каналами

Розрахуємо показники якості (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Прямі показники якості

Показник якості	Канал «збурення-вихід»	Канал «завдання-вихід»
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0,073	0,61
Перерегулювання σ , %	7.3	61
Степінь затухання, ψ	0.97	0.99
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	1300	1300

Експрес метод Chien et al-/. (1952)- regulator. Model: Method 2

Розрахуємо налаштування регулятора за цим методом:

$$K = \frac{0.7 * T_m}{K_m * \tau_m} = \frac{0.7 * 720}{0.45 * 85} = 13.2$$

$$Ti = 2.33 * \tau_m = 2.33 * 85 = 198.05$$

Аналогічно до РАФХ знімемо характеристику за двома каналами, по збуренню та завданню, нанісши при цьому одиничне збурення (рис 2.20-2.22).

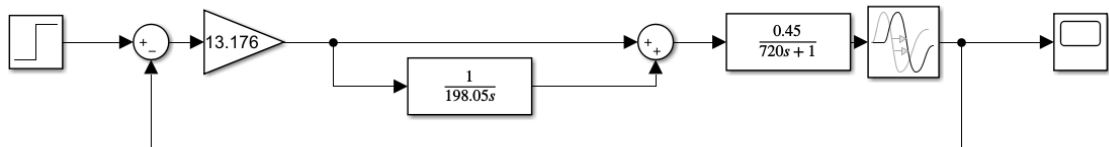


Рисунок 2.20 – Розроблена САР в середовищі СКМ

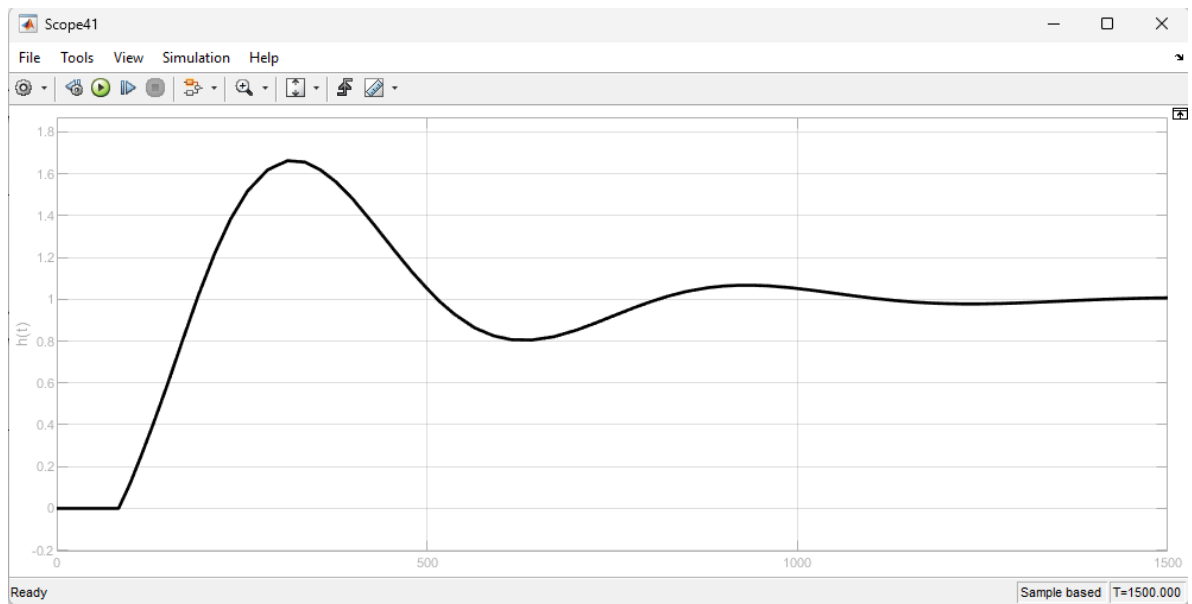


Рисунок 2.21 – Перехідна характеристика за каналом «Завдання-вихід»

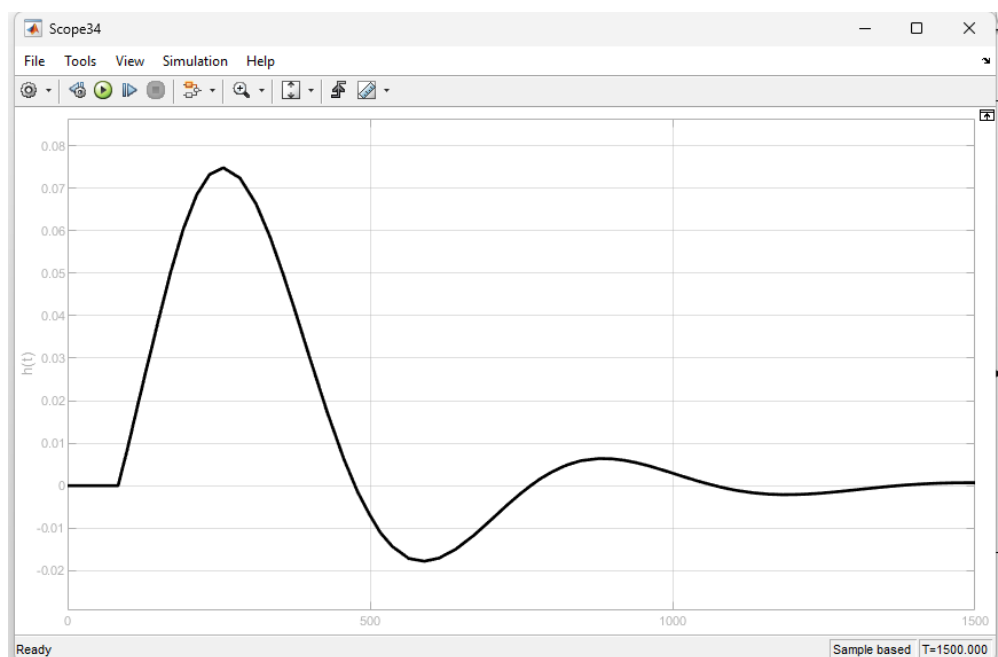


Рисунок 2.22 – Перехідна характеристика за каналом «Збурення-вихід»

Розрахуємо показники якості (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Показники якості за каналами

Показник якості	Канал «збурення- вихід»	Канал «завдання- вихід»
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0,073	0,61
Перерегулювання σ , %	7.3	61
Степінь затухання, ψ	0.89	0.95
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	1300	1300

Релейний експеримент

Сформуємо схему для проведення експерименту (рис 2.23)

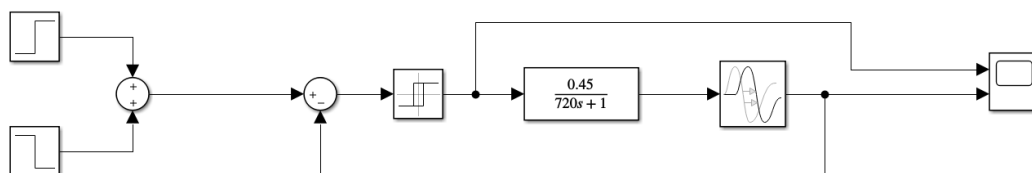


Рисунок 2.23 – Схема для проведення релейного експерименту
Знімемо перехідну характеристику (2.24).

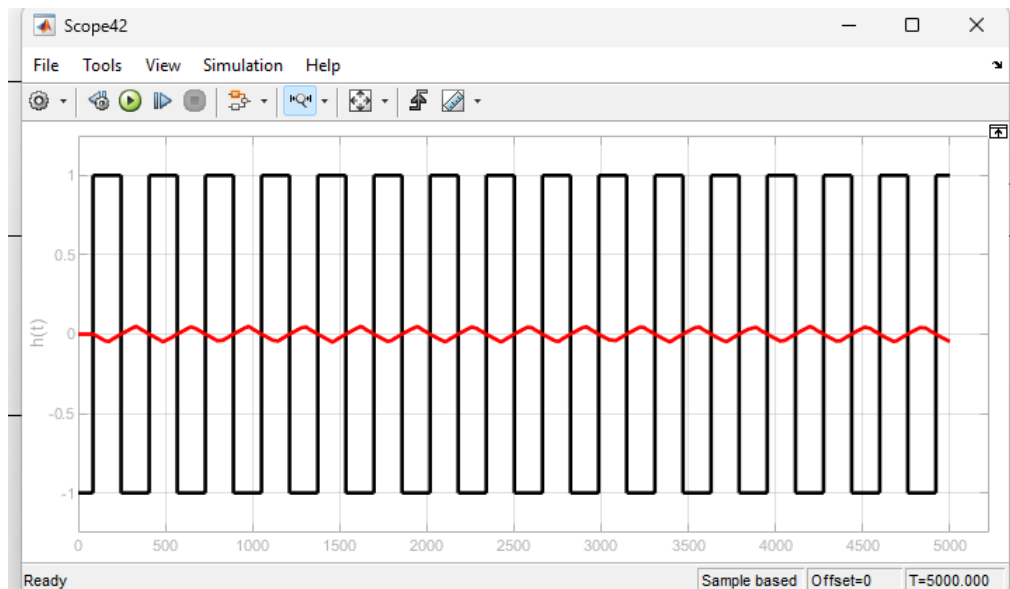


Рисунок 2.24 – Отриманий сигнал з об'єкта

Розраховуємо регулятор:

$$K = \frac{4U_0}{Y_1 * 3.14} = \frac{4 * 1}{0.044 * 3.14} = 28.95$$

U_0 – амплітуда імпульсів реле;

Y_1 – амплітуда гармонічних коливань на виході.

$$Kp = 0.4 * K = 0.4 * 28.95 = 11.58$$

$$Ti = 0.833 * T = 0.833 * 407 = 339$$

Аналогічно до РАФХ знімемо характеристику за двома каналами, по збуренню та завданню, нанісши при цьому одиничне збурення (рис 2.25-2.27).

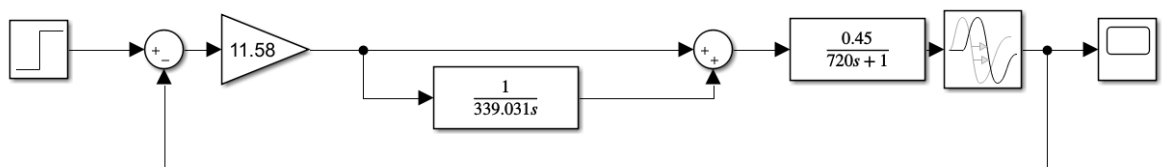


Рисунок 2.25 – Розроблена САР в середовищі СКМ

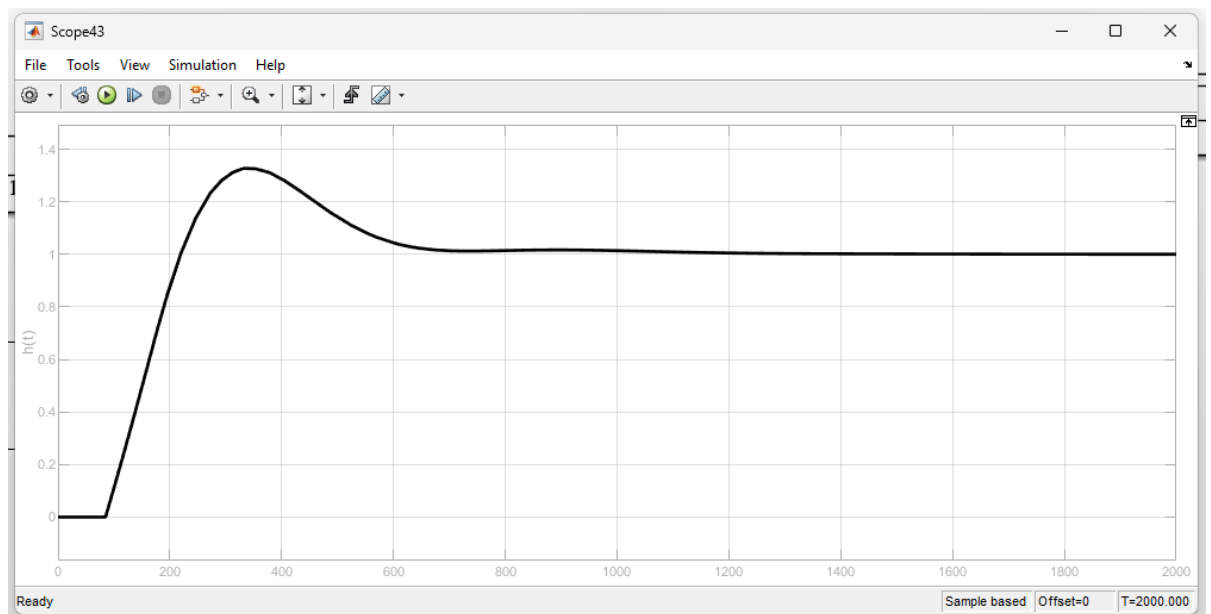


Рисунок 2.26 – Перехідна характеристика за каналом «Завдання-вихід»

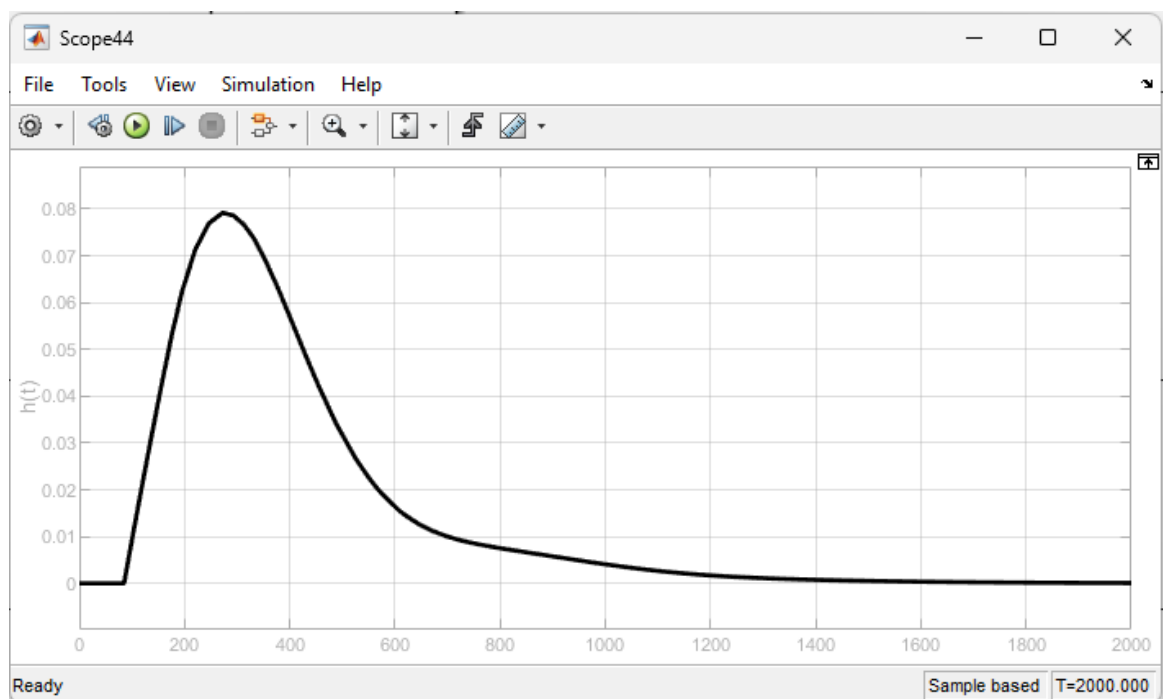


Рисунок 2.27 – Перехідна характеристика за каналом «Збурення-вихід»

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-11386.0011.002.АТХ.П

Лист

47

Обрахуємо показники якості (табл 2.6).

Таблиця 2.6 – Показники якості за каналами

Показник якості	Канал «збурення-вихід»	Канал «завдання-вихід»
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0,079	0,31
Перерегулювання σ , %	7.9	31
Степінь затухання, ψ	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	1300	600

Порівняємо методи РАФХ та Релейного експерименту для обирання кращого в даній системі (рис 2.28-2.29).

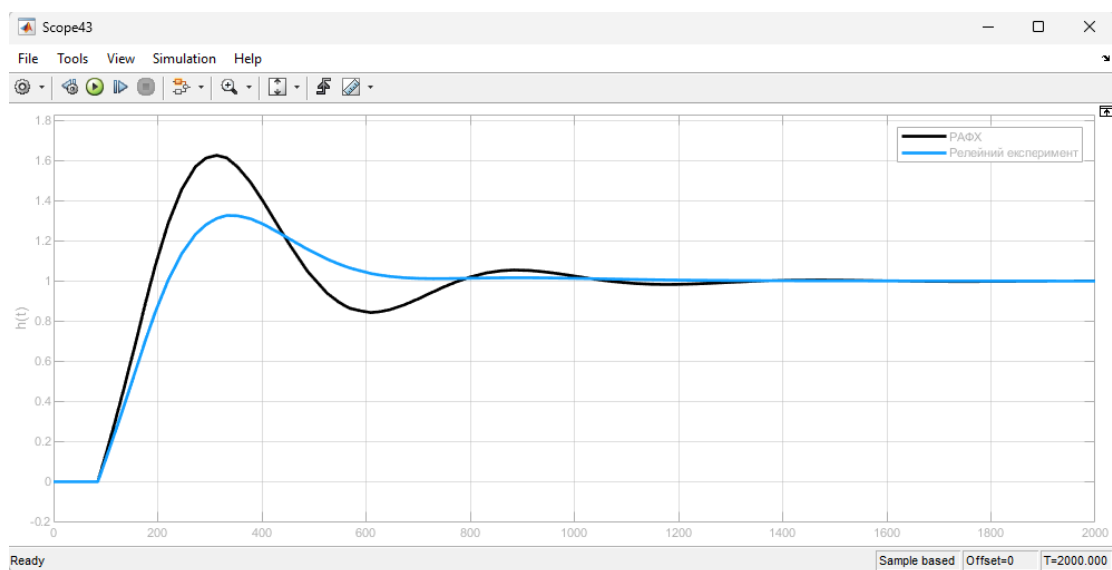


Рисунок 2.28 – Перехідна характеристика за каналом «Завдання-вихід»

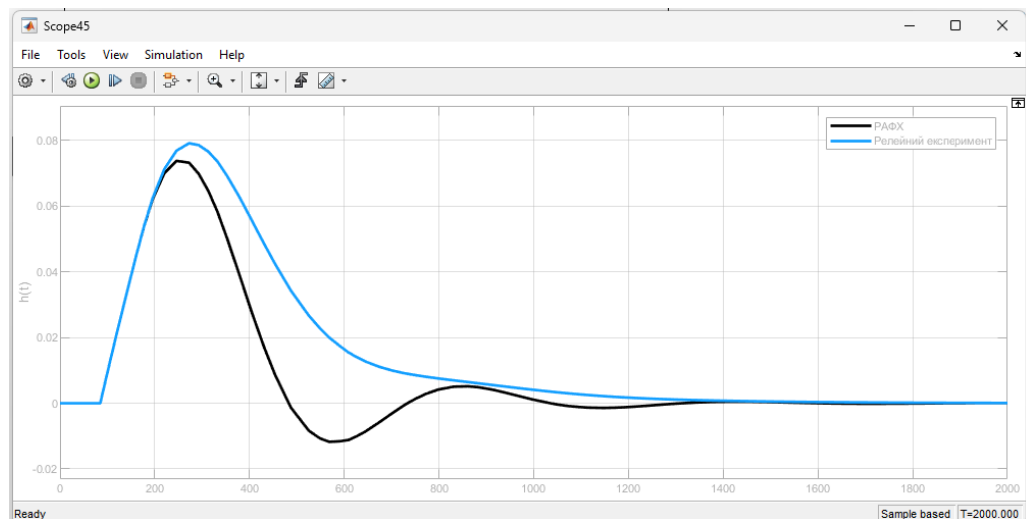


Рисунок 2.29 – Перехідна характеристика за каналом «Збурення-вихід»

Після графічного порівняння можна зробити наступні висновки:є

У регулятора, розрахованого методом релейого експерименту, менша динамічна похибка, затухання рівно та незначно швидший перехідний процес, отже систему на чутливість будемо перевіряти на цьому регуляторі.

Перевірка системи на чутливість

Дослідимо об'єкт на стійкість по каналу завдання-вихід, проваріювавши Коб, Тіоб та запізнення (рис 2.30-2.35) та сформуємо таблиці (табл. 2.8-2.10):

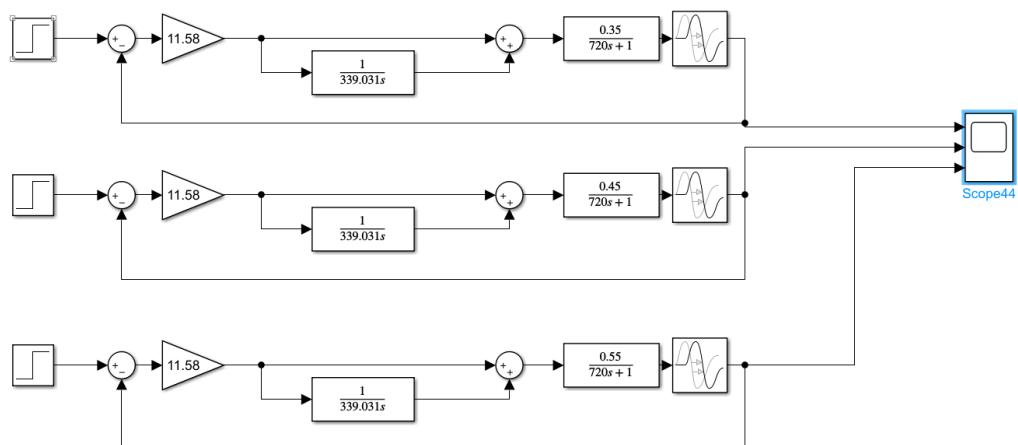


Рисунок 2.30 – Схема для перевірки системи на чутливість

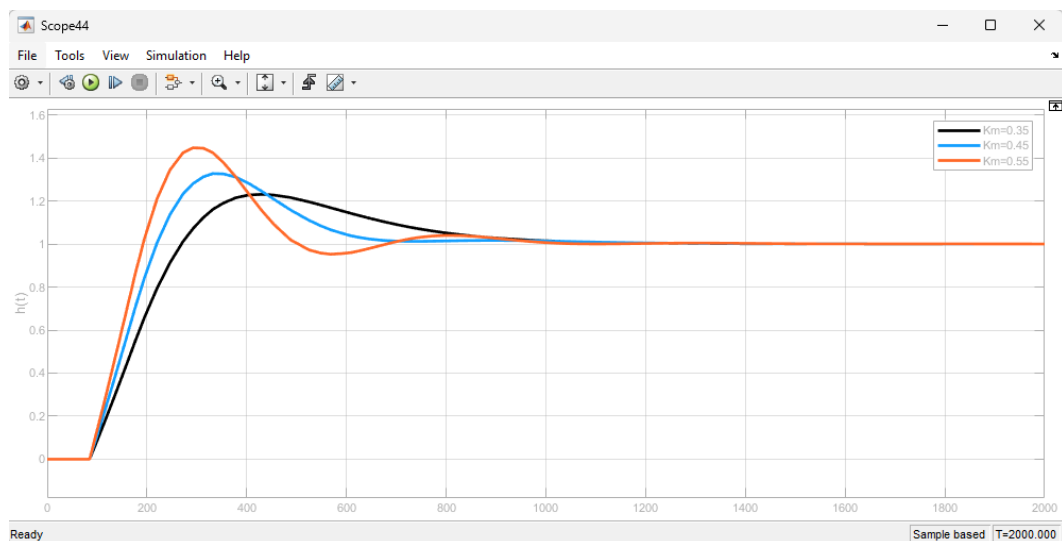


Рисунок 2.31 – Графіки перехідних процесів

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

Показник К	0.35	0.45	0.55
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0.33	0,23	0.41
Перерегулювання σ , %	33	23	41
Степінь затухання, ψ	1	1	0.97
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	1000	800	1000

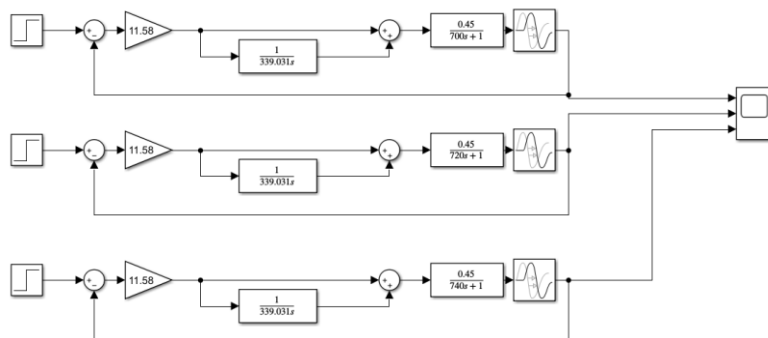


Рисунок 2.32 – Схема для варіювання показника T_i

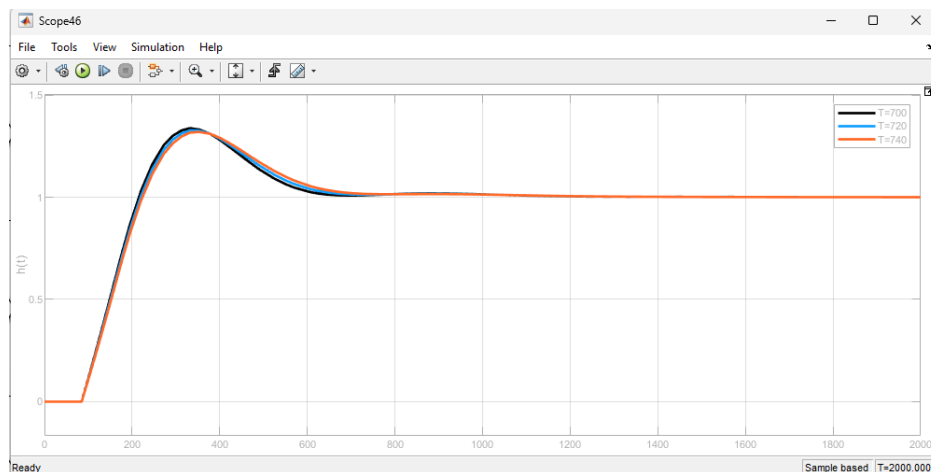


Рисунок 2.33 – Графіки перехідних процесів

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

Показник T_i	700	720	740
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0,23	0,23	0,23
Перерегулювання $\sigma, \%$	23	23	23
Степінь затухання, ψ	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}, c$	800	800	800

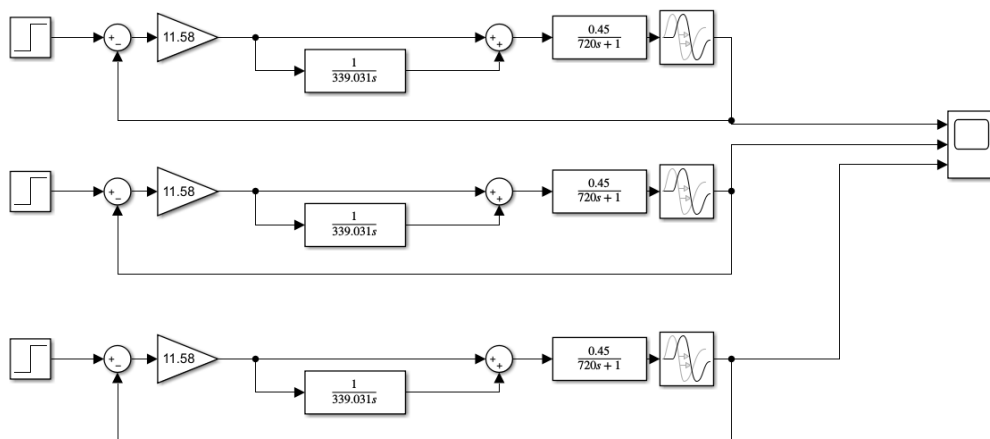


Рисунок 2.34 – Схема для варіювання показника τ

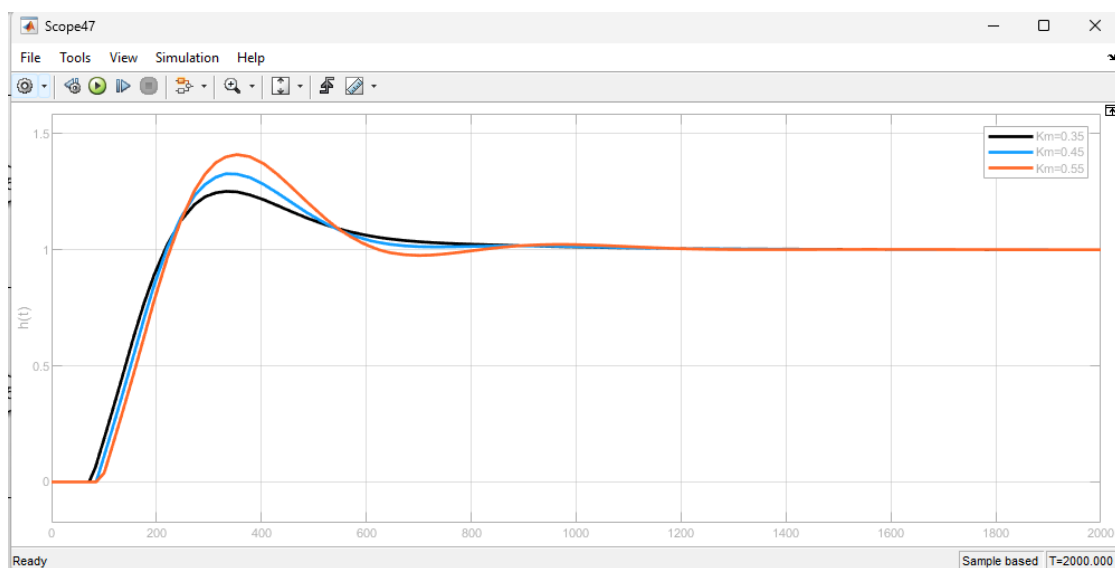


Рисунок 2.35 – Графіки перехідних процесів

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-11386.0011.002.АТХ.П

Лист

52

Обрахуємо показники якості (табл 2.10)

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

Показник τ	75	85	95
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0,23	0,23	0.4
Перерегулювання σ , %	23	23	40
Степінь затухання, ψ	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	1000	800	1000

Прорахуємо коефіцієнти чутливості для САР (табл 2.11).

Використаємо формулу:

$$K_s = \frac{\left| \frac{Q_n - Q_c}{Q_c} \right|}{\left| \frac{P_n - P_c}{P_c} \right|}$$

Таблиця 2.11 – коефіцієнти чутливості для САР

K_m	T_m	τ	K_s
0.35	720	85	1,95
0.45	720	85	-
0.55	720	85	3,52
0.45	700	85	0
0.45	720	85	-
0.45	740	85	0
0.45	720	75	0
0.45	720	85	-
0.45	720	95	6,28

Побудуємо графік залежності зміни динамічної похибки відповідно до зміни параметрів об'єкту (рис 2.36)

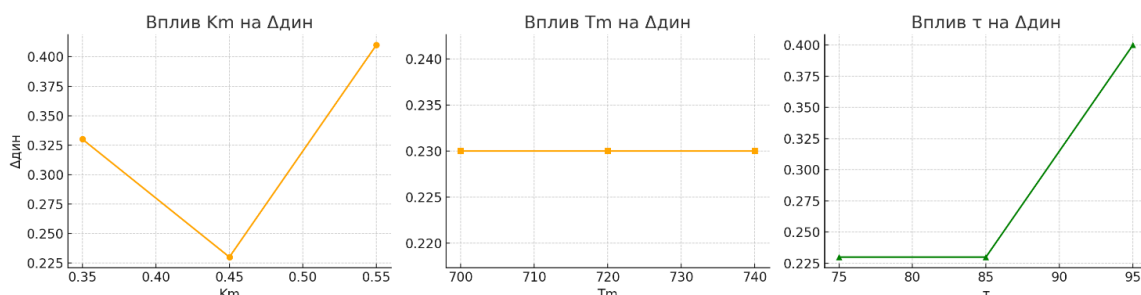


Рисунок 2.36 – Вплив параметрів на динамічну похибку

2.2.10 Висновки щодо роботоздатності РВК САР

САР температури повітря в приміщенні є працездатною, оскільки розрахований ПІ-регулятор забезпечує дотримання основних критеріїв якості регулювання, таких як перерегулювання та статична похибка. Проведений аналіз чутливості підтвердив адекватну реакцію системи на зміни параметрів об'єкта керування.

Крім того, розраховані показники надійності та часу безвідмовної роботи перебувають у межах допустимих значень, що додатково підтверджує придатність системи до експлуатації.

РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЕКТУ

3.1 Схема функціональна автоматизації ТОУ

Схему було описано в розділі 1.5 поточного документу.

3.2 Схема структурна ПТК

Схему було описано в розділі 1.6 поточного документу..

3.3 Схема принципова електрична

На принциповій електричній схемі (рис 3.1) зображено електричні підключення пристроїв та засобів автоматизації між собою.

Центральним елементом системи керування є ПЛК, який живиться від 24В постійного струму, що видається блоком живлення.

Усі датчики температури, перепаду тиску, концентрації CO² підключаються до ПЛК за двопровідною схемою.

Частотні перетворювачі керуються по протоколу ModBus RTU та додатковим сигналом дозволу з ПЛК.

Усе електричне обладнання захищене автоматичними вимикачами, підібраними за номіналом струму.

В щит заходить 3 фази змінного струму, що обгрунтовано використанням трифазних вентиляторів.

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

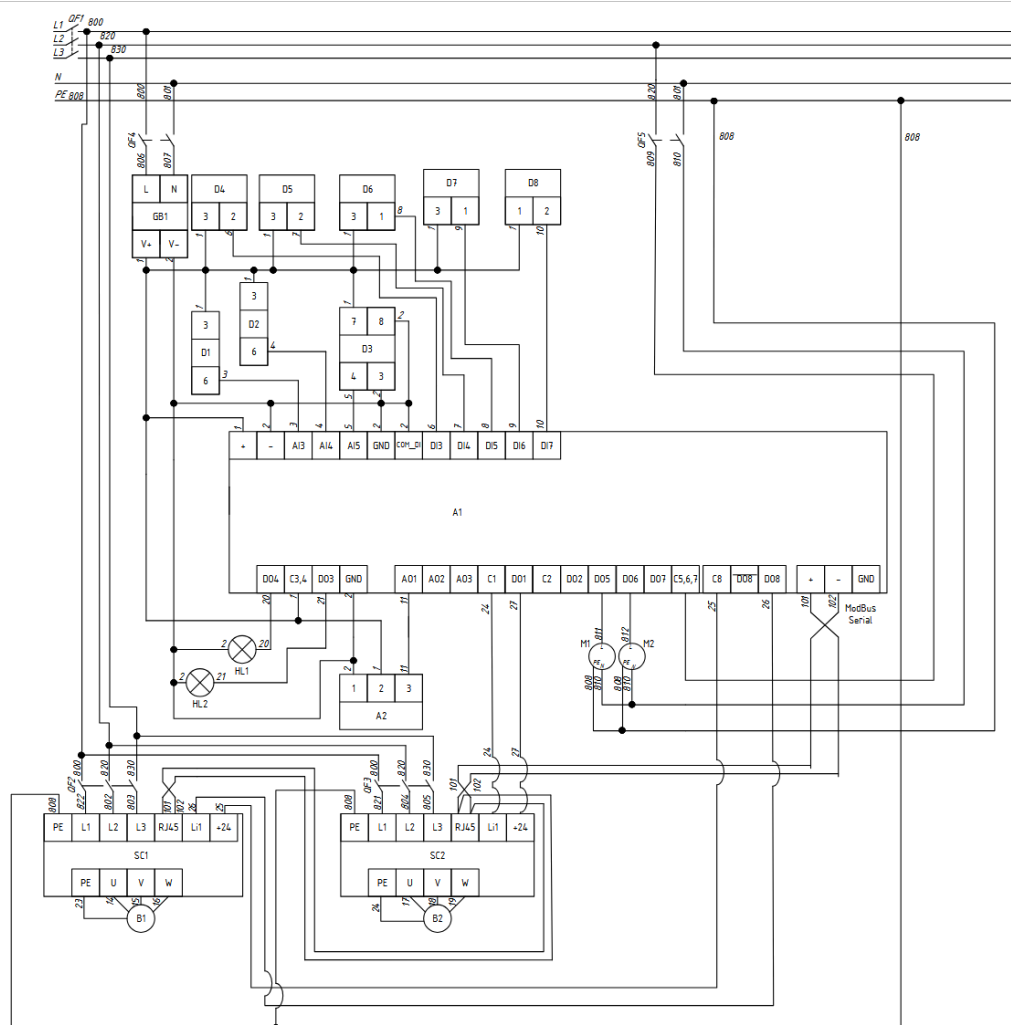


Рисунок 3.1 – Схема принципова електрична

3.4 Креслення загального виду щита

На схемі щита (рис 3.2) зображено загальний вигляд щита керування. Усе обладнання змонтовано на DIN-рейки та всі з'єднання проходять через кабельні канали до клем, на яких відбувається розмноження сигналу та прийом дротів з зовнішнього обладнання.

На фасаді щита розташовано світлосигнальну арматуру для сигналізації про визначені події системи керування.

Щит обрано за розмірами 500x500x250 та зі ступенем захисту IP66.

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

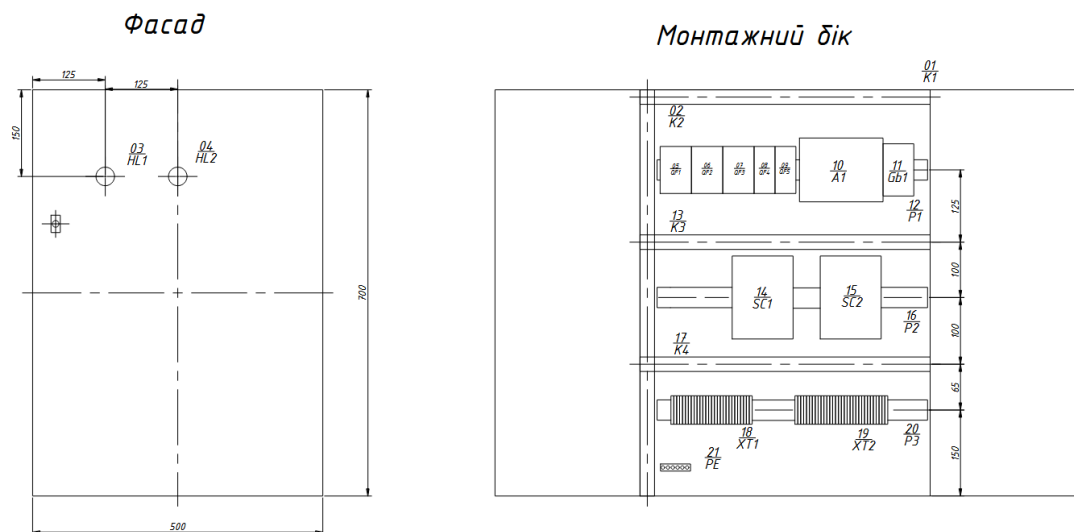


Рисунок 3.2 – Креслення загального вигляду щита

3.5 Схема зовнішніх з'єднань

На схемі зовнішніх з'єднань (рис 3.3) та підключень зображено підключення давачів, виконавчих механізмів та двигунів до щита автоматизації.

Вказано якими саме кабелями, до яких місць підключення та прораховано орієнтовну довжину кабелів. В даному проєкті для підключення живлення пристроїв використовувався кабель ВВГ-нг, а для підключення датчиків – контрольний кабель КВВГ-нг.

Детальна інформація про перетин жил в кабелі написана в правій частині схеми із зазначенням порядкових номерів кабелів.

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Підключення частотних перетворювачів відбувається за допомогою схеми під'єднання «шина» (особливість протоколу ModBusRTU) та екранованим кабелем FTP CAT5e, для зменшення наводок сигналу. Екран з одного боку підключається до заземлення задля відводу наводок до землі.

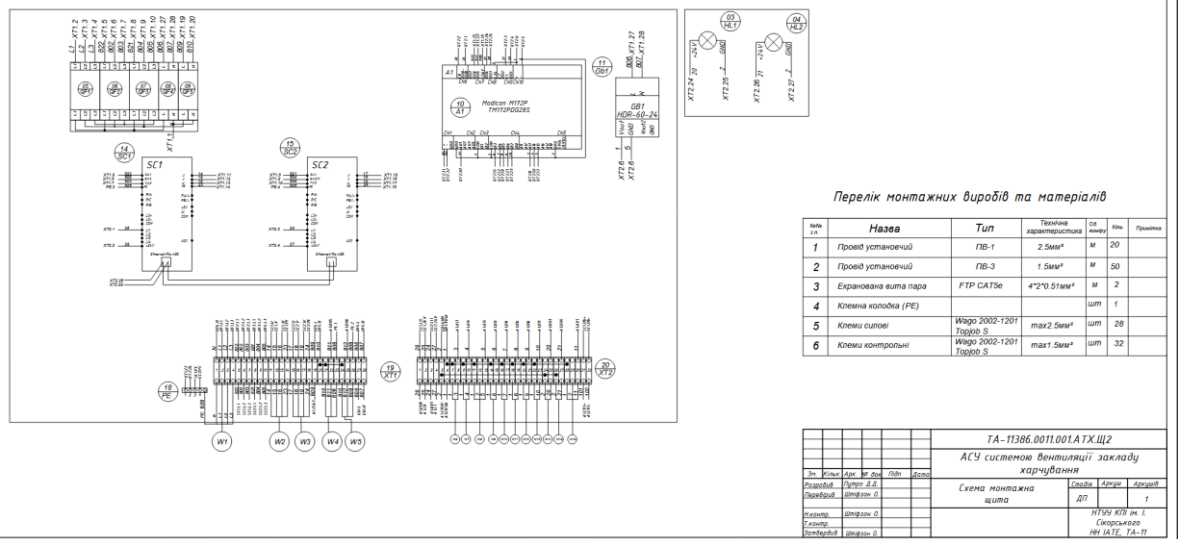


Рисунок 3.4 – Схема монтажна щита

3.7 Специфікація обладнання

В специфікації обладнання (рис. 3.5-3.6) наведено перелік усіх пристроїв, витратних матеріалів, які необхідні для впровадження розробленої схеми на об'єкті.

Специфікацію поділено на розділи, за якими зручно підбирати обладнання. При виборі обладнання перевага надавалась обладнанню українського виробника, але при умові якості підібраних приладів.

В розділі «Прилади» наведено усі давачі, які вимірюють необхідні параметри, наведені в п. 1.3, таблиця 1.1 даного проєкту.

В розділі «Комплекси технічних засобів» наведено ПЛК, частотні перетворювачі та автоматичні вимикачі, які захищають електричне обладнання.

В розділі «Трубопровідна арматура» наведено виконавчі механізми, вентилятори та циркуляційні насоси, які необхідні для функціонування системи вентиляції.

В розділі «Щити та пульти» наведено перелік засобів, які необхідні для збірки щита керування установкою, а саме клеми, дін-рейки, кабель канали, сам щит.

В розділі «Кабелі і дроти» наведено перелік усіх проводів та кабелів, які необхідні для підключення технічних засобів автоматизації між собою.

Позиція	Найменування та технічна характеристика	Тип, марка, позначення документа опитувального листа	Код обладнання виробу, матеріала	Завод-виробитель	Одиниця виміру	Кількість	Маса одиниці, кг	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Прилади								
1а,1б	Датчик температури -50...200°C (4...20 nA)	MBT 5252		Danfoss(Данія)	Шт.	1		
1а	Температура зовнішнього повітря -20...30°C							
1б	Температура припливного повітря 20°C							
1в	Кінцатний датчик температури 0...50°C (0...10 В)	TTA		Industrie Technik (Італія)	Шт.	1		
2а	Датчик вмісту CO2 0...2000ppm (4...20 nA)	QPM2100		Siemens(Німеччина)	Шт.	1		
3а,3б, 4а,4б	Датчик перепаду тиску пресостат 20...300 Па	01APS-10R		Belimo(Швейцарія)	Шт.	6		
7а,7б	Механічне реле перепаду тиску 0,05...0,6 МПа	PTM55-D		AQteck(Україна)	Шт.	2		
5а	Капілярний термостат для захисту від замерзання -30...15°C	KP61		Danfoss(Данія)	Шт.	1		
HL1+HL2	Світло-сигнальна лампа,червона 24В	XB7EV04BP			Шт.	3		
Комплекси технічних засобів								
1б	Програмований контролер з дисплеєм 288х/вих	TM172PDG28S		Schneider Electric (Франція)	Шт.	1		
2а,2б	Перетворювач частоти ATV130, 15кВт 380В	ATV310HU15ME		Schneider Electric (Франція)	Шт.	2		
QF1	Вимикач автоматичний Schneider Electric	RESI9 3P 16A		Schneider Electric (Франція)	Шт.	1		
QF2-QF3	Вимикач автоматичний Schneider Electric	RESI9 3P 10A		Schneider Electric (Франція)	Шт.	2		
QF4-QF5	Вимикач автоматичний Schneider Electric	RESI9 2P 2A		Schneider Electric (Франція)	Шт.	2		
GB1	Блок живлення Kraft	PSU-1203LED 24V		Kraft (Китай)	Шт.	1		
Трубопроводна арматура								
6б,6в	Електропривід повітряної заслінки, 24В	SM24A-TP		Belimo(Швейцарія)	Шт.	2		
2а,2б	Промисловий вентилятор Вентс	ВКПФ 4Д 500х300		Вентс(Україна)	Шт.	2		
10,1е	Електропривід шарового клапана, 24В, 0-10В	LR24A-SR		Belimo(Швейцарія)	Шт.	2		
	Циркуляційний насос 75Вт 40л/хв	LP525-4/180C		WETRON(Китай)	Шт.	2		

						ТА-11386.0011.001.АТХ.С		
						Автоматизація системи вентиляції		
						закладу харчучання		
Зм	Кільк	Дир	М	Вик	Пит	Дого		
Розробий	Питро Д.Д.							
Перевірив	директор О.П.							
Т.Контроль								
Н.Контроль	директор О.П.							
Заставив	Болещук В.А.							

Специфікація обладнання				Спеція	Архив	Архив
				ДП	1	
				КТР ім.І.Скорошова,НН		
				ІАТЕ, зд.ТА-11		

РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА

4.1 Програмування функціональності ПЛК

Враховуючи те, що ПЛК підтримує середовище розробки EcoStructure Machine Expert, програмування функціональності ПЛК відбувалося в ньому.

Наведемо контур регулювання температурою повітря в приміщенні.

На рисунку 4.1 зображено перелік змінних, які були використані.

#	Address	Name	Installer type	IEC type	Size	Default value	Min	Max	Scale
1	16384	SetPoint	Signed 16-bit	INT	0				1
2	16385	ErrorVent	Signed 16-bit	BOOL	0				1
3	16386	ErrorHeat	Signed 16-bit	BOOL	0				1
4	16387	ErrorDump	Signed 16-bit	BOOL	0				1
5	16388	GlobalError	Signed 16-bit	BOOL	0				1
6	16389	ErrorTechValue	Signed 16-bit	BOOL	0				1
7	16390	Hysteresys	Signed 16-bit	INT	0				1
8	16391	ResetAlarm	Signed 16-bit	BOOL	0				1
9	16392	LowValueError	Signed 16-bit	INT	0				1
10	16393	HighValueError	Signed 16-bit	INT	0				1

	Name	Type	Address	Array	Init value	Attribute	
1	TON_1	TON	Auto	No		..	
2	PID	PIDAdvanced	Auto	No		..	
3	Kp	REAL	Auto	No		..	
4	Ti	UINT	Auto	No		..	
5	Td	UINT	Auto	No		..	
6	XMan	BOOL	Auto	No		..	
7	RMan	REAL	Auto	No		..	
8	rHigh	REAL	Auto	No		..	
9	rLow	REAL	Auto	No		..	
10	iErrorValue	INT	Auto	No		..	

Рисунок 4.1 – Перелік використаних змінних

Контур обробки аварій зображено на рисунку 4.2.

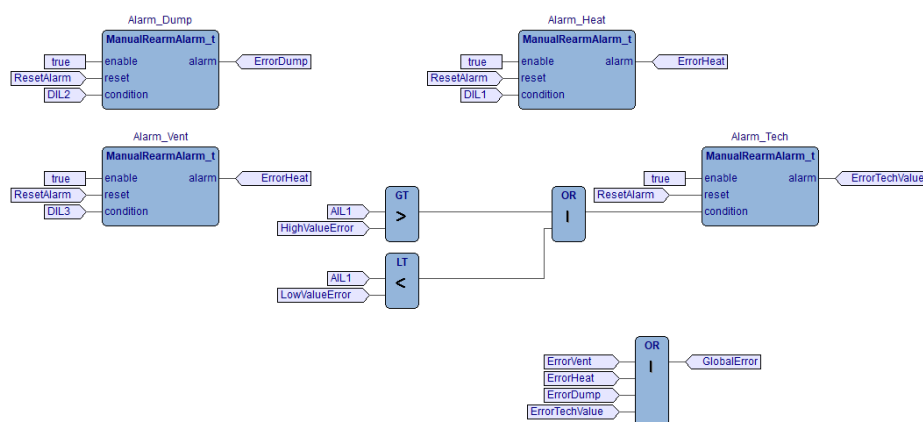


Рисунок 4.2 – Контур обробки аварій в системі

Контур регулювання з ПІ регулятором зображено на рисунку 4.3.

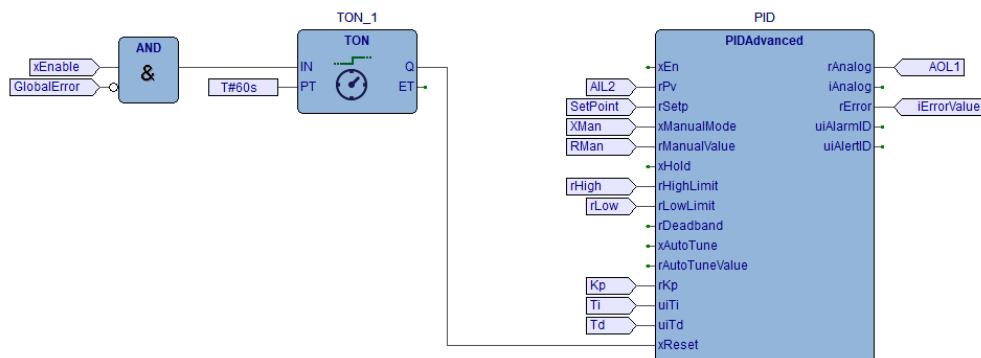


Рисунок 4.3 – Контур регулювання

Для отримання коректних значень на входах та видачі коректних значень на виходи налаштуємо масштабування входів/виходів (рис 4.4).

Address	Name	Value	Um	Default	Min	Max	Description
15716	Par_TAB	0	num	0	0	65535	Tab (map code)
15717	Par_POLI	2049	num	2049	0	65535	Polycarbonate code
15719	Par_PARAMOD	False	flag	False	0	1	Parameter modified
15725	Temp_UM	0=°C	num	0=°C	0	1	Unit of temperature measurement
15726	Cfg_AI1	2=NTC(103AT)	num	2=NTC(103AT)	0	11	Type of analogue input AI1
15727	Cfg_AI2	2=NTC(103AT)	num	2=NTC(103AT)	0	11	Type of analogue input AI2
15728	Cfg_AI3	2=NTC(103AT)	num	2=NTC(103AT)	0	11	Type of analogue input AI3
15729	Cfg_AI4	2=NTC(103AT)	num	2=NTC(103AT)	0	11	Type of analogue input AI4
15730	Cfg_AI5	2=NTC(103AT)	num	2=NTC(103AT)	0	11	Type of analogue input AI5
15731	Cfg_AI6	2=NTC(103AT)	num	2=NTC(103AT)	0	11	Type of analogue input AI6
16100	Cfg_AI7	2=NTC(103AT)	num	2=NTC(103AT)	0	11	Type of analogue input AI7
16101	Cfg_AI8	2=NTC(103AT)	num	2=NTC(103AT)	0	11	Type of analogue input AI8
15748	Calibration_AI1	0	digit	0	-1000	1000	Analogue input AI1 differential
15749	Calibration_AI2	0	digit	0	-1000	1000	Analogue input AI2 differential
15750	Calibration_AI3	0	digit	0	-1000	1000	Analogue input AI3 differential
15751	Calibration_AI4	0	digit	0	-1000	1000	Analogue input AI4 differential
15752	Calibration_AI5	0	digit	0	-1000	1000	Analogue input AI5 differential
15753	Calibration_AI6	0	digit	0	-1000	1000	Analogue input AI6 differential
16118	Calibration_AI7	0	digit	0	-1000	1000	Analogue input AI7 differential
16119	Calibration_AI8	0	digit	0	-1000	1000	Analogue input AI8 differential
15774	Addr_RS485_OB	1	num	1	0	255	RS485-2 On Board address
15775	Proto_RS485_OB	3=Modbus/RT	num	3=Modbus/RT	2	4	Select RS485-2 On Board protocol

Рисунок 4.4 – Налаштування масштабування сигналів

4.2 Програмування функціональності SCADA-системи

SCADA-систему реалізовано в середовищі Indusoft WebStudio. Дані з ПЛК отримує по протоколу ModBus TCP.

Наведемо основні екрани системи: Сторінка авторизації (рис.4.5), головне меню (рис 4.6), мнемосхема об'єкта (рис 4.7), обробка аварій (рис 4.8).

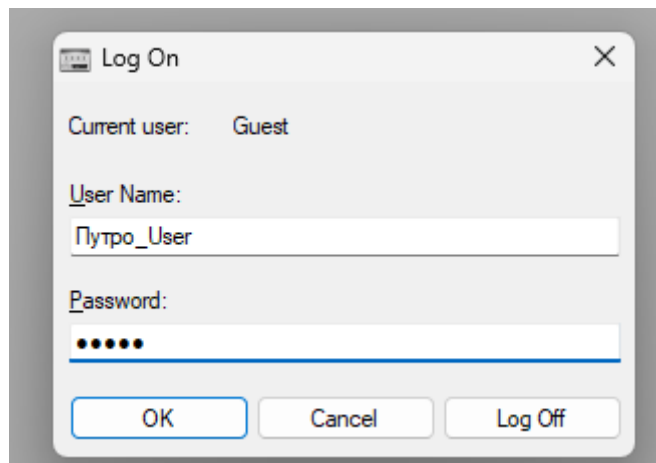


Рисунок 4.5 – Сторінка авторизації

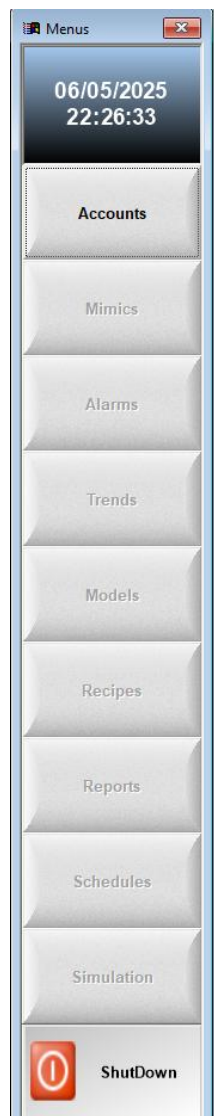


Рисунок 4.6 – Головне меню

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

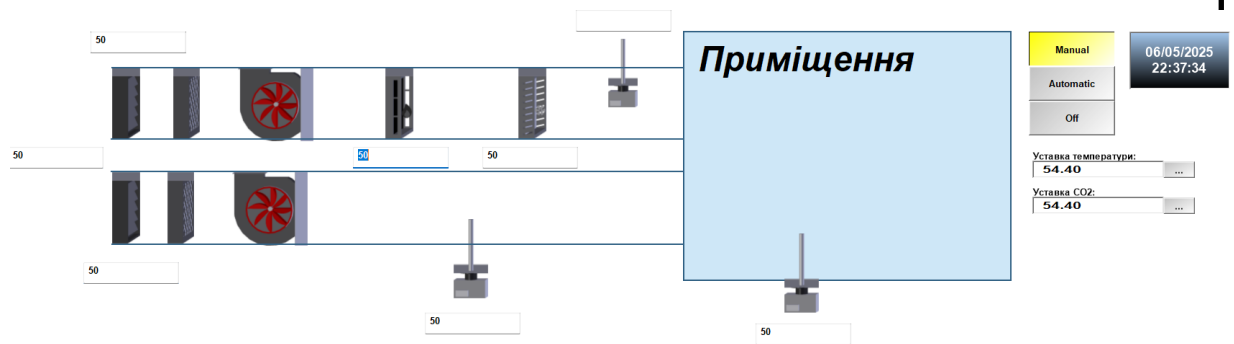


Рисунок 4.7 – Мнемосхема ТОУ

Activation Ti...	Tag Name	Message
06/05/2025 22:27:57	TestAnaITag1	ErrorPV
06/05/2025 22:27:57	TestAnaITag2	ErrorSP
06/05/2025 22:27:57	CVcounter	
06/05/2025 22:27:57	CVcounter	
06/05/2025 22:27:57	PVcounter	ErrorHeat
06/05/2025 22:27:57	PVsar	
06/05/2025 22:27:57	PVsar	

Activation Ti...	Tag Name	Message
06/05/2025 22:37:45		Close Screen:putroscreen.scc
06/05/2025 22:27:57	CVcounter	
06/05/2025 22:27:57	CVcounter	
06/05/2025 22:27:57	CVcounter	
06/05/2025 22:27:57	CVcounter	
06/05/2025 22:27:57	PVsar	
06/05/2025 22:27:57	PVsar	
06/05/2025 22:27:57	PVsar	
06/05/2025 22:27:57	PVsar	
06/05/2025 22:28:57		Close Screen:1.menu.scc
06/05/2025 22:26:20	CVcounter	
06/05/2025 22:26:20	CVcounter	
06/05/2025 22:26:20	PVsar	
06/05/2025 22:26:20	PVsar	

Рисунок 4.8 – Обробка аварій

РОЗДІЛ 5 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК

5.1 Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ

На рисунку 5.1 зображено схему структурну полігону.

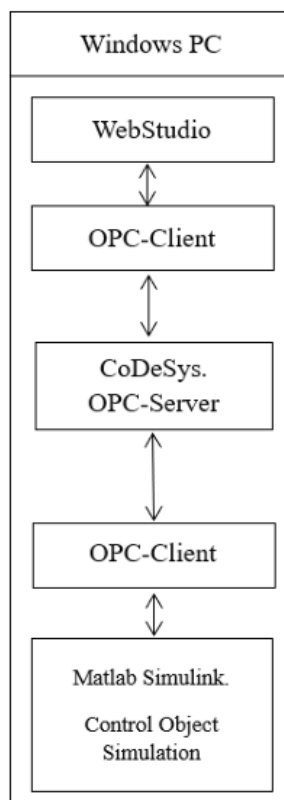


Рисунок 5.1 – Схема структурна полігону

У цьому випадку для моделювання автоматизованої системи технічного об'єкта управління застосовується програмно-апаратний симулятор, що забезпечує віртуальну взаємодію між основними компонентами системи. Для реалізації використовуються програмні засоби MATLAB Simulink, CoDeSys (softPLC) та WebStudio (SCADA). Обмін даними між софт ПЛК, математичною моделлю та SCADA-системою здійснюється за протоколом OPC DA. Імітаційне моделювання дає змогу досліджувати динаміку роботи системи, оцінювати її працездатність, функціональність та надійність. У цій структурі CoDeSys виконує функції програмного контролера, MATLAB Simulink – моделі об'єкта керування, а WebStudio забезпечує візуалізацію й диспетчеризацію.

5.2 Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink

На рисунку 5.2 зображено універсальну модель ТОУ.

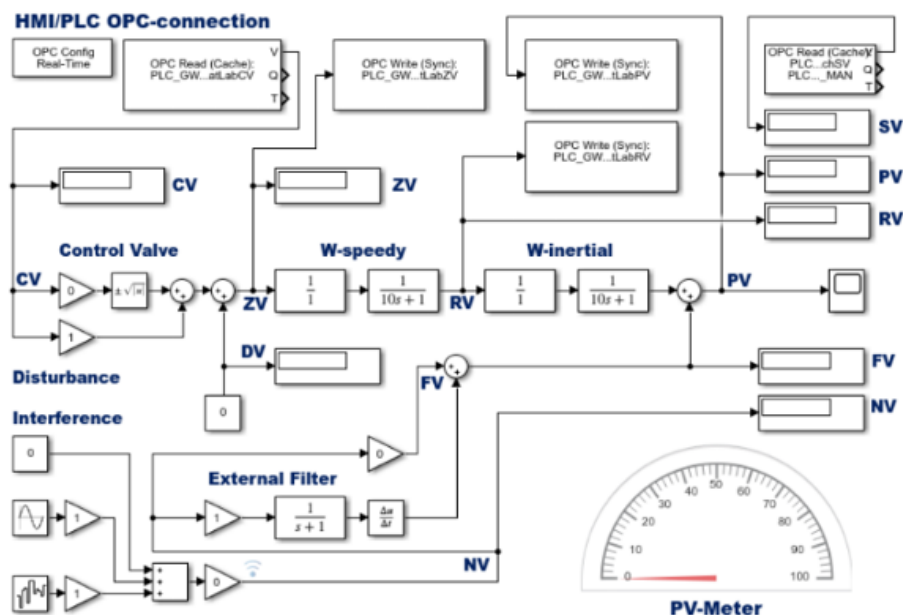


Рисунок 5.2 – Універсальна модель ТОУ

У середовищі MATLAB Simulink було змодельовано універсальний об'єкт, що слугує для аналізу роботи системи керування. Для організації зовнішньої взаємодії з іншими компонентами системи використовувалися спеціалізовані блоки: OPC Config для налаштування підключення, OPC Read для зчитування даних та OPC Write для передавання сигналів на керуючі елементи.

5.3 Реалізація контролерної функціональності САР в софтПЛК CoDeSys

Код для керування САР описано в розділі 4.1 поточного проєкту.

5.4 Реалізація супервізорної HMI-Standard функціональності в HMI/SCADAсистемі WebStudio

Візуалізацію реалізовано та описано в розділі 4.2 поточного проєкту.

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

Для цього в SCADA-системі реалізовано вікна «Recipes» (рис 5.3) та «Reports» (рис 5.4) для вибору, створення рецептів та створення звітів про роботу відповідно.

Class Formula:

SVsar	SVcounter	Name	EnableLoad	EnableExec	SVsarMAN	SVcounterMAN
50	60	CDS	0	0	50	60

Update Formula 1 Save Recipe 1 Load Recipe 1 Load Disabled

SVsar: ??????? PVcounter: ??????? Exec Disabled

Formula.SVsarMAN: 50 Formula.SVcounterMAN: 60 Formula.Name: CDS

Рисунок 5.3 – Вікно «Recipes»

Create Current RTF Report 1 Create Historical CSV Report Trend 1

Append to Current RTF Report 1 Requery

HSTReport.StartDate: 12/05/2020 HSTReport.StartTime: 00:02:00 HSTReport.Duration: 0.2

ID	Date	Time	SVsar	PVsar	CVsar	ZVsar	RVsar	PVcounter	CVcounter	OEExar	OTDsar	RMYear	TestAnaTag1	TestAnaTag2
1	14/05/2021	11:25:00	75.000000	62.010319	56.008438	65.920425	64.741463	60.000000	1.000000	-1.597936	0.000000	0.746779	50.000000	50.000000
2	14/05/2021	11:25:00	75.000000	62.010319	56.008438	65.920425	64.741463	60.000000	1.000000	-1.597936	0.000000	0.746779	50.000000	50.000000
3	14/05/2021	11:25:00	75.000000	62.010319	56.008438	65.920425	64.741463	60.000000	1.000000	-1.597936	0.000000	0.746779	50.000000	50.000000
4	14/05/2021	11:25:00	75.000000	62.010319	56.008438	65.920425	64.741463	60.000000	1.000000	-1.597936	0.000000	0.746779	50.000000	50.000000
5	14/05/2021	11:25:00	75.000000	62.010319	56.008438	65.920425	64.741463	60.000000	1.000000	-1.597936	0.000000	0.746779	50.000000	50.000000
6	14/05/2021	11:25:00	75.000000	62.010319	56.008438	65.920425	64.741463	60.000000	1.000000	-1.597936	0.000000	0.746779	50.000000	50.000000
7	14/05/2021	11:25:00	75.000000	62.010319	56.008438	65.920425	64.741463	60.000000	1.000000	-1.597936	0.000000	0.746779	50.000000	50.000000
8	14/05/2021	11:25:00	75.000000	62.010319	56.008438	65.920425	64.741463	60.000000	1.000000	-1.597936	0.000000	0.746779	50.000000	50.000000
9	14/05/2021	11:25:00	75.000000	62.010319	56.008438	65.920425	64.741463	60.000000	1.000000	-1.597936	0.000000	0.746779	50.000000	50.000000
10	14/05/2021	11:25:01	75.000000	62.135159	56.098053	66.031250	64.846115	60.000000	1.000000	-1.572968	0.000000	0.747974	50.000000	50.000000
11	14/05/2021	11:25:01	75.000000	62.135159	56.098053	66.031250	64.846115	60.000000	1.000000	-1.572968	0.000000	0.747974	50.000000	50.000000
12	14/05/2021	11:25:01	75.000000	62.135159	56.098053	66.031250	64.846115	60.000000	1.000000	-1.572968	0.000000	0.747974	50.000000	50.000000
13	14/05/2021	11:25:01	75.000000	62.135159	56.098053	66.031250	64.846115	60.000000	1.000000	-1.572968	0.000000	0.747974	50.000000	50.000000
14	14/05/2021	11:25:01	75.000000	62.135159	56.098053	66.031250	64.846115	60.000000	1.000000	-1.572968	0.000000	0.747974	50.000000	50.000000
15	14/05/2021	11:25:01	75.000000	62.135159	56.098053	66.031250	64.846115	60.000000	1.000000	-1.572968	0.000000	0.747974	50.000000	50.000000
16	14/05/2021	11:25:01	75.000000	62.135159	56.098053	66.031250	64.846115	60.000000	1.000000	-1.572968	0.000000	0.747974	50.000000	50.000000
17	14/05/2021	11:25:01	75.000000	62.135159	56.098053	66.031250	64.846115	60.000000	1.000000	-1.572968	0.000000	0.747974	50.000000	50.000000
18	14/05/2021	11:25:01	75.000000	62.135159	56.098053	66.031250	64.846115	60.000000	1.000000	-1.572968	0.000000	0.747974	50.000000	50.000000
19	14/05/2021	11:25:02	75.000000	62.287178	56.208088	66.120621	64.972656	60.000000	1.000000	-1.542564	0.000000	0.749441	50.000000	50.000000
20	14/05/2021	11:25:02	75.000000	62.287178	56.208088	66.120621	64.972656	60.000000	1.000000	-1.542564	0.000000	0.749441	50.000000	50.000000
21	14/05/2021	11:25:02	75.000000	62.287178	56.208088	66.120621	64.972656	60.000000	1.000000	-1.542564	0.000000	0.749441	50.000000	50.000000

Рисунок 5.4 – Вікно «Reports»

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці - це комплексна система правових, організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних та профілактичних заходів, що спрямовані на збереження життя і здоров'я працівників у процесі трудової діяльності. Стан охорони праці безпосередньо впливає як на соціальне благополуччя працівників, так і на ефективність діяльності підприємства в цілому [5].

Незадовільний стан охорони праці може призвести до підвищеного травматизму, захворюваності, матеріальних втрат, а в окремих випадках - до катастрофічних наслідків для персоналу і майна. Натомість впровадження системного підходу до безпеки праці забезпечує не лише відповідність законодавству, а й зниження ризиків, зростання продуктивності праці та покращення умов роботи.

У дипломному проєкті розглядається автоматизована система вентиляції закладу громадського харчування. Система призначена для забезпечення нормативного повітрообміну в кухонних і обідніх зонах, а також підтримання мікрокліматичних параметрів відповідно до вимог санітарних норм.

До складу автоматизованої системи входять витяжні та припливні вентилятори, калорифери, роторний рекуператор, електроприводи для заслінок, датчики температури, вологості та тиску. Обладнання встановлюється у технічному приміщенні з виділеним щитом керування. Керування здійснюється через ПЛК, який підключено до локальної SCADA-системи.

Умови експлуатації вентиляційного обладнання пов'язані з такими факторами, як підвищена вологість, наявність парів жиру та пилу, шум, вібрації від вентиляторів, електричні мережі 220 В, а також ризик виникнення пожежі через відкладення жирів частинки у повітроводах.

Для забезпечення виконання діючих вимог в сфері охорони здоров'я та безпеки праці у даному розділі запропоновані необхідні технічні рішення

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та організаційні заходи з безпеки експлуатації засобів автоматизації та вентиляційного обладнання (електробезпека), а також з гігієни праці та виробничої санітарії (мікроклімат та склад повітря, освітлення) і визначені основні заходи з пожежної безпеки та профілактики.

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

У проєкті передбачено комплекс технічних рішень і організаційних заходів, спрямованих на забезпечення безпечної експлуатації вентиляційної системи та засобів автоматизації в умовах закладу громадського харчування.

Технічні рішення, прийняті у проєкті, враховують вимоги[7][8]:

- ДСН 3.3.6.042 – 99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [6].
- ДБН В.2.5-28-2018. Державні будівельні норми. Природне і штучне освітлення [7].
- ДСТУ ISO 9241-1:2003. Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі [8].
- Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 08.04.2014 № 248 «Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» [9].
- Правила улаштування електроустановок. Затв. наказом Міністра енергетики та вугільної промисловості України від 21 липня 2017 р. № 476.[10]
- ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом.

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ДСТУ EN 61140:2015. Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання[11].
- ДСТУ 7237:2011. Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту.[12]
- ІЕС 60364-4-42:2014. «Low-voltage electrical installations. Protection for safety. Protection against thermal effects» - /Електроустановки низьковольтні. Основні положення, оцінка загальних характеристик, терміни та визначення/. [13]
- НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. Затвердж. наказом Міністерства внутрішніх справ України 30.12.2014 р. № 1417.[14]
- ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [15]
- НАПБ В.01.056-2013/111 Пожежна безпека електроустановок. [16]
- ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту». [17]

Обладнання автоматизованої системи вентиляції розташоване у спеціально відведеному технічному приміщенні площею 5 м², де забезпечується централізований контроль та управління вентиляційними потоками. Контроль за параметрами здійснюється за допомогою локального щита керування, до якого підключені виконавчі механізми (вентилятори, приводи заслінок, калорифер тощо), а також датчики температури, вологості, перепаду тиску та інші елементи системи. Для передачі інформації між приладами використовується електрична система керування відповідно до розробленої електричної принципової схеми. Це потребує суворого дотримання правил прокладки та експлуатації кабельних трас, забезпечення правильного маркування і технічного обслуговування ліній зв'язку.

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Робоче місце оператора може бути організоване в окремому приміщенні (диспетчерській), яке відокремлене від щитової і основного вентиляційного обладнання. У ньому встановлюється персональний комп'ютер з програмним забезпеченням для диспетчеризації, що дозволяє здійснювати контроль і керування параметрами мікроклімату дистанційно. Робоче місце спроектоване з урахуванням принципів ергономіки, технічної естетики та антропометричних характеристик людини відповідно до вимог ДСТУ ISO 9241-1:2003. Мінімальна площа на одну особу становить 4,5 м², а об'єм робочої зони - не менше 15 м³. Освітлення, вентиляція та кольорове оформлення приміщення виконані згідно з вимогами санітарних норм - стіни пофарбовані у спокійні, малоконтрастні кольори, а підлога є неструмопровідною, рівною та неслизькою.

Розміщення обладнання в технічному приміщенні спроектовано таким чином, щоб забезпечити вільний доступ до всіх елементів для обслуговування, з дотриманням мінімальної ширини проходів між пристроями не менше 0,8 м. Прилади, контролери, давачі та виконавчі механізми оснащено пояснювальними табличками з позначенням відповідних параметрів, які контролюються або регулюються, а також ідентифікаторами виконавчих пристроїв, якими вони керують.

Оскільки в складі системи використовується калорифер для підігріву повітря, його елементи можуть нагріватися до температур понад +45 °С. З метою запобігання опікам персоналу ці елементи мають теплоізоляційне покриття і марковані відповідно до норм безпеки. Крім того, усі обертові частини (вентилятори, приводи заслінок) розміщено в захисних корпусах або закрито огороженнями, які унеможливають випадковий контакт обслуговуючого персоналу.

Під час виконання профілактичних чи ремонтних робіт у приміщенні обов'язковим є встановлення попереджувальних табличок із написом «Ремонтні роботи», а доступ до устаткування здійснюється лише

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

уповноваженим персоналом із використанням засобів індивідуального захисту.

6.1.1. Електробезпека

Забезпечення електробезпеки є одним з ключових аспектів безпечної експлуатації спроектованої системи вентиляції, оскільки практично всі елементи - вентилятори, електроприводи, засоби автоматизації, датчики та щит керування - живляться від електричної мережі.

У проєкті передбачено використання електроустаткування, що працює від трифазної електромережі з номінальною напругою 220/380 В (застосоване однофазне підключення) та частотою 50 Гц. Електромережа має глухо заземлену нейтраль, що потребує застосування системи захисного заземлення TN-C-S. Такий тип мережі дозволяє забезпечити надійне відключення електроживлення від ЕУ у разі виникнення коротких замикань та перевантажень.

Приміщення, де встановлено обладнання, відповідно до ПУЕ-2017, класифікується як таке, що має підвищену небезпеку ураження електричним струмом, оскільки в ньому наявна струмопровідна підлога, підвищений рівень вологості, а також можливість одночасного дотику до металоконструкцій, що мають контакт із «землею» та до електропровідних частин корпусів електрообладнання, що вимагає впровадження додаткових засобів з електрозахисту.

Для запобігання ураженню електричним струмом реалізовано такі технічні рішення:

- струмоведучі частини електроустановок надійно ізольовані. Опір ізоляції повинен складати 1 кОм на 1 В напруги, але допускається зниження опору ізоляції до 0.5 кОм на 1 В напруги під час роботи, прокладка проводів здійснюється в гофротрубі або в металевих кабель-каналах;

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- корпуси електрощитів, клемних коробок, розподільних пристроїв виконані у закритому виконанні з індексом захисту IP65;
- всі неструмоведучі металеві частини електрообладнання з'єднані із заземлювальним контуром через РЕ-провідник згідно з вимогами ПУЕ-2017;
- передбачено встановлення пристроїв захисного вимкнення (ПЗВ) на лініях живлення з номінальним струмом витоку не більше 30 мА для додаткового захисту персоналу;
- також використано автомати максимального струмового захисту з характеристиками, що забезпечують відключення живлення ЕУ при перевантаженнях та коротких замиканнях;
- світильники змонтовано на висоті понад 2,5 м, а розетки та вимикачі - встановлені у місцях, недоступних для випадкового дотику та на відстані не менше 0,5 м від джерел вологи.

Відповідно до вимог ДСТУ EN 61140:2015 та ДБН В.2.5-82:2016 при обслуговуванні та ремонті ЕУ передбачено застосування додаткових електрозахисних засобів (діелектричні рукавички, інструмент з ізольованими рукоятками, гумові килимки перед щитом), а також застосування переносного освітлення з напругою не більше 42 В.

Для додаткового підвищення безпеки електроустановки періодично підлягають перевірці: контур заземлення - не рідше одного разу на 3 роки, справність ПЗВ та автоматів максимального струмового захисту - під час кожного профілактичного огляду, ізоляція кабелів - за графіком експлуатаційного обслуговування.

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

Умови праці персоналу, що обслуговує автоматизовану систему вентиляції, визначаються характеристиками приміщення, в якому розміщене

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обладнання, а також організацією робочого місця оператора. Оскільки управління вентиляційною системою здійснюється дистанційно, робоче місце оператора зазвичай розташовується в окремій диспетчерській кімнаті, яка обладнана комп'ютером з встановленим програмним забезпеченням для моніторингу та керування параметрами повітрообміну.

6.2.1. Мікроклімат робочої зони

Мікроклімат робочої зони - це сукупність параметрів внутрішнього повітряного середовища приміщення, які впливають на теплообмін між тілом людини та навколишнім середовищем. Основними мікрокліматичними показниками є температура повітря, його відносна вологість, швидкість руху повітря, а також інтенсивність теплового випромінювання.

Згідно з ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», у приміщенні, де розташовано щит автоматизації та інше вентиляційне обладнання, виконуються роботи категорії 1б (роботи, що пов'язані з ходінням та супроводжуються деяким фізичним напруженням)

Виходячи з цієї категорії, нормативні значення параметрів мікроклімату мають відповідати таким межам (табл. 6.1):

Таблиця 6.1 - Оптимальні параметри повітряного середовища

Пора року	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	18-22	40-60	0,1-0,3
Теплий	20-24	40-60	0,1-0,4

З метою забезпечення вказаних умов у проєкті передбачено реалізацію припливно-витяжної вентиляції з рекуперацією тепла, яка дозволяє стабілізувати температуру і вологість повітря протягом усього року. У холодний період додатковий обігрів припливного повітря здійснюється за

допомогою електрокалорифера, що керується автоматизовано. Вентиляційна установка обладнана температурними та вологісними датчиками, які дозволяють оперативно реагувати на відхилення від нормативних значень.

Для виключення локальних зон перегріву або переохолодження розміщення повітропроводів та дифузорів виконано відповідно до інженерних рекомендацій із рівномірного розподілу потоків.

Параметри мікроклімату відображаються на дисплеї системи диспетчеризації, що дозволяє оператору контролювати температуру та вологість у приміщенні у реальному часі. У разі відхилення параметрів від встановлених меж система подає сигнал тривоги.

6.2.2. Склад повітря робочої зони

Чистота повітря у робочій зоні є важливим чинником гігієни праці, особливо в умовах експлуатації вентиляційного обладнання в закладі громадського харчування. У процесі роботи вентиляційної системи можливе потрапляння до повітряного середовища таких забруднювальних речовин, як жирова пара, пилові частинки, продукти згоряння жирів відкладень, а також вторинні домішки з кухонної зони.

Згідно з ДСТУ EN 482:2022 Повітря робочої зони. Загальні вимоги до характеристик методик вимірювання вмісту хімічних речовин, вміст шкідливих речовин у повітрі приміщень не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК). Найбільш ймовірними забруднювачами є:

- аерозолі органічного походження (жири, зважені частинки);
- формальдегід (як побічний продукт термічної обробки продуктів);
- діоксид вуглецю - при недостатньому повітрообміні.

Для підтримання безпечного складу повітря у проєкті передбачено низку заходів. Система вентиляції оснащена фільтрами грубої та тонкої очистки повітря, які встановлені на припливних і витяжних лініях. Це дозволяє

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ефективно видаляти пил, жирові частинки та мікрочастинки з повітря, яке надходить до приміщення або видаляється з нього.

Також реалізована механічна загальнообмінна вентиляція, що забезпечує кратність повітрообміну відповідно до норм для технічних приміщень. Природна вентиляція забезпечується через наявність віконного отвору, який може використовуватись для аерації в разі знеструмлення системи.

У разі перевищення допустимих показників (наприклад, при зниженні тяги або засміченні фільтрів) передбачено виведення відповідного повідомлення на дисплей автоматизованої системи керування з подальшим зупиненням обладнання, якщо цього вимагає рівень небезпеки.

6.2.3. Виробниче освітлення

Виробниче освітлення у приміщенні, де розміщено елементи автоматизованої системи вентиляції та щит керування, виконує важливу роль у забезпеченні безпечних та комфортних умов праці персоналу. Нормативні вимоги до освітлення регламентуються ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення», згідно з якими повинна бути забезпечена достатня освітленість робочих поверхонь та можливість візуального контролю параметрів системи.

Приміщення має природне освітлення, що реалізується через віконний проріз загальною площею не менше 10 % від площі підлоги. Коефіцієнт природного освітлення (КПО) становить щонайменше 1,5 %, що відповідає нормам для приміщень безперервного або періодичного перебування персоналу. У світлий час доби це дозволяє працювати без включення штучного освітлення.

Штучне освітлення реалізоване за допомогою світлодіодних світильників, які забезпечують загальне рівномірне освітлення. Рівень освітленості відповідає вимогам до технічних приміщень і становить не

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

менше 300 лк на робочих поверхнях (згідно з розрядом IV та підрозрядом «в» зорової роботи). Світильники встановлені на висоті понад 2,5 м, що забезпечує рівномірний розподіл світлового потоку та виключає утворення тіней або зон з надмірною яскравістю.

Усі елементи системи освітлення мають пиловологозахисне виконання (ступінь захисту не нижче IP54), що особливо важливо в умовах підвищеної вологості та можливого потрапляння пилу з витяжної вентиляції. Освітлювальні прилади та вимикачі встановлено у зонах, що унеможливають випадкове механічне пошкодження або контакт з вологою.

Для аварійних ситуацій передбачено можливість підключення резервного освітлення - автономного світильника над виходом, що активується при зникненні основного живлення.

6.3. Пожежна безпека та профілактика

6.3.1. Технічні рішення системи запобігання пожежі

Система вентиляції закладу громадського харчування працює в умовах підвищеної пожежної небезпеки через можливе накопичення горючого пилу, жирових відкладень у повітроводах та наявність електрообладнання. Пожежа може виникнути у разі одночасної присутності трьох чинників: горючої речовини (жир, пил, пластик), окислювача (повітря) та джерела запалювання (іскра, перегрів, коротке замикання). Тому основним завданням системи запобігання пожежі є усунення хоча б одного з цих факторів.

Приміщення, де встановлено обладнання вентиляції, згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016, віднесено до категорії В за пожежною небезпекою, а робоча зона - до класу П-П відповідно до НПАОП 40.1-1.32-01.

З метою зменшення ймовірності виникнення пожежі в проєкті реалізовано такі технічні рішення:

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

По-перше, конструкція вентиляційної системи передбачає легкий доступ до повітроводів для регулярного очищення від жиру та пилу. Закладено регламент очищення не рідше одного разу на 3 місяці, особливо у витяжних каналах кухонної зони.

По-друге, усі електричні кабелі прокладено у вогнестійких кабель-каналах або металевих трубах, а автоматичні вимикачі мають селективний захист з урахуванням струму короткого замикання. Устаткування вибрано відповідно до вимог ПУЕ.

Крім того, для усунення джерел займання:

- не використовується відкрите полум'я в технічному приміщенні;
- усі елементи з підвищеним нагріванням (калорифери, приводи заслінок) мають температурні обмежувачі та автоматичне відключення при перегріві;
- використано негорючі матеріали в обробці стін, стелі та ізоляції повітропроводів.

Також на вході до приміщення розміщено табличку з вказаною категорією приміщення за пожежною небезпекою, а всередині - інструкція з протипожежної безпеки, затверджена керівником об'єкта.

6.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

У разі виникнення пожежі на об'єкті, однією з найважливіших умов зменшення шкоди є наявність ефективної системи протипожежного захисту, яка дозволяє швидко виявити займання, локалізувати його, а також забезпечити безпечну евакуацію персоналу. Технічні рішення, реалізовані у проєкті, відповідають вимогам ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», НАПБ А.01.001-2014, ДСТУ Б В.1.1-36:2016.

Приміщення, де розташоване вентиляційне обладнання, має II ступінь вогнестійкості, а електрообладнання у вентиляційній системі відповідає умовам роботи у робочих зонах, які мають за пожежонебезпекою клас П-П і вище.

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для виявлення пожежі на ранній стадії передбачено встановлення системи автоматичної пожежної сигналізації «Сигнал-ВК6», яка включає:

- теплові та димові датчики;
- світлову та звукову сигналізацію;
- передавання тривожного сигналу до системи диспетчеризації.

Сигналізація забезпечує визначення місця займання з точністю до конкретного датчика, що дає змогу персоналу швидко зорієнтуватися та вжити необхідних дій.

Окрім сигналізації, в приміщенні щитової передбачено засоби первинного пожежогасіння. Згідно з вимогами НАПБ Б.01.008-2018, встановлено:

- вуглекислотний вогнегасник ВВК-3,5 - 1 штука для локалізації займання електрообладнання;
- два порошкових вогнегасники ВП-5 - розміщені біля виходу та на протилежній стіні, на відстані не більше 10 м від можливих джерел займання.

Для запобігання поширенню пожежі передбачено:

- герметичні введення кабелів у щити;
- застосування протипожежних перешкод (ущільнення в проходах, вогнестійка ізоляція);
- зупинка вентиляції за сигналом пожежної тривоги для запобігання поширенню диму через повітроводи.

Також передбачено:

- освітлення аварійного виходу;
- таблички з маршрутом евакуації;
- набір засобів індивідуального захисту від диму (принаймні фільтруючі маски) - за місцем чергування персоналу.

Комплекс протипожежного захисту інтегрується з автоматизованою системою керування для реагування в реальному часі на надзвичайну ситуацію.

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, розроблені технічні рішення забезпечують оперативне виявлення загоряння, попередження його поширення та створення безпечних умов для евакуації, що відповідає вимогам сучасної нормативної бази.

6.3.3. Пожежна профілактика

Пожежна профілактика є сукупністю організаційних і технічних заходів, спрямованих на недопущення виникнення пожежі, зменшення її масштабів у разі загоряння, а також підвищення рівня пожежної безпеки на об'єкті загалом. Усі профілактичні заходи розроблено згідно з вимогами ДСТУ 2272:2006[19], НАПБ А.01.001-2014[20] та НАПБ В.01.034-2005/111[21].

У рамках цього проєкту передбачено такі основні напрями пожежної профілактики:

По-перше, усі працівники, що мають доступ до обслуговування системи вентиляції, повинні проходити обов'язковий інструктаж з пожежної безпеки, а також повторне навчання щороку. Інструкції з пожежної безпеки вивішено на видимих місцях у приміщенні з обладнанням.

По-друге, здійснюється регулярне технічне обслуговування всіх елементів вентиляційної установки, включно з перевіркою щільності контактів, справності кабельних з'єднань, датчиків, автоматичних вимикачів і реле. Особлива увага приділяється чистоті повітроводів, які підлягають очищенню від жиру та пилу не рідше одного разу на 3 місяці, згідно з внутрішнім регламентом об'єкта.

Крім того, застосовуються будівельні та оздоблювальні матеріали з групи негорючих або важкогорючих, а кабелі мають вогнестійку ізоляцію. Всі кабельні вводи та отвори в перекриттях ущільнено вогнетривкими матеріалами, що запобігає поширенню вогню через суміжні приміщення.

На вході до приміщення зі щитом автоматизації встановлено табличку з вказаною категорією пожежної небезпеки приміщення (категорія В), а

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

також позначено маршрут евакуації у разі пожежі. Біля виходу з приміщення закріплено план евакуації, що відповідає стандартам оформлення.

Для обслуговуючого персоналу передбачено доступ до пожежних засобів, а також облік та контроль технічного стану вогнегасників з обов'язковим щомісячним візуальним оглядом і щорічною перевіркою за участю відповідальної особи.

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						81
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Для проведення економічного розрахунку було зібрано дані щодо вартості одиниць обладнання, яке використовувалося в проєкт[22]. На основі цієї інформації здійснено обчислення загальної вартості апаратної частини системи. Відомості про кошторис наведено в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Кошторис обладнання

№	Назва обладнання	Одиниці вимірювання	Кількість	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
1	Датчик температури МВТ 5252	шт	2	6199	12398
2	Датчик вмісту CO2 QPM2100	шт	1	6200	6200
3	Датчик перепаду тиску	шт	6	1596	9576
4	Реле перепаду тиску РТМ55-Д	шт	2	1560	3120
5	Капілярний термостат КР61	шт	1	3000	3000
6	Світлосигнальна лампа ХВ7ЕV04ВР	шт	2	150	300
7	Програмований контролер ТМ172PDG28S	шт	1	21849	21849
8	Перетворювач частоти АТV310HУ15N4Е	Шт	2	12907	25814
9	Вимикач автоматичний RESI9 3P 16A	шт	1	679	679
10	Вимикач автоматичний RESI9 3P 10A	Шт	2	600	1200
11	Вимикач автоматичний RESI9 2P 2A	Шт	2	455	910
12	Блок живлення PSU-1203LED 24V	Шт	1	923	923
13	Електропривід повітряної заслінки SM24A-TP	Шт	2	8532	17064

Кінець таблиці 7.1

№	Назва обладнання	Одиниці вимірювання	Кількість	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
14	Промисловий вентилятор ВКПФ 4Д 500х300	Шт	2	26239	52478
15	Електропривід шарового клапану LR24A-SR	Шт	2	8488	16976
16	Циркуляційний насос LP525-4/180C	Шт	2	1281	2562
17	Кабель канал	м	2.5	260	325
18	DIN рейка	м	2	52	104
19	Клеми силові	Шт	28	24	678
20	Клеми контрольні	Шт	32	20	640
21	Гребінка РЕ	Шт	1	40	1
22	Щит ІЩМ-II-500х500х250 УХЛЗ.1 IP66 NSYCRN55250P	Шт	1	5116	5116
23	Провід установчий ПВ-1	М	20	18	360
24	Провід установчий ПВ-3	М	50	11	550
25	Екранована вита пара	М	2	15	30
26	Кабель силовий негорючий ВВГ-НГ(Ls) 5х2.5мм²	М	50	97	4850
27	Кабель силовий негорючий ВВГ-НГ 4х2.5мм²	М	150	70	10500
28	Кабель контрольний негорючий КВВГнг 2х1.5мм²	М	400	21	8400
29	Кабель контрольний негорючий КВВГнг 4х2.5мм²	М	50	50	2500
30	Кабель контрольний негорючий КВВГнг 4х1.5мм²	М	150	46	6900
Всього			216003		

Задамося терміном окупності системи Ток*, який візьмемо приблизно рівним 7 років. Визначимо капітальну вартість за формулою:

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

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						83
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Закладемо вартість на проектування у відносному співвідношенні як 5% від вартості обладнання, обрахуємо: $V_{пр} = 216003 * 0.05 = 10800$ грн

Витрати на транспортування складуть близько 3% від вартості обладнання: $V_{пр} = 216003 * 0.03 = 6480$ грн

Витрати на монтаж системи складуть близько 20% від вартості обладнання: $V_{м} = 216003 * 0.2 = 43200$ грн

Витрати на пуско-налагоджувальні роботи складуть близько 10% від вартості обладнання: $V_{пр} = 216003 * 0.1 = 21600$ грн

Отже капітальна вартість:

$$\Delta K_{авт} = 216003 + 10800 + 6480 + 43200 + 21600 = 298083 \text{ грн}$$

Визначимо економію витрат після введення системи регулювання:

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

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

$$\text{Витрати на електроенергію: } B_e = C_e * T * N = 6.53 * 2500 * 2 = 32650 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

$$\text{Витрати на реновацію: } B_a = 0,15 * \Delta K_{авт} = 0,15 * 298083 = 44712 \text{ грн}$$

$$\text{Витрати на ремонти: } B_p = 0,15 * \Delta K_{авт} = 0,15 * 298083 = 44712 \text{ грн}$$

$$\text{Витрати на заробітню плату: } B_{зп} = B_z * T * n = 20000 * 8 * 1 = 160000 \text{ грн}$$

$$\Delta B_{авт} = 32650 + 44712 + 44712 + 160000 = 282\,074 \text{ грн}$$

Розрахуємо економічний ефект $E_{ф}$:

Система вентиляції, що використовує водяний калорифер у поєднанні з автоматизованим управлінням, дозволяє щороку економити близько 500 000 гривень за рахунок зменшення витрат на теплову енергію та оптимізації витрат на обслуговуючий персонал. Завдяки впровадженню автоматичного регулювання подачі теплоносія до калорифера відповідно до температури зовнішнього та внутрішнього повітря, система працює більш енергоефективно – тепло використовується лише тоді, коли це необхідно. За

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рахунок цього знижується надмірне споживання теплової енергії, і щорічна економія становить орієнтовно 100-120 гігакалорій. За поточним тарифом у 2300 грн за 1 Гкал це відповідає економії близько 230 000 гривень.

Додатково, завдяки автоматизації процесу (використання ПЛК, датчиків температури, приводів та системи дистанційного моніторингу), немає потреби у постійній присутності кількох операторів, що дозволяє скоротити щонайменше одну штатну одиницю. Середньорічні витрати на одного працівника становлять приблизно 240-265 тис. грн, що також формує значну частину загальної економії. Таким чином, сукупна річна економія за рахунок енергоефективного управління та зниження витрат на персонал становить близько 490-500 тисяч гривень. Отже, E_K для розрахунків буде рівним 500000грн:

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

$$E_{\text{ф}} = \Delta U - E_{\text{н}} * \Delta K_{\text{авт}} = (500000 - 282\,074) - 0,15 * 298083 = 173\,213 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

Розрахуємо термін окупності:

$$\Delta T_{\text{ок}} = \frac{\Delta K_{\text{авт}}}{\Delta U} = \frac{298083}{173\,213} = 1.72 \text{ роки}$$

Оскільки термін окупності входить в заданий нами максимальний термін, впровадження системи є економічно ефективним.

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						85
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломного проєкту було розроблено техноробочий проєкт автоматизованої системи керування припливно-витяжною вентиляцією для закладу харчування. Проєкт спрямовано на створення ефективної системи мікроклімату, що відповідає сучасним санітарно-гігієнічним вимогам до температури та вологості повітря в зоні приготування та прийому їжі.

На першому етапі проєктування було виконано аналіз режимних параметрів вентиляційного процесу, а також сформовано перелік необхідних функціональних можливостей системи. Вибір засобів автоматизації здійснювався на основі аналізу умов експлуатації та вимог до точності регулювання. Як основний елемент керування обрано програмований логічний контролер Schneider Electric TM172PDG28S, що поєднує широкі можливості для роботи з аналоговими сигналами та підтримку сучасного середовища програмування EcoStruxure Machine Expert.

У рамках інженерної частини проєкту виконано повний цикл розрахунків вимірювальних і регульовально-виконавчих каналів. Налаштування параметрів ПІ-регуляторів здійснювалося двома методами: експрес-методом Chien et al. (1952) та методом РАФХ. Порівняльний аналіз перехідних характеристик, а також чутливості до збурень дозволив обрати оптимальні параметри для регуляторів. Моделювання системи було реалізовано у середовищі MATLAB Simulink, що дало змогу провести імітаційне дослідження динаміки об'єкта до етапу впровадження.

Для побудови інтерфейсу оператора та реалізації візуалізації, сигналізації й архівування даних було використано SCADA-систему Indusoft Web Studio. Була створена мнемосхема з позначенням усіх контрольних точок: температури, вологості, стану приводу та аварійних ситуацій. Завдяки зв'язку по протоколу modbus tcp система демонструє стабільну інтеграцію між усіма рівнями управління.

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						86
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особлива увага в проєкті приділялася питанням охорони праці та безпеки життєдіяльності. Розроблено систему аварійного зупину, реалізовано сигналізацію перевищення критичних параметрів, а також забезпечено електробезпеку шляхом правильно організованого заземлення та відповідності всім нормам ДСТУ і ДБН. Проведено розрахунок рівня надійності вимірювальних каналів та визначено середній час безвідмовної роботи системи.

На завершальному етапі було виконано техніко-економічний розрахунок, згідно з яким орієнтовний термін окупності системи становить 1.7 року, що свідчить про її високу економічну доцільність та перспективність впровадження. Враховуючи досягнутий рівень функціональності, гнучкість налаштувань, сумісність з сучасними засобами автоматизації та відповідність стандартам безпеки, розроблена система може бути рекомендована для практичного застосування в об'єктах харчової промисловості, де існує потреба у підтриманні стабільного мікроклімату.

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						87
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Теорія автоматичного управління: Навчальний посібник [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»; 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.
2. Технічні засоби автоматизації : навч.-метод. посібник / уклад.: А.К. Бабіченко, М. О. Подустов, І. Л. Красніков, О. Г. Шутинський, І. Г. Лисаченко, Ю. А. Бабіченко, О. М. Дзевочко, В. І. Вельма, О.В. Пугановський ; за ред. А. К. Бабіченка. – Х.: НТУ «ХПІ», 2021. – 217 с.
3. Національний стандарт України. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовних приладів і засобів автоматизації в схемах. 2008 р.
4. Боженко, М. Ф. Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря будівель [Електронний ресурс] – режим доступу <https://ela.kpi.ua/items/54703f63-284b-4926-8831-3bdee6fdf1d6>
5. Закон України «Про охорону праці», Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992, №49, ст.668
6. ДСН 3.3.6.042 – 99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
7. ДБН В.2.5-28-2018. Державні будівельні норми. Природне і штучне освітлення.
8. ДСТУ ISO 9241-1:2003. Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі.
9. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 08.04.2014 № 248 «Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу».

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						88
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 10.Правила улаштування електроустановок. Затв. наказом Міністра енергетики та вугільної промисловості України від 21липня 2017 р. № 476.
- 11.ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом.
- 12.ДСТУ EN 61140:2015. Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання.
- 13.ДСТУ 7237:2011. Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту
- 14.ІЕС 60364-4-42:2014. «Low-voltage electrical installations. Protection for safety. Protection against thermal effects» - /Електроустановки низьковольтні. Основні положення, оцінка загальних характеристик, терміни та визначення/.
- 15.НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. Затвердж. наказом Міністерства внутрішніх справ України 30.12.2014 р. № 1417.
- 16.ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою
- 17.НАПБ В.01.056-2013/111 Пожежна безпека електроустановок.
- 18.ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту».
- 19.ДСТУ 2272:2006 Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять
- 20.НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні
- 21.НАПБ В.01.034-2005/111 Правила пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України
- 22.Т.Т. Макаревич, А.С. Гавриляк, Т.О. Петрушка – «Економія енергоресурсів в системах вентиляції та кондиціонування повітря»

					ТА-11386.0011.002.АТХ.П	Лист
						89
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		