

**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:
«Автоматизована система керування мікроклімату лікарні»**

Виконав:

студент 4 курсу, групи ТА-01

Чепак Максим Юрійович _____

Керівник:

Старший викладач

Некрашевич Олена Василівна _____

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 _____

Київ – 2024 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ

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

Чепаку Максиму Юрійовичу

1. Тема проєкту «Автоматизована система керування мікрокліматом лікарні», керівник проєкту Некрашевич Олена Василівна, старший викладач, затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом проєкту «__» _____ 20__ р.
3. Вихідні дані до проєкту: об'єктом автоматизації є лікарня з приливно-витяжною системою.
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: Функціональна схема автоматизації, Структурна схема ПТК, Схема принципова електрична, Загальний вид щита, Монтажна схема щита та Схема зовнішніх з'єднань та Специфікація обладнання.

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 «__» _____ 20__ р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Постановка задачі автоматизації ТОУ. Обґрунтування та аналіз.	25.04.2024	
2	Структурна ПТК	30.04.2024	
3	Схема автоматизації функціональна	05.05.2024	
4	Креслення загального виду щита	10.05.2024	
5	Синтез САР і аналіз її функціонування.	15.05.2024	
6	Розрахунок вимірювальних та виконавчих каналів АТК	20.05.2024	
7	Схема електрична підключень	25.05.2024	
8	Розрахунок надійності функціонування АСУ	30.05.2024	
9	Схеми підключень кабелів, клем, приладів	04.06.2024	
10	Полігонні випробування імітаційної моделі і аналіз функціонування АСУ	06.06.2024	
11	Охорона праці	10.06.2024	
12	Розрахунок техніко-економічної ефективності	12.06.2024	
13	Оформлення пояснювальної записки	12.06.2024	
14	Передзахист ДП	13.06.2024	
15	Захист ДП	20.06.2024	

Студент

Максим ЧЕПАК

Керівник

Олена НЕКРАШЕВИЧ

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт містить детальний опис та аналіз автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУТП) мікроклімату в лікарні. Розглянуто характеристику технологічного об'єкта управління, яка включає в себе систему циркулювання повітря, його нагрів, очищення та зволоження. Основна мета проєкту полягала у створенні ефективної системи контролю параметрів повітря в приміщеннях, що забезпечує комфортні умови для пацієнтів та медичного персоналу.

У першому розділі звіту описано вибір та обґрунтування структури АСУТП. Система має дворівневу структуру: перший рівень відповідає за контроль датчиків та виконавчих механізмів, а другий рівень забезпечує збір, моніторинг, обробку та візуалізацію даних. Вибір системи здійснювався на основі аналізу існуючих аналогів, з метою визначення найбільш ефективного рішення, що відповідає вимогам проєкту щодо безпеки та гнучкості підключення нових підсистем.

Другий розділ присвячений інженерному розрахунку вимірювальних каналів системи автоматичного регулювання. Проведено детальний розрахунок надійності вимірювальних каналів, визначено середній час напрацювання на відмову, ймовірність безвідмовної роботи та середній час відновлення роботоспроможності. Також розглянуто структурні схеми вимірювальних каналів та особливості електричних підключень давачів, що забезпечують ефективне функціонування системи.

ANNOTATION

The graduation project contains a detailed description and analysis of an automated process control system (APCS) for the microclimate in a hospital. The characteristics of the technological control object, which includes an air circulation system, its heating, purification, and humidification, are considered. The main goal of the project was to create an effective system for controlling indoor air parameters, providing comfortable conditions for patients and medical staff.

The first section of the report describes the selection and justification of the ACS structure. The system has a two-level structure: the first level is responsible for controlling sensors and actuators, and the second level provides data collection, monitoring, processing and visualization. The system was selected based on the analysis of existing analogues to determine the most efficient solution that meets the project requirements for safety and flexibility of connecting new subsystems. The second section is devoted to the engineering calculation of the measuring channels of the automatic control system. A detailed calculation of the reliability of the measuring channels is performed, the average time between failures, the probability of failure, and the average recovery time are determined. The structural diagrams of the measuring channels and the peculiarities of the electrical connections of the sensors that ensure the effective functioning of the system are also considered.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСР – автоматична система регулювання
АСУ – автоматизована система управління
АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом
АТК – автоматизований технологічний комплекс
ВК – вимірювальні канали
ВМ – виконавчий механізм
ЧП - частотний перетворювач
ОУ – об'єкт управління
АЦП - аналого-цифровий перетворювач
ЦАП - цифро-аналоговий перетворювач
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 – регульовально-виконавчий канал в складі РВС
РВС – регульовально-виконавча система АСУТП
РО – регулюючий орган
САР – система автоматичного регулювання
СКМ – система комп'ютерної математики
ТОУ – технологічного об'єкту управління
НМІ – human-machine interface, людино-машинний інтерфейс
MES – manufacturing execution system, система управління виробничими процесами
PLC – programmable logic controller, програмований логічний контролер
SCADA – supervisory control and data acquisition, диспетчерське управління і збір даних

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизована система керування мікрокліматом лікарні»

Київ – 2024 року

ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУ ТП	12
1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління.....	12
1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОУ	15
1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОУ	16
1.4 Функції АСУТП	17
1.5 Схема автоматизації функціональна	18
1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу	20
1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОУ	21
РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР	22
2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР.....	22
2.1.1 Перелік вимірювальних каналів (ВК)	22
2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів	24
2.1.3 Особливості електричних підключень датчиків вимірювальних каналів	30
2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів	31
2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод	35
2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів	36
2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів	37
2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів	38
2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК.....	40
2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР	41

					ТА-014.08.0010.001 АТХ.П					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розробив	Чепак М.Ю.				Автоматизована система керування мікрокліматом лікарні			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірів	Некрасевич О.В.								8	118
								КПІ ім. І. Сікорського НН ІАТЕ, зр. ТА-01		
Н. контр.	Некрасевич О.В.									
Затвердив	Волощук В.А.									

2.2 Інженерний розрахунок регульовально-виконавчих каналів САР.....	43
2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання	43
2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР.....	43
2.2.3 Схема структурна регульовально-виконавчого каналу САР	45
2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР.....	47
2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР	48
2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР	49
2.2.7 Ідентифікація об'єкта управління	52
2.2.8 Розрахунок регуляторів САР	53
2.2.9 Функціональне моделювання САР	60
2.2.10 Висновки щодо роботоздатності РВК САР	66
РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЕКТУ	68
3.1 Схема функціональна автоматизації ТОУ.....	68
3.2 Схема структурна ПТК.....	70
3.3 Схема принципова електрична АСР	72
3.4 Креслення загального виду щита	73
3.5 Схема монтажна щита (таблиця з'єднань)	75
3.6 Схема зовнішніх з'єднань	77
3.7 Специфікація обладнання	79
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА	81
4.1. Програмування функціональності ПЛК	81
4.2 Програмування функціональності SCADA-системи.....	83
РОЗДІЛ 5 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК.....	86
5.1. Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ ...	86
5.2. Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink.....	87
5.3. Реалізація контролерної функціональності САР в софтПЛК CoDeSys	88

5.4. Реалізація супервізорної HMI-Standard функціональності в HMI/SCADA системі WebStudio	89
5.5. Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі	92
5.6. Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі	95
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ	97
6.1. Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації об'єкта	99
6.2. Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії.....	100
6.2.1. Мікроклімат робочої зони	101
6.2.3. Виробниче освітлення	103
6.2.4. Виробничий шум.....	105
6.2.5. Виробничі вібрації	106
6.3. Пожежна безпека та профілактика.....	107
6.3.1. Технічні рішення системи запобігання пожежі.....	108
6.3.2. Технічні рішення системи протипожежного захисту	110
РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК	112
ВИСНОВКИ.....	118
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	120

ВСТУП

Мікроклімат значно впливає на комфорт та самопочуття пацієнтів і персоналу лікарні, які проводять там тривалий час. Оптимальні показники температури та вологості у лікарняних приміщеннях створюють комфортне середовище, сприяють одужанню пацієнтів та підвищують ефективність роботи медичного персоналу. Також мікроклімат впливає на якість та збереження медичних матеріалів, обладнання та інших предметів, які знаходяться в лікарні.

Автоматизована система керування мікрокліматом лікарні дозволяє забезпечити оптимальні значення параметрів, таких як температура та вологість. АСК може бути підключена до мережі зв'язку, що дозволяє виконувати моніторинг параметрів мікроклімату в реальному часі. Це дозволяє операторам зручно відстежувати зміни умов та відповідно реагувати на них, а також налаштовувати систему керування.

Мета дипломного проєкту – розробка та дослідження автоматизованої системи керування мікрокліматом лікарні, регулювання та моніторинг їх процесів.

РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУ ТП

1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління

АСУ мікрокліматом лікарні включає в себе систему циркулювання повітря, його нагрів, очищення та зволоження.

Вентиляція - це комплекс заходів і пристроїв, які забезпечують організацію повітрообміну для підтримки заданого стану повітряного середовища в приміщеннях та робочих місцях відповідно до будівельних норм. Вентиляційні системи підтримують допустимі метеорологічні параметри у приміщеннях різного призначення.

Системи вентиляції класифікуються за наступними ознаками:

- Спосіб створення тиску для переміщення повітря: з природним та штучним (механічним) спонуканням.
- Призначення: припливні та витяжні.
- Зона обслуговування: місцеві та загальнообмінні.
- Конструктивне виконання: каналні та безканалні.

Також вентиляція може бути природньою. Природна вентиляція використовує вітер та природний рух повітря без застосування механічних систем. Переміщення повітря відбувається завдяки:

- Різниці температур між зовнішнім (атмосферним) повітрям та повітрям у приміщенні (аерація).
- Різниці тисків повітряного стовпа між нижнім рівнем (обслуговуваним приміщенням) і верхнім рівнем (витяжним пристроєм на покрівлі будинку).
- Впливу вітрового тиску.

Аерацію застосовують у цехах зі значними тепловиділеннями, якщо концентрація пилу і шкідливих газів у припливному повітрі не перевищує 30% гранично допустимої в робочій зоні. Її не використовують, якщо потрібна попередня обробка повітря або якщо приплив зовнішнього повітря викликає утворення туману або конденсату.

У кожному конкретному проєкті для лікарні визначають, яка система вентиляції буде найкращою з точки зору санітарно-гігієнічних вимог, економічної доцільності та технічної раціональності. Основні фактори, що впливають на вибір системи вентиляції:

- Призначення приміщення: Наприклад, операційні, лабораторії та палати мають різні вимоги до повітрообміну.
- Характер технологічного процесу: Медичне обладнання, що виділяє тепло або інші забруднюючі речовини, потребує специфічних вентиляційних рішень.
- Вид шкідливих виділень: Наявність газів, парів або інших забруднювачів вимагає спеціальних фільтраційних систем.
- Метеорологічні параметри: Температура, вологість та швидкість руху повітря в приміщеннях повинні відповідати нормативним вимогам.

В сучасних системах вентиляції використовуються новітні технології, що підвищують їх ефективність та надійність:

- Рекуперація тепла: Системи рекуперації тепла дозволяють використовувати тепло витяжного повітря для підігріву припливного, що значно знижує витрати на опалення.

- Фільтрація високого ступеня: Використання HEPA-фільтрів та інших високоефективних фільтрів для очищення повітря від бактерій, вірусів та інших мікроорганізмів.
- Інтелектуальні системи управління: Використання алгоритмів штучного інтелекту для прогнозування потреб у вентиляції та оптимізації роботи системи.

Таким чином, впровадження сучасних вентиляційних систем та АСУ мікроклімату є необхідною умовою для забезпечення комфортних та безпечних умов у лікарнях, що сприяє поліпшенню якості медичних послуг та збереженню здоров'я пацієнтів та медичного персоналу.

Таблиця 1.1 – Основні характеристики установки

Назва характеристики	Характеристика
Температура повітря Після калорифера	30 °С
Температура повітря в приміщенні	24 °С
Вологість повітря на вході в приміщення	70%
Температура навколишнього середовища	-30...50 °С
Вміст газів в приміщенні	0...5%
Температура повітря на виході з приміщення	16°С
Вологість повітря після випаровувача	5...20%

1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОУ

Основною особливістю автоматизованої системи керування мікрокліматом у лікарні є її багатофункціональність, гнучкість щодо підключення нових підсистем і високий рівень безпеки контролю за процесами. Ця система дозволяє регулювати температуру повітря у приміщеннях шляхом підмішування води, що подається до калорифера.

Наша система має дворівневу структуру. На першому рівні розташована система управління процесами, яка відповідає за контроль датчиків та виконавчих механізмів. На другому рівні знаходиться система, що забезпечує збір, моніторинг, обробку та візуалізацію даних з автоматизованих процесів і обладнання.

Аналіз існуючих систем дозволяє визначити найефективнішу з них, оцінити її переваги та недоліки.

Дворівнева структура АСУТП розподіляє функції управління на два рівні. Нижній рівень включає управління процесом, де зосереджені пристрої збору даних, контролери, датчики, виконавчі механізми та інше обладнання, що безпосередньо взаємодіє з технологічним устаткуванням. Цей рівень відповідає за контроль параметрів процесу, збір даних, виконання керуючих команд та забезпечення безперебійної роботи обладнання.

Верхній рівень охоплює управління виробництвом і включає центральний контролер або сервер, на якому здійснюється планування, моніторинг та управління виробництвом загалом. Цей рівень забезпечує аналіз даних, прийняття рішень, планування ресурсів, оптимізацію роботи процесу та взаємодію з системами планування виробництва.

1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОУ

Технічні параметри АСПП ТОУ поділяються на три види:

1. Режимні параметри – це параметри, якими можна керувати та їх можна виміряти. До них відносяться:
 1. Температура повітря в кімнаті;
 2. Температура повітря в повітропроводі;
 3. Вологість повітря в повітропроводі.

2. Захисні параметри – це параметри, які відповідають за захист системи та безпечну роботу. До таких параметрів відносяться:
 - 1) Перевищення вмісту вуглекислого газу в приміщенні;
 - 2) Перепад тисків на реле перепаду тиску на вхідному повітропроводі (можливий вихід з ладу обладнання або забруднення);
 - 3) Перепад тисків на реле перепаду тиску на вихідному повітропроводі (можливий вихід з ладу обладнання або забруднення).

3. Контрольні параметри – це параметри які потрібні для того, щоб оцінити стан або ефективність системи. До таких параметрів відносяться:
 1. Температура повітря в повітропроводі;
 2. Температура повітря в приміщенні;
 3. Вологість повітря в повітропроводі;
 4. Забрудненість повітря в приміщенні, вміст газу CO₂ в повітрі.

1.4 Функції АСУТП

Функції АСУТП поділяються на три види:

1. Управляючі функції – функції, які мають основне значення у системі, вони забезпечують постійне керування системою. До таких функцій належать:

- 1) Одноконтурне регулювання температури повітря в приміщенні шляхом підмішування води, що подається на колорифер;
- 2) Одноконтурне регулювання зміни вологості вхідного повітря в систему шляхом зміни частоти струму, що подається на випаровувач через частотний перетворювач.
- 3) Одноконтурне регулювання вологості повітря на вході в приміщення шляхом зміни положення клапана подачі води на зволожувач.

2. Захисні функції – це функції, які можуть захищати систему від несправностей, може бути оснащена аварійною сигналізацією, а також може виконувати керовану функцію, щоб запобігати аварійним ситуацій. До таких функцій належать:

1. При занадто низькій температурі надворі регулювати вхідний клапан для повітря, щоб система працювала ефективно;
2. Аварійно сигналізувати при спрацюванні реле перепаду тиску на фільтрах, що буде свідчити про його забруднення та необхідність в очищенні;
3. Аварійно сигналізувати про перепад тиску на каналних вентиляторах, що свідчить про їх можливу несправність, поломку або забруднення;

4. У разі перевищення вмісту газів в приміщенні сигналізувати про перевищення та сповіщати оператора;
 5. У разі перевищення вмісту газу в приміщенні увімкнути витяжну вентиляцію до того моменту, поки міст не стабілізується.
3. Інформаційні функції – це функції, які забезпечують отримання інформації з показників датчиків. До таких функцій належать:
1. Температура повітря навколишнього середовища: $(-30...50) ^\circ\text{C}$;
 2. Температура повітря в приміщенні: $(0...40) ^\circ\text{C}$;
 3. Температура вхідного повітря в систему: $(-20...30) ^\circ\text{C}$;
 4. Температура повітря на виході з приміщення: $(10...30) ^\circ\text{C}$;
 5. Вологість вхідного повітря в систему: $0...100\%$;
 6. Вологість повітря на вході в приміщення: $0...100\%$;
 7. Вміст газів в приміщенні: $0...5000 \text{ ppm}$.

1.5 Схема автоматизації функціональна

Функціональна схема автоматизації АСУ мікрокліматом лікарні представлена вхідним повітропроводом, у якому вхідне повітря очищується, підсушується, нагрівається та зволожується. Також в приміщенні є витяжний канал вентиляції через який повітря з приміщення витягується на зовні та додатково очищується.

Система має датчик температури зовнішнього повітря згідно показників якого буде відбуватися закривання або відкривання клапана на вході в повітропровід системи для повітря. Якщо температура повітря занадто низька клапан буде закриватися, щоб система працювала більш ефективно.

					ТА-01408.0010.001 АТХ.П	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Вхідне повітря очищується через фільтр із захисною функцією, представлена датчиком перепаду тиску. Наступним кроком повітря проходить через калорифер, у якому воно нагрівається до необхідної температури та вимірюється датчиком температури повітря на виході з калорифера.

Вхідне повітря може бути занадто вологим або мати шкідливі бактерії, які потрібно пропустити через випаровувач. Це просушить повітря та знищить всі бактерії у повітропроводі, які не відфільтрувалися.

Циркуляція повітря відбувається за допомогою каналного вентилятора після якого повітря проходить фінальне очищення на фільтрі згідно всіх норм повітря в лікарні.

Повітря на виході додатково зволожується до необхідного або заданого та вимірюється датчиком вологості.

В приміщенні присутні датчик температури за допомогою якого відбувається регулювання температури в приміщенні та датчик вмісту газів у повітрі.

Витяжна система вентиляції представлена витяжним вентилятором та додатковим фільтром, що очищує повітря від бактерій, які могли бути в лікарні.

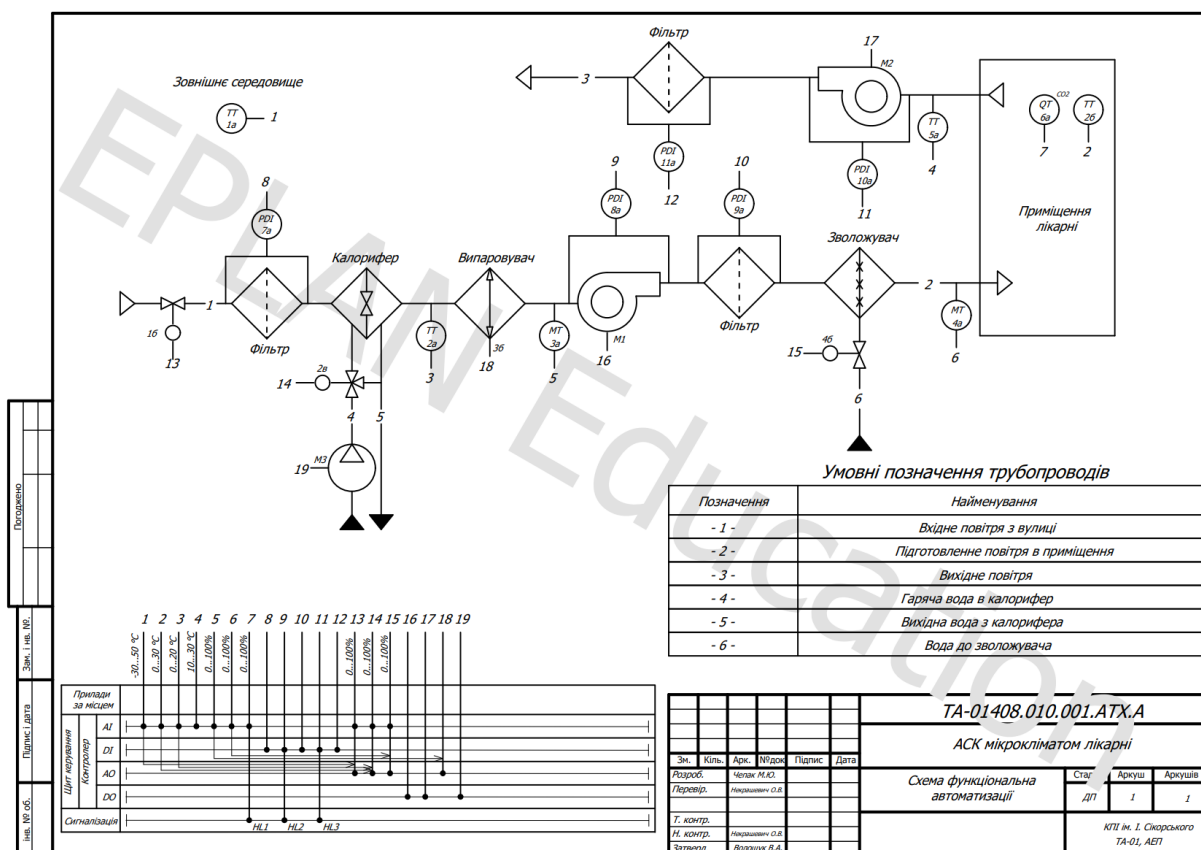


Рисунок 1.1 – Функціональна схема автоматизації АСУ мікрокліматом лікарні

1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу

АСУ мікрокліматом лікарні має дворівневу структуру. На першому рівні знаходиться SCADA, яка встановлена на ПК оператора системи, в свою чергу ПК відключається до контролера через провід Ethernet. На другому рівні знаходяться обладнання для керування та збору інформації: це датчики, виконавчі механізми та ПЛК.

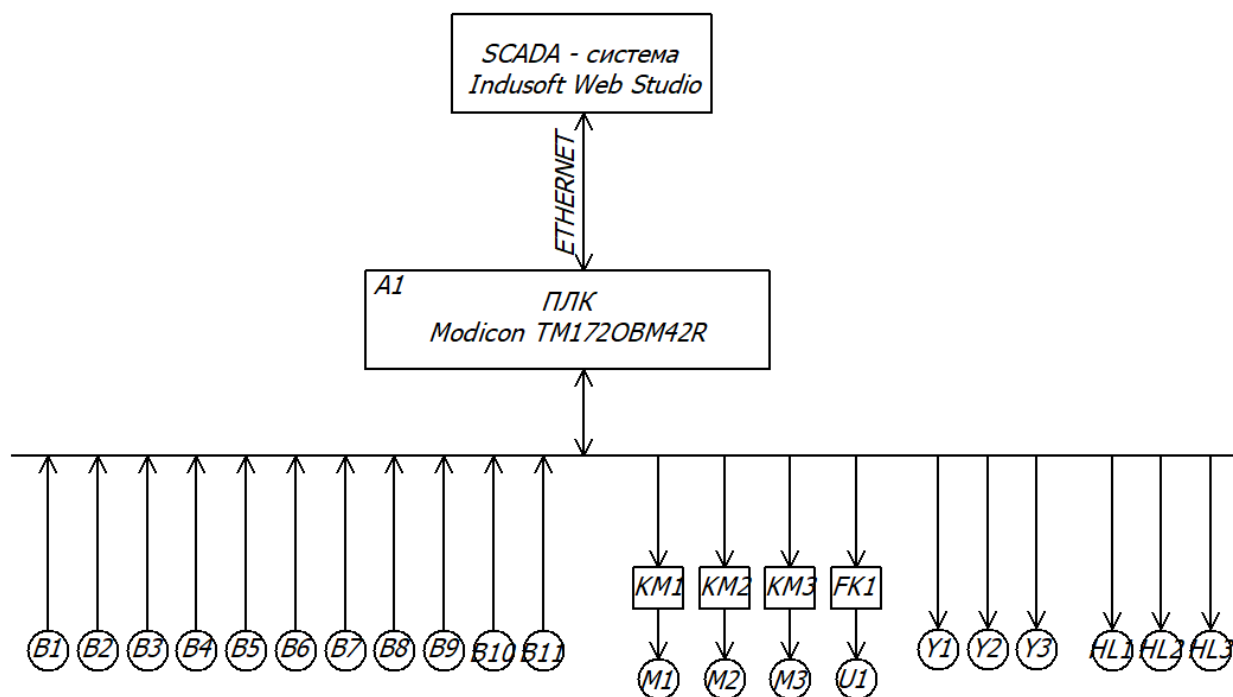


Рисунок 1.2 - Схема структурна програмно-технічного комплексу АСУ
мікрокліматом лікарні

1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОВ

До джерел економічної ефективності відноситься система вимірювання температури повітря навколишнього середовища, у відповідності до якої відбувається регулювання клапану на вході в систему вентиляції, що забезпечує ефективніше використання ресурсів для обігріву вхідного повітря.

Витяжна вентиляція також додатково обладнана датчиком температури повітря у повітропроводі витяжної вентиляції. Якщо температура вихідного повітря є занадто високою, то витяжний вентилятор працює менше часу, щоб забезпечити довше перебування теплого повітря в приміщенні.

У разі достатньої температури повітря на вулиці в системі відключається подача води в калорифер, що дозволяє зекономити ресурси.

РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР

2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР

2.1.1 Перелік вимірювальних каналів (ВК)

Вимірювальний канал — це сукупність технічних засобів і програмного забезпечення, що забезпечують збирання, обробку, передачу і зберігання інформації про параметри об'єкта або процесу управління. Вимірювальні канали можуть включати різноманітні датчики, перетворювачі сигналів, засоби зв'язку, а також інструменти для аналізу та візуалізації даних.

Вимірювальні канали АСК мікрокліматом лікарні:

- Вимірювальний канал температури повітря навколишнього середовища, встановлений на дворі (поз. 1а);
- Вимірювальний канал температури повітря в приміщенні, встановлений в приміщенні (поз. 2б);
- Вимірювальний канал температури повітря в повітропроводі, встановлений на початку системи після калорифера (поз. 2а);
- Вимірювальний канал температури повітря в повітропроводі на витяжній вентиляції (поз. 5а);
- Вимірювальний канал вологості повітря в повітропроводі встановлений після випаровувача на початку системи (поз. 3а);
- Вимірювальний канал вологості повітря в повітропроводі встановлений на вході в приміщення після зволожувача (поз. 4а);
- Вимірювальний канал вмісту димових газів в приміщенні (поз. 6а);
- Вимірювальний канал перепаду тиску на фільтрі в початку системи (поз. 7а);
- Вимірювальний канал перепаду тиску на каналному вентиляторі на вході в систему (поз. 8а);

- Вимірювальний канал перепаду тиску на фільтрі в кінці системи (поз. 9а);
- Вимірювальний канал перепаду тиску на каналному вентилятора витяжної вентиляції (поз. 10а);
- Вимірювальний канал перепаду тиску на фільтрі вихідної вентиляції (поз. 11а);

					ТА-01408.0010.001 АТХ.П	Лист
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів

ВК температури повітря навколишнього середовища:

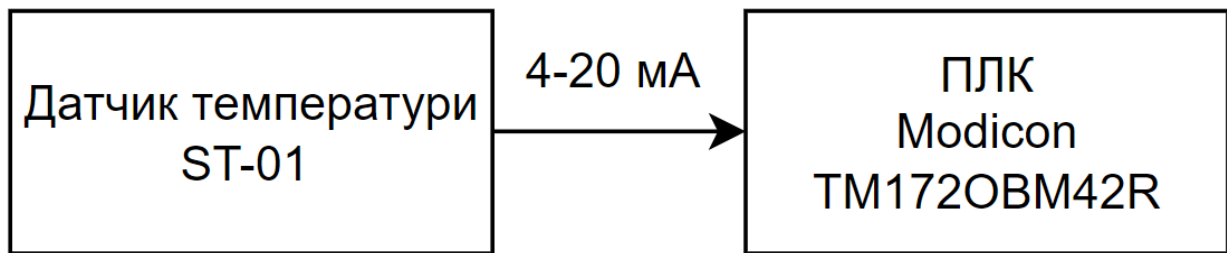


Рисунок 2.1 - ВК температури повітря навколишнього середовища

В даному вимірювальному каналі вимірювальним елементом є датчик температури повітря навколишнього середовища ST-01 [4], роль контролера, на який передається інформація, є ПЛК Modicon TM172OBM42R [1].

ВК температури повітря в приміщенні:

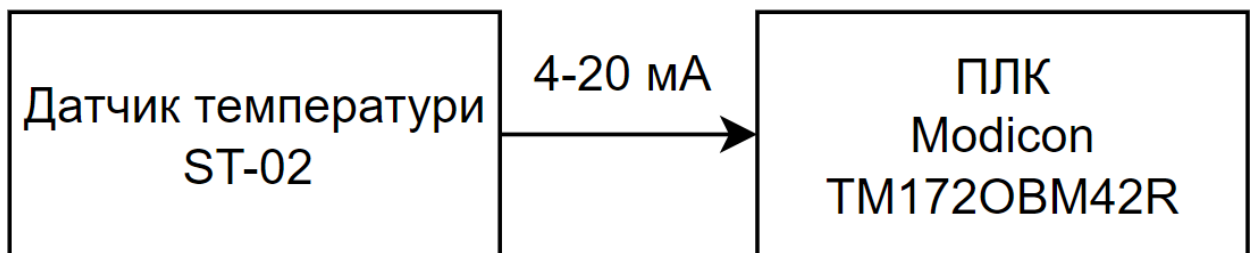


Рисунок 2.2 - ВК температури повітря в приміщенні

В даному вимірювальному каналі вимірювальним елементом є датчик температури повітря приміщення ST-02 [5], роль контролера, на який передається, інформація є ПЛК Modicon TM172OBM42R.

ВК температури повітря в повітропроводі на вході після калорифера:

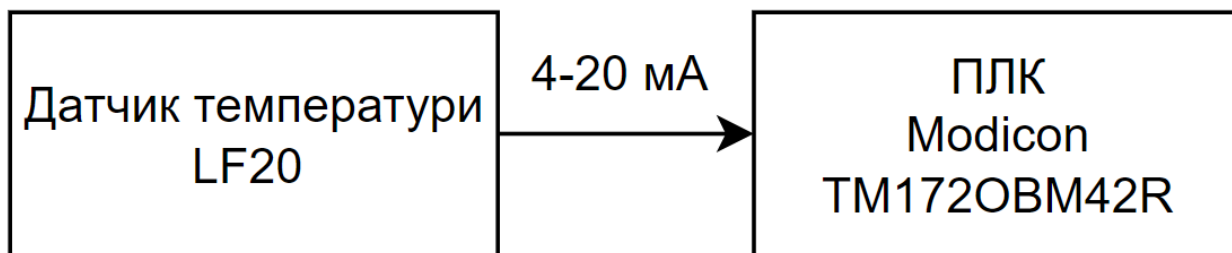


Рисунок 2.3 - ВК температури повітря в повітропроводі на вході після калорифера

В даному вимірювальному каналі вимірювальним елементом є датчик температури повітря в повітропроводі LF20 [6], роль контролера, на який передається інформація, є ПЛК Modicon TM172OBM42R.

ВК температури повітря в повітропроводі на витяжній вентиляції:

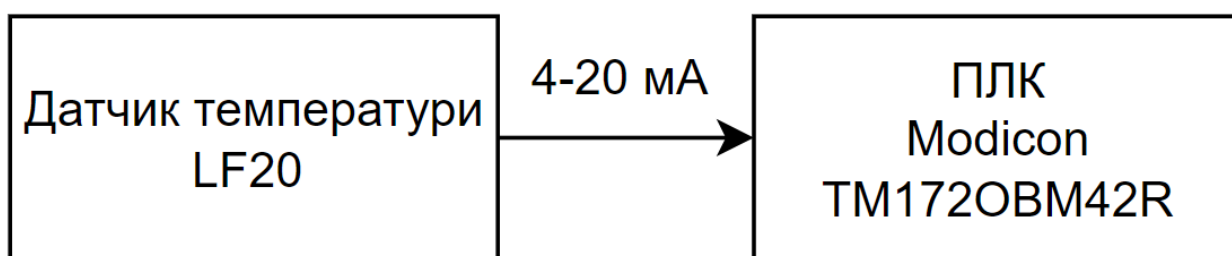


Рисунок 2.4 - ВК температури повітря в повітропроводі на витяжній вентиляції

В даному вимірювальному каналі вимірювальним елементом є датчик температури повітря в повітропроводі LF20, роль контролера, на який передається інформація, є ПЛК Modicon TM172OBM42R.

ВК вологості повітря в повітропроводі встановлений після випаровувача:

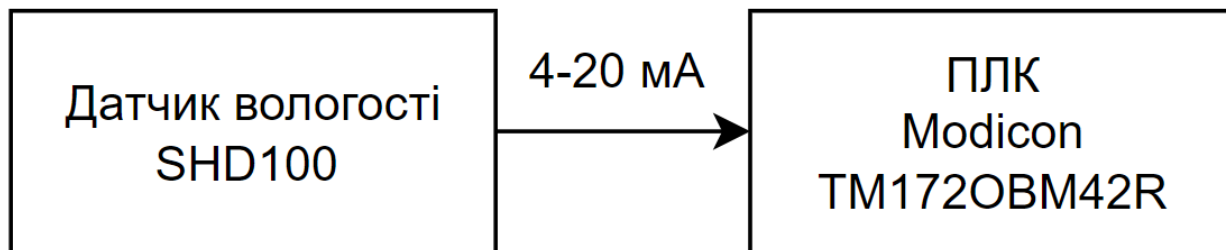


Рисунок 2.5 - ВК вологості повітря в повітропроводі встановлений після випаровувача

В даному вимірювальному каналі вимірювальним елементом є датчик вологості повітря в повітропроводі SHD100 [7], роль контролера, на який передається інформація, є ПЛК Modicon TM172OBM42R.

ВК вологості повітря в повітропроводі встановлений на вході в приміщення після зволожувача:

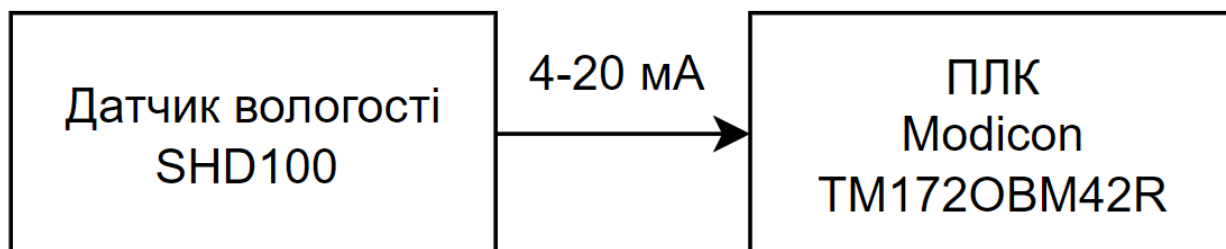


Рисунок 2.6 - ВК вологості повітря в повітропроводі встановлений на вході в приміщення після зволожувача

В даному вимірювальному каналі вимірювальним елементом є датчик вологості повітря в повітропроводі SHD100, роль контролера, на який передається інформація, є ПЛК Modicon TM172OBM42R.

ВК вмісту газів в приміщенні:

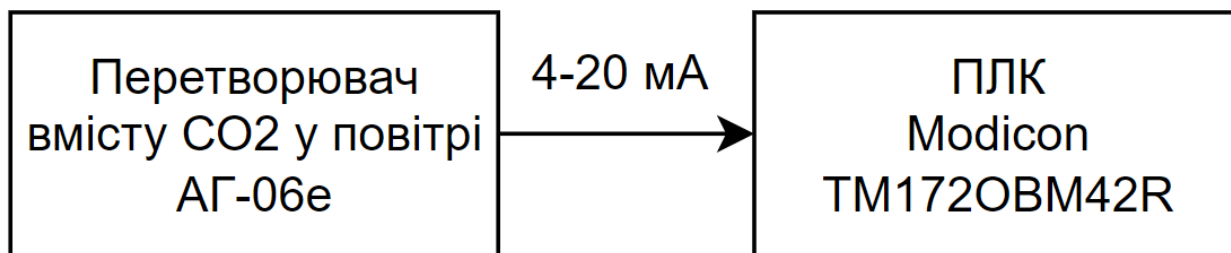


Рисунок 2.7 - ВК вмісту газів в приміщенні

В даному вимірювальному каналі вимірювальним елементом є перетворювач вмісту CO₂ у повітрі АГ-06е [9], роль контролера, на який передається інформація, є ПЛК Modicon TM172OBM42R.

ВК перепаду тиску на фільтрі встановлений на вході в систему:

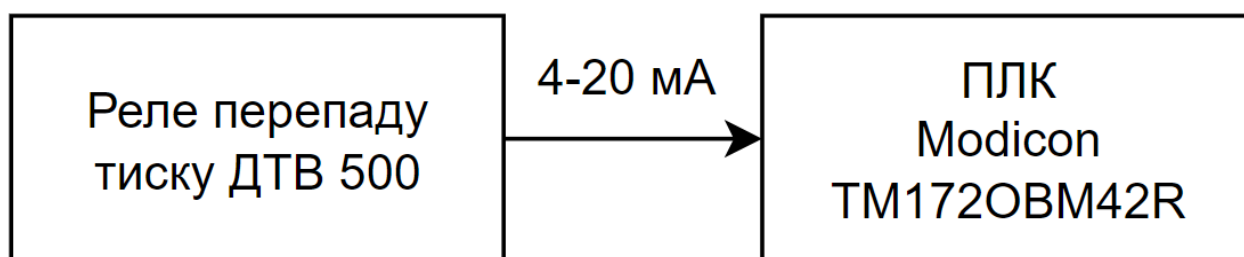


Рисунок 2.8 - ВК перепаду тиску на фільтрі встановлений на вході в систему

В даному вимірювальному каналі вимірювальним елементом є реле перепаду тиску ДТВ 500 [8], роль контролера, на який передається інформація, є ПЛК Modicon TM172OBM42R.

ВК перепаду тиску на каналному вентиляторі вхідного каналу повітропроводу:

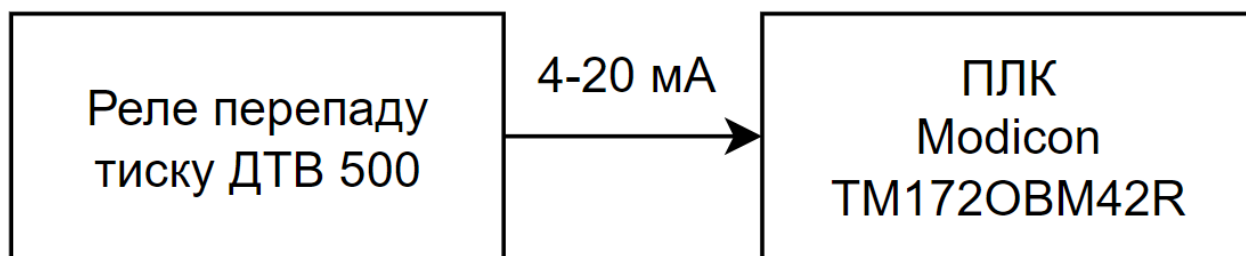


Рисунок 2.9 - ВК перепаду тиску на каналному вентиляторі вхідного каналу повітропроводу

В даному вимірювальному каналі вимірювальним елементом є реле перепаду тиску ДТВ 500, роль контролера, на який передається інформація, є ПЛК Modicon TM172OBM42R.

ВК перепаду тиску на фільтрі встановлений на виході приточної вентиляції:

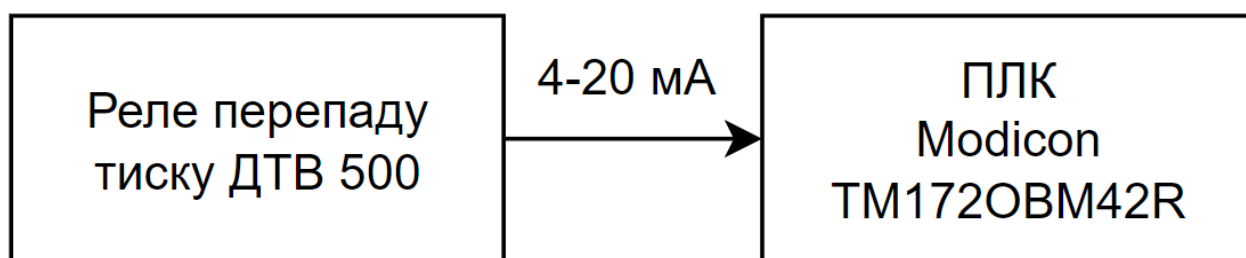


Рисунок 2.10 - ВК перепаду тиску на фільтрі встановлений на виході приточної вентиляції

В даному вимірювальному каналі вимірювальним елементом є реле перепаду тиску ДТВ 500, роль контролера, на який передається інформація, є ПЛК Modicon TM172OBM42R.

ВК перепаду тиску на фільтрі встановлений на каналному вентиляторі витяжної вентиляції:

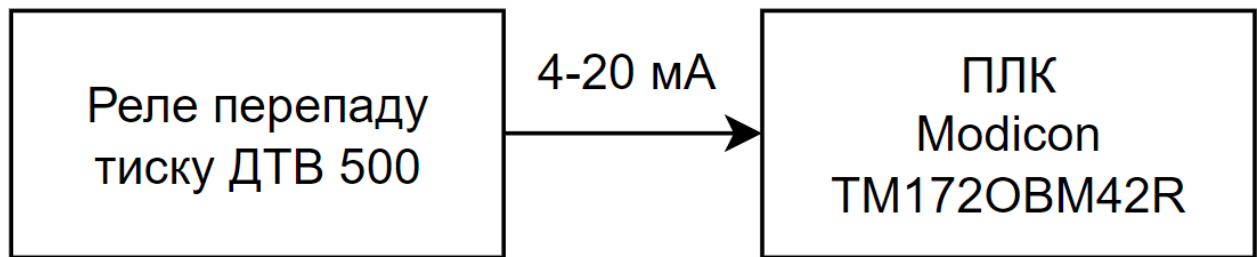


Рисунок 2.11 - ВК перепаду тиску на фільтрі встановлений на каналному вентиляторі витяжної вентиляції

В даному вимірювальному каналі вимірювальним елементом є реле перепаду тиску ДТВ 500, роль контролера, на який передається інформація, є ПЛК Modicon TM172OBM42R.

ВК перепаду тиску на фільтрі встановлений на витяжній вентиляції:

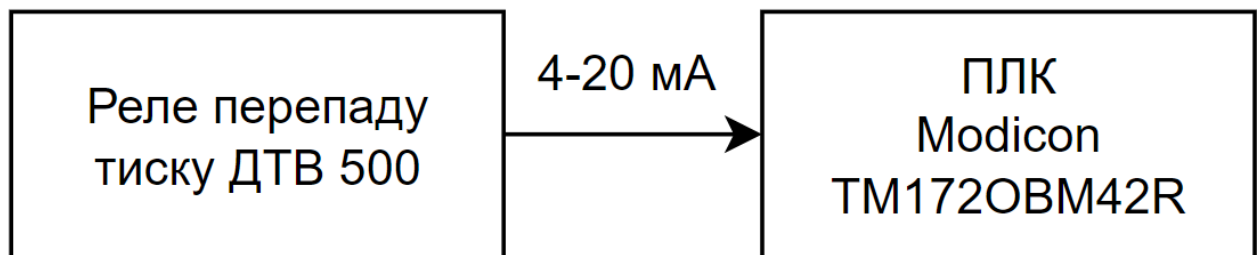


Рисунок 2.12 - ВК перепаду тиску на фільтрі встановлений на витяжній вентиляції

В даному вимірювальному каналі вимірювальним елементом є реле перепаду тиску ДТВ 500, роль контролера на якій передається інформація є ПЛК Modicon TM172OBM42R.

2.1.3 Особливості електричних підключень датчиків вимірювальних каналів

Датчики отримують живлення 24 В постійного струму від блоку живлення PS1. Це дозволяє забезпечити стабільну роботу всіх компонентів системи. Всі датчики підключені до програмованого логічного контролера (ПЛК) Modicon M172, який здійснює збір та обробку даних з датчиків. Підключення датчиків до ПЛК здійснюється через різні клеми, які мають призначення для аналогових та дискретних сигналів.

Аналогові сигнали використовуються для підключення таких датчиків, як датчики температури, тиску, вологості. Наприклад, температурні датчики підключені до відповідних аналогових входів ПЛК, позначених як AI (Analog Input), що дозволяє ПЛК точно зчитувати їх показники. Аналогічно, датчики тиску підключаються до інших аналогових входів.

Дискретні сигнали застосовуються для підключення кінцевих датчиків, які зазвичай використовуються для позиційного контролю. Ці датчики підключені до дискретних входів ПЛК, позначених як DI (Digital Input). Наприклад, реле перепаду тиску підключене до даного входу показує, що на елементі з'явився даний перепад та вхід став активним.

Перетворювачі частоти підключені до відповідних виходів ПЛК, що дозволяє керувати ступенем нагріву випаровувача. Це підключення може здійснюватися через дискретні або аналогові виходи, залежно від вимог системи. Деякі датчики мають вбудовані функції сигналізації, які підключаються до сигнальних ламп для візуального відображення стану системи. Це дозволяє операторам швидко виявляти і реагувати на будь-які відхилення в роботі системи.

Таким чином, схема демонструє ретельно продуману систему підключення датчиків до ПЛК з використанням як аналогових, так і дискретних сигналів. Живлення і сигнальні шляхи організовані таким

чином, щоб забезпечити надійне і точне зчитування даних з давачів та ефективне керування виконавчими механізмами.

2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів

Монтаж датчика температури повітря навколишнього середовища ST-01 від компанії RAUT automatic встановлюється на зовнішню стіну будівлі та вимірює температуру повітря навколишнього середовища. Для монтажу потрібно мати два отвори з дюбелем для монтажу датчика.

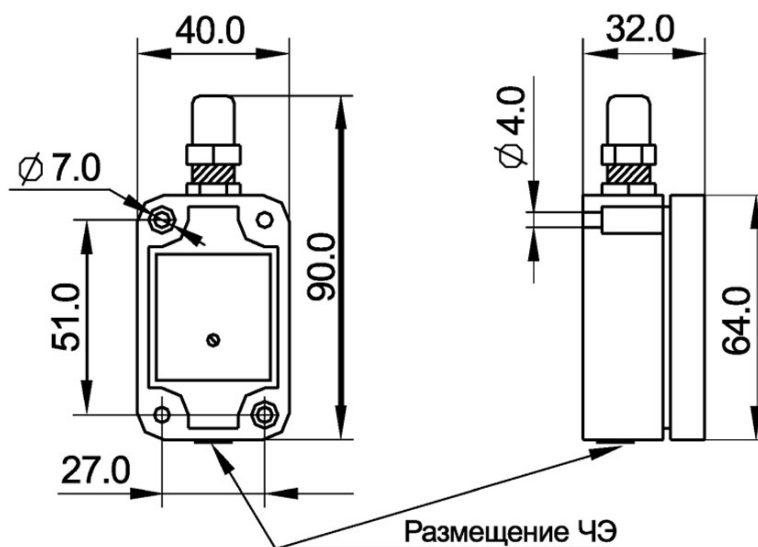


Рисунок 2.13 – Монтаж датчика температури повітря навколишнього середовища ST-01

Монтаж датчика температури повітря в приміщенні ST-02 від компанії RAUT automatic встановлюється на внутрішню стіну будівлі якомога вище та вимірює температуру повітря в приміщенні. Для монтажу потрібно мати отвори з дюбелем для монтажу датчика або можливий варіант монтажу із можливими обслуговуванням, в такому випадку він вішається на два кріплення слайдом.

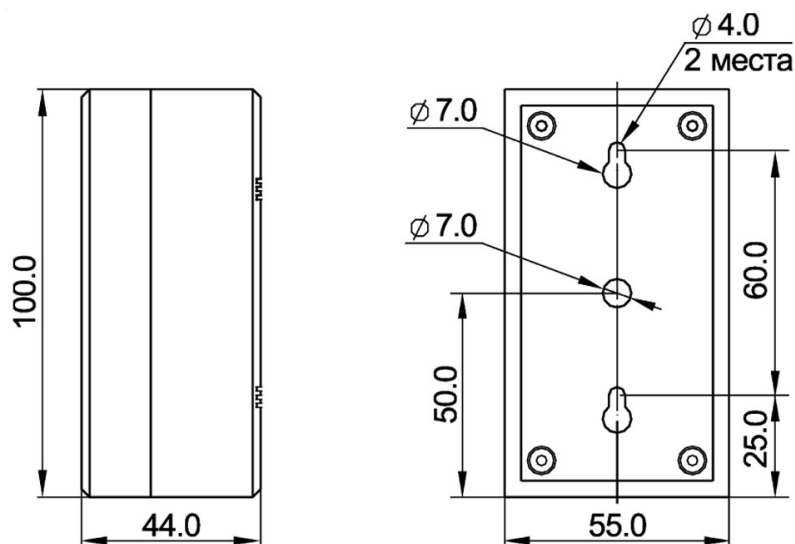


Рисунок 2.14 - Монтаж датчика температури повітря в приміщенні ST-02

Монтаж датчика вологості повітря в повітропроводі SHD100 від компанії Schneider Electric встановлюється на повітропровід шляхом вмонтовування щупа всередину повітропровода таким чином щоб кінець щупа був на середині повітропровода для кращого вимірювання. Для монтажу потрібно зробити отвір в повітропроводі та закріпити датчик двома шурупами зберігаючи герметичність.

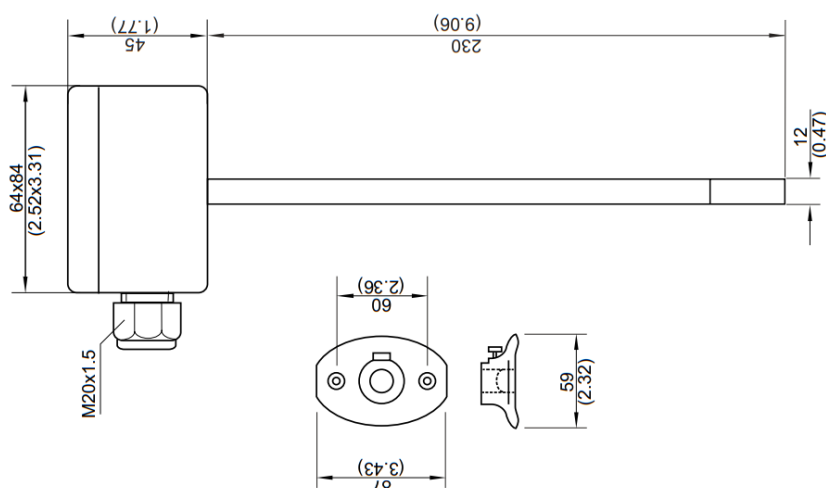


Рисунок 2.15 - Монтаж датчика вологості повітря в повітропроводі SHD100

Монтаж датчика температури повітря в повітропроводі LF20 від компанії Honeywell встановлюється на повітропровід шляхом вмонтовування щупа всередину повітропровода таким чином щоб кінець щупа був на середині повітропровода для кращого вимірювання. Для монтажу потрібно зробити отвір в повітропроводі та закріпити датчик двома шурупами зберігаючи герметичність.

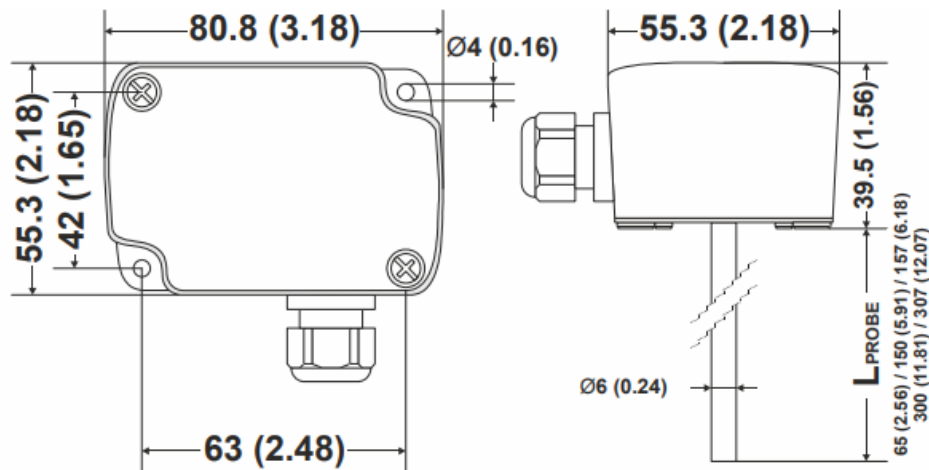


Рисунок 2.16 - Монтаж датчика температури повітря в повітропроводі LF20

Монтаж датчика перепаду тиску DTV-500 від компанії VENTS має дві точки підключення до системи. Сам датчик прикріплюється поряд на два шурупи, а вимірювальні трубки підключаються до та після елемента на якому вимірює перепад.

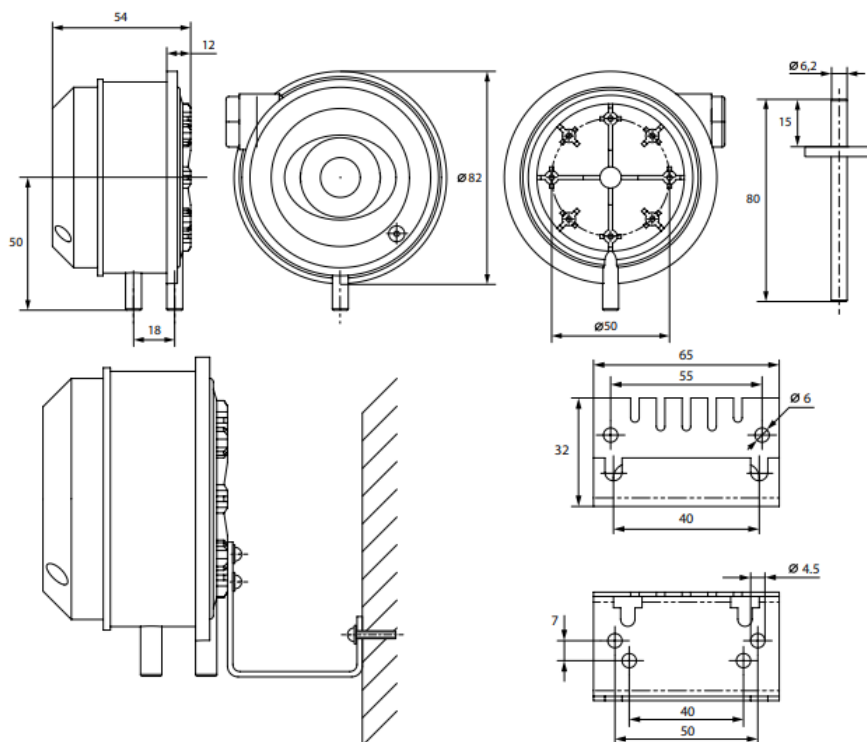


Рисунок 2.17 - Монтаж датчика перепаду тиску DTV-500

Монтаж датчика вмісту димових газів в приміщенні АГ-06е від компанії ТЕРА. Даний датчик монтується на внутрішній стіні якомога вище. Для монтажу потрібно три отвори під дюбелі для яких прикріплюється датчик.

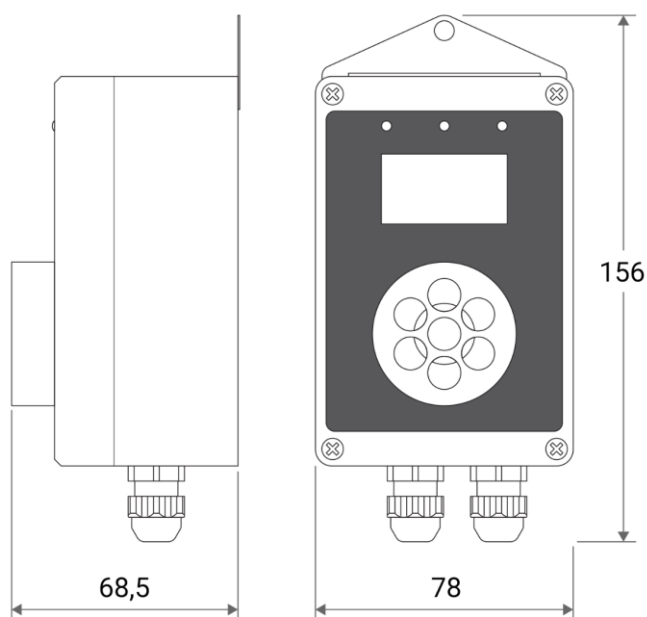


Рисунок 2.18 - Монтаж датчика вмісту димових газів в приміщенні АГ-06е

2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод

Захист технічних засобів вимірювальних каналів є необхідним для забезпечення точності вимірювань і достовірності отриманих даних. Він відіграє важливу роль у проектуванні систем автоматизації та управління процесами. Однією з найбільш поширених проблем при вимірюванні каналів є електромагнітне наведення, яке може спричинити помилки в сигналі, знизити продуктивність системи та навіть призвести до її збою. Ефективним способом боротьби з електромагнітними перешкодами є екранування проводів і заземлення датчиків. Екранування досягається шляхом покриття проводів фольгою або іншим струмопровідним матеріалом для захисту від зовнішнього електромагнітного впливу, а заземлення – підключенням датчиків до землі за допомогою спеціальних елементів, які створюють електромагнітне поле. Існує кілька видів кабелів, призначених для захисту від електромагнітних перешкод, зокрема кабелі з мідною або алюмінієвою оболонкою, кабелі з металевією фольгою та кабелі з металевією оболонкою. Для захисту кабелів від механічних пошкоджень і забруднень при монтажі слід використовувати пластикові кабельні лотки або гофровані труби.

2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів

Структурні схеми надійності вимірювальних каналів є важливою складовою проектування систем контролю та вимірювання. Вони допомагають забезпечити високу надійність і точність вимірювань, мінімізуючи ризики відмови компонентів.

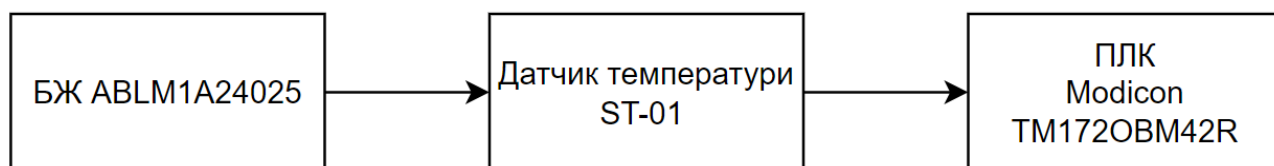


Рисунок 2.19 – Схема структурна надійності вимірювального каналу температури повітря навколишнього середовища

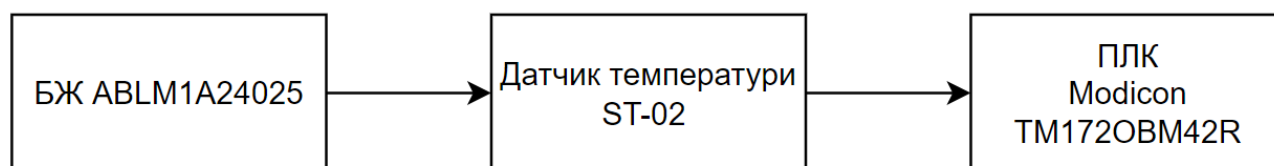


Рисунок 2.20 - Схема структурна надійності вимірювального каналу температури повітря приміщення

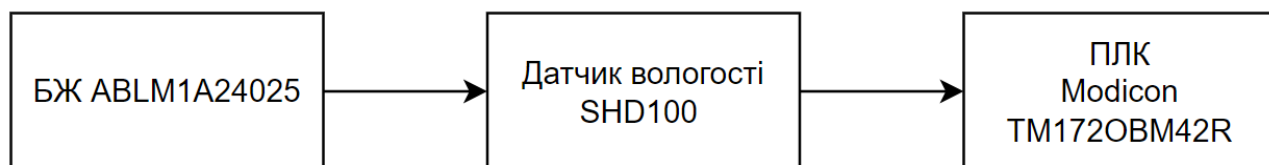


Рисунок 2.21 - Схема структурна надійності вимірювального каналу вологості повітря в повітропроводі

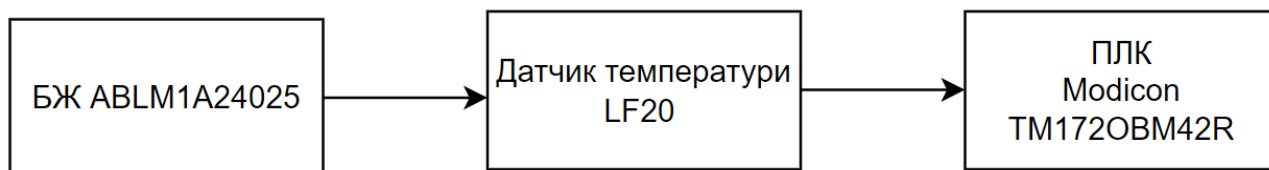


Рисунок 2.22 - Схема структурна надійності вимірювального каналу температури повітря в повітропроводі

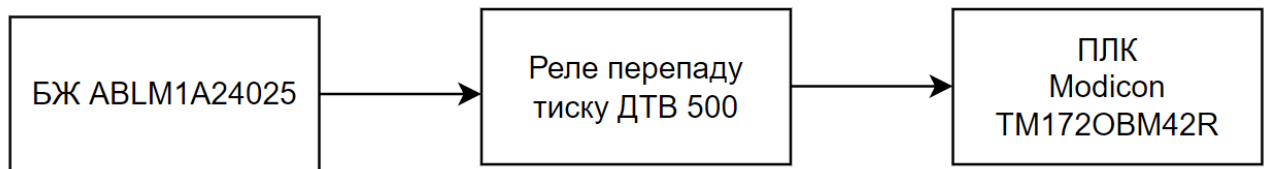


Рисунок 2.23 - Схема структурна надійності вимірювального каналу перепаду тиску

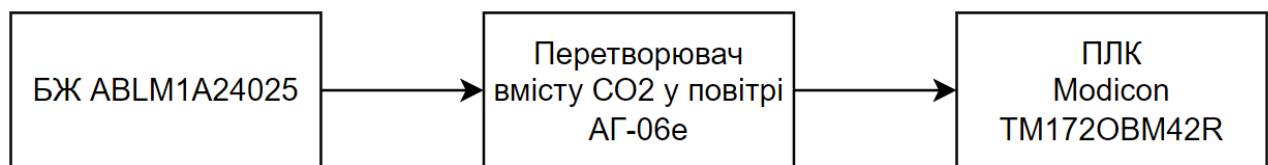


Рисунок 2.24 - Схема структурна надійності вимірювального каналу вмісту димових газів в приміщенні

2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів

Для розрахунку метрологічного розрахунку вимірювального каналу знайдемо межу основної допустимої приведенної похибки та межу абсолютної похибки:

Межа основної допустимої приведенної похибки ВК визначається за формулою:

$$\varepsilon = \sqrt{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}$$

Межа абсолютної похибки ВК визначається за формулою:

$$\Delta = \varepsilon (x_{max} - x_{min}) \frac{1}{100}$$

Таблиця 2.1 - Метрологічні розрахунки вимірювальних каналів

Вимірювальний канал	Межа основної допустимої приведеної похибки	Межа абсолютної похибки
Температури повітря навколишнього середовища	$\sqrt{0.5^2 + 0.01^2} = 0.5\%$	$0.5(50 - (-30)) \frac{1}{100} = 0.55\text{ }^{\circ}\text{C}$
Температури повітря в приміщенні	$\sqrt{0.5^2 + 0.01^2} = 0.5\%$	$0.5(40 - 0) \frac{1}{100} = 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$
Вологості повітря в повітропроводі	$\sqrt{1^2 + 0.01^2} = 1\%$	$1(90 - 0) \frac{1}{100} = 0.9\text{ }\%$
Температури повітря в повітропроводі	$\sqrt{0.3^2 + 0.01^2} = 0.3\%$	$0.3(100 - (-20)) \frac{1}{100} = 0.36\text{ }^{\circ}\text{C}$
Перепаду тиску	$\sqrt{0.5^2 + 0.01^2} = 0.5\%$	$0.5(500 - 50) \frac{1}{100} = 2.25\text{ Па}$
Вмісту димових газів в приміщенні	$\sqrt{1.7^2 + 0.01^2} = 1.7\%$	$1.7(5000 - 0) \frac{1}{100} = 85ppm$

2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів

Для розрахунку надійності вимірювального каналу потрібно розрахувати:

- Середній час напрацювання;
- Ймовірність безвідмовної роботи за заданий час;
- Середній час відновлення роботоспроможності.

Середній час напрацювання вимірювального каналу на відмову можемо визначити за наступною формулою:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\sum_1^n \lambda}$$

Ймовірність безвідмовної роботи вимірювального каналу за заданий час знаходиться за формулою:

$$P_{\delta}(\tau) = e^{-\lambda\tau} = 1 - \frac{\tau}{T_{\text{ср}}}$$

Середній час відновлення роботоспроможності вимірювального каналу визначається за формулою:

$$T_{\text{в}} = \frac{T_{\text{ср}}}{K_{\text{гот}}} - T_{\text{ср}}$$

Запишемо дані та розрахунки надійності для всіх вимірювальних каналів.

Блок живлення ABLM1A24025: $\lambda = 14.3 * 10^{-6}$ 1/год [2];

ПЛК Modicon TM172OBM42R: $\lambda = 14.3 * 10^{-6}$ 1/год;

Датчик температури ST-01: $\lambda = 11.4 * 10^{-6}$ 1/год;

Датчик температури ST-02: $\lambda = 11.4 * 10^{-6}$ 1/год;

Датчик вологості SHD100: $\lambda = 19.0 * 10^{-6}$ 1/год;

Датчик температури LF20: $\lambda = 11.4 * 10^{-6}$ 1/год;

Реле перепаду тиску DTV-500: $\lambda = 22.8 * 10^{-6}$ 1/год;

Перетворювач вмісту CO₂ у повітрі АГ-06е: $\lambda = 14.3 * 10^{-6}$ 1/год.

Таблиця 2.2 – Розрахунки надійності вимірювальних каналів

Вимірювальний канал	Середній час напрацювання вимірювального каналу на відмову	Ймовірність безвідмовної роботи вимірювального каналу за 1000 год	Середній час відновлення роботоспроможності вимірювального каналу
Температури повітря навколишнього середовища	25000 год	0.96	4.5 год
Температури повітря в приміщенні	25000 год	0.96	6.7 год
Вологості повітря в повітропроводі	21000 год	0.9524	6.3 год
Температури повітря в повітропроводі	25000 год	0.96	4.5 год
Перепаду тиску	19450 год	0.9486	5.8 год
Вмісту димових газів в приміщенні	23300 год	0.9571	9.8 год

2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК

Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК Modicon TM172PDG42RI включають кілька ключових аспектів. Одним із них є фільтрація сигналів, яка допомагає згладжувати виміряні сигнали, усуваючи шум та коливання. Для покращення якості сигналу застосовуються різні типи фільтрів, такі як низькочастотні та високочастотні.

Інша важлива функція – аналогово-цифрове перетворення (АЦП), яке перетворює аналогові вхідні сигнали в цифрову форму, забезпечуючи точне відображення виміряних величин у цифровому вигляді. Нормалізація даних

включає масштабування сигналів до стандартного діапазону та перетворення їх до зручного для аналізу та обробки формату.

Калібрування є ще одним важливим процесом, що коригує виміряні значення на основі попередньо визначених параметрів, застосовуючи коефіцієнти калібрування для точного вимірювання фізичних величин. Лінійна і нелінійна апроксимація використовує математичні методи для наближення виміряних даних до реальних фізичних процесів, підвищуючи точність вимірювань.

Обчислення середніх значень, зокрема ковзного середнього, допомагає зменшити вплив випадкових змін, забезпечуючи стабільні результати. Виявлення і корекція аномалій дозволяє ідентифікувати нестандартні виміряні дані та автоматично коригувати їх або сигналізувати про аномалії для подальшого аналізу.

Запам'ятовування даних є важливою функцією для зберігання важливих виміряних даних у внутрішній пам'яті контролера для подальшого аналізу та обробки. Вимірювання та моніторинг часу забезпечують точне відстеження та фіксацію часу вимірювання, що дозволяє синхронізувати дані з іншими системами.

Також, інтерфейс з зовнішніми системами дозволяє передавати оброблені дані на інші пристрої або системи для подальшого аналізу, використовуючи різні протоколи зв'язку, такі як Modbus та Ethernet, для інтеграції в загальну систему автоматизації. Ці функції забезпечують точну, надійну та ефективну обробку вимірювальних даних, підтримуючи високий рівень контролю та управління процесами в ПЛК Modicon TM172PDG42RI.

2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР

На основі проведених досліджень та тестувань було оцінено роботоздатність вимірювальних каналів систем автоматичного регулювання

(CAP). Аналіз включав перевірку точності вимірювань та стійкості до електромагнітних перешкод також швидкість відновлення роботи в разі відмови.

Точність вимірювань: Вимірювальні канали продемонстрували високу точність вимірювань у всьому діапазоні робочих умов. Відхилення від еталонних значень знаходяться в межах допустимих норм, що підтверджує відповідність технічним характеристикам.

Стійкість до електромагнітних перешкод: Завдяки ефективному екрануванню та заземленню, вимірювальні канали показали стійкість до електромагнітних перешкод. Це забезпечує стабільність та надійність сигналів, мінімізуючи ризик виникнення помилок.

В разі відмови систему можна швидко відновити та вона продовжить свою роботу.

Виходячи з наведених даних, можна зробити висновок, що вимірювальні канали CAP є роботоздатними та відповідають всім встановленим вимогам і стандартам. Це забезпечує їхню ефективну експлуатацію у різних умовах, гарантуючи точність і надійність вимірювань, а також стабільність роботи системи автоматичного регулювання.

2.2 Інженерний розрахунок регулювально-виконавчих каналів САР

2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання

Система автоматичного регулювання (САР) - це комплекс технічних засобів і програмного забезпечення, що призначений для автоматизованого контролю та керування процесами або системами. Вона використовується для підтримання заданих параметрів, які можуть включати температуру, тиск, рівень, швидкість, а також інші фізичні величини.

Перелік всіх САР в АСУ мікрокліматом лікарні:

1. Одноконтурна САР температури повітря в приміщенні шляхом зміни положення клапана, що підмішує воду, яка іде до калорифера якій нагріває повітря;
2. Одноконтурна САР за вологістю повітря після випаровувача шляхом зміни частоти живлення випаровувача;
3. Одноконтурна САР вологості повітря на вході в приміщення шляхом зміни положення клапана подачі води до зволожувача.

2.2.2 Функціональна і структурна схеми САР

Функціональна схема САР контролю температури повітря в приміщенні є графічним зображенням елементів і зв'язків між ними, що складають систему автоматичного регулювання. Вона відображає основні компоненти системи, їх функції та взаємозв'язки, що дозволяє зрозуміти, як система працює в цілому.

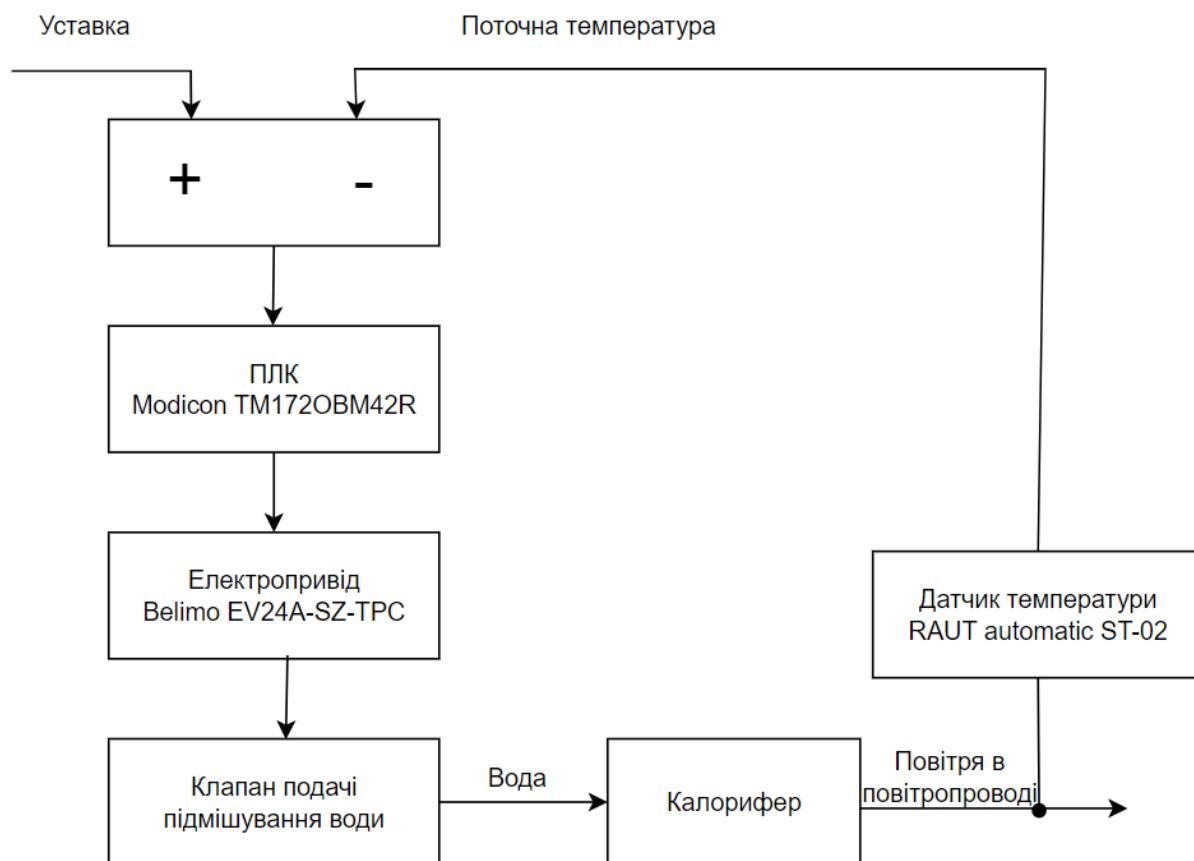


Рисунок 2.25 - Функціональна схема одноконтурної САР температури повітря в приміщенні

На рисунку 2.25 зображена функціональна схема одноконтурної САР температури повітря в приміщенні. Дана система представлена датчиком температури встановленим всередині приміщенні та виконавчим механізмом який підмішує воду яка потрапляє в калорифер для нагрівання повітря. На контролер приходять значення уставки та значення поточної вимірної температури. Якщо бажана температура вища за поточну клапан підмішує меншу кількість холодної води чим нагрівання стає ефективнішим.

Структурна схема системи автоматичного регулювання температури повітря в приміщенні є більш детальним представленням взаємодії між компонентами системи порівняно з функціональною схемою. Вона

зображує, як саме різні блоки системи з'єднані між собою і які сигнали передаються між ними.

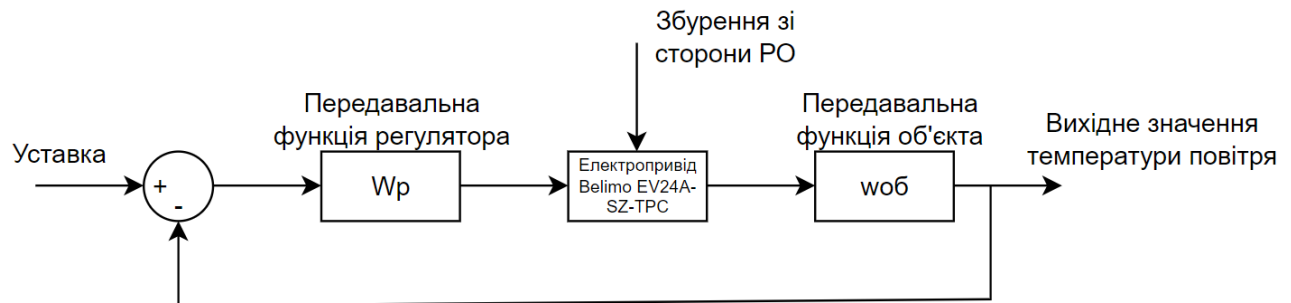


Рисунок 2.26 – Структурна схема САР температури повітря в приміщенні

На рисунку 2.26 зображена структурна схема САР температури повітря. Дана система показує, як контролер отримує значення уставки та поточне значення вимірюваного параметра та порівнює їх та в залежності від результату регулюю його виконавчим механізмом.

2.2.3 Схема структурна регулювально-виконавчого каналу САР

У САР розрізняють два основних канали: регулювальний канал та виконавчий канал. Ці канали мають різні функції, але працюють у тісній взаємодії для забезпечення ефективного регулювання параметрів об'єкта.

Регулювальний канал відповідає за створення керуючого сигналу на основі порівняння заданого і фактичного значень параметра об'єкта регулювання.

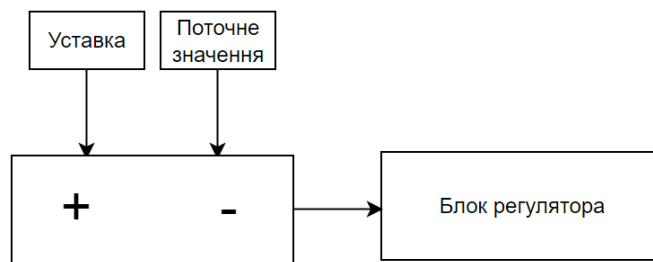


Рисунок 2.27 – Схема структурна регулювального каналу САР температури повітря в приміщенні

На рисунку 2.27 зображена схема структурна регулювального каналу САР температури повітря в приміщенні. Схема зображує, як сигнали уставки та поточного значення надходять до функціонального блоку регулятора.

Виконавчий канал відповідає за фізичне впливання на об'єкт регулювання, забезпечуючи зміну його параметрів відповідно до керуючого сигналу.

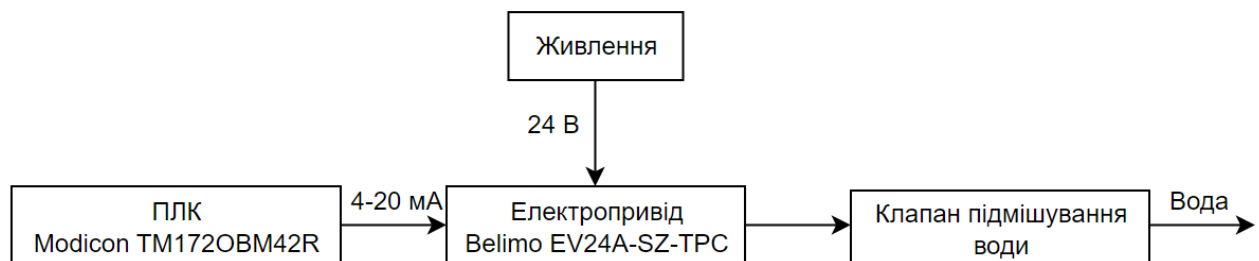


Рисунок 2.28 – Схема структурна виконавчого каналу САР температури повітря в приміщенні

На рисунку 2.28 зображена схема структурна виконавчого каналу САР температури повітря в приміщенні. Схема показує як керований сигнал (4-20) мА надходить до виконавчого механізму який також живиться від 24 В, який керує клапаном підмішування води що йде до калорифера.

2.2.4 Схема структурна програмно-технічних засобів САР

Структурна схема програмно-технічних САР відображає архітектуру та взаємозв'язки між апаратними і програмними компонентами, що забезпечують роботу системи автоматичного регулювання. Така схема включає виконавчий канал, вимірювальний канал, регулювальний канал та інші технічні засоби, необхідні для реалізації функцій САР.

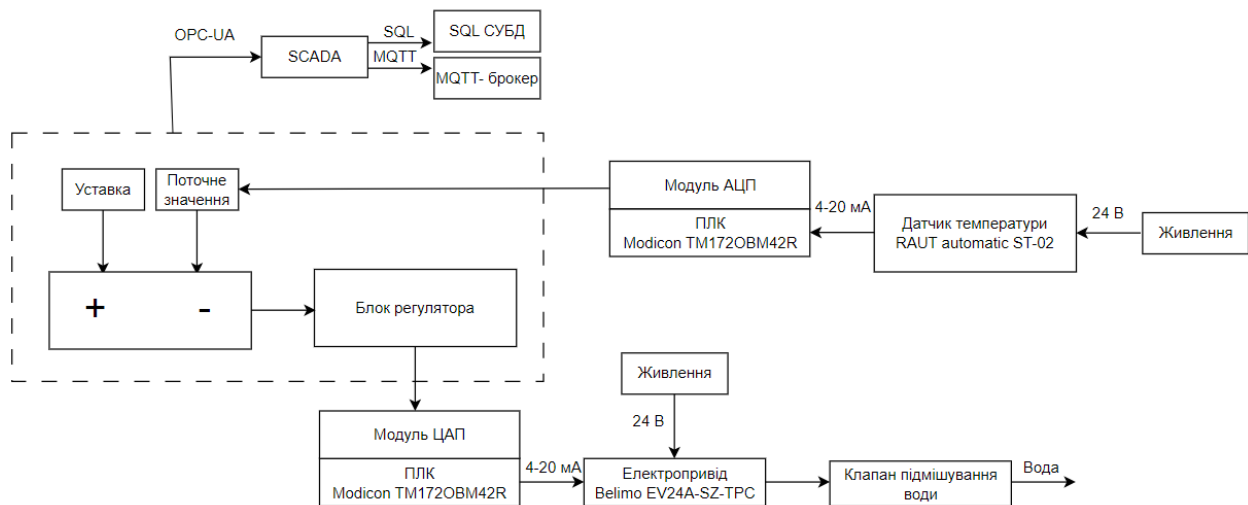


Рисунок 2.29 – Схема структурна програмно технічних засобів САР температури повітря в приміщенні

На рисунку 2.29 зображена структурна схема програмно-технічних засобів САР температури повітря в приміщенні. SCADA-система через протоколи OPC-UA, SQL і MQTT керує процесом і збирає дані. Порівняння уставки і поточного значення відбувається в блоці регулятора, який формує керуючий сигнал. ПЛК Modicon TM172OBM42R обробляє сигнали від датчика температури RAUT ST-02 через інтерфейс (4-20) мА і передає їх через модуль АЦП на ПЛК, який в свою чергу передає на електропривід Belimo через ЦАП сигнал (4-20) мА. Електропривід регулює клапан підмішування води для підтримання заданої температури. Дані зберігаються

в SQL СУБД та можуть передаватися через MQTT-брокер для подальшого аналізу.

2.2.5 Схема структурна надійності реалізації управляючої функції САР

Структурна схема надійності реалізації управляючої функції САР відображає, як різні компоненти системи спроектовані та взаємодіють для забезпечення надійного виконання регулювання.

Послідовне підключення елементів робить систему не надійною так як в разі відмови хоча б одного елемента, вся система перестає працювати. Однак такі схеми більш економічно вихідними та простішими в реалізації.



Рисунок 2.30 – Схема структурна надійності управляючої функції регулювання вхідного повітря



Рисунок 2.31 - Схема структурна надійності управляючої функції регулювання температури повітря в приміщенні



Рисунок 2.32 - Схема структурна надійності управляючої функції регулювання вологості повітря в повітропроводі



Рисунок 2.33 - Схема структурна надійності управляючої функції регулювання вологості повітря після зволожувача на вході в приміщення

2.2.6 Розрахунок надійності реалізації управляючої функції САР

Для розрахунку надійності управляючої функції САР потрібно розрахувати такі параметри:

- Загальна інтенсивність відмов;
- Середній час напруцювання на відмову;
- Ймовірність безвідмовної роботи регулювально-виконавчого каналу за вказаний час;
- Середній час відновлення роботоспроможності.

Запишемо всі необхідні параметри для розрахунків:

Блок живлення ABLM1A24025: $T_H = 70000$ год; $\lambda = 14.3 \cdot 10^{-6}$ 1/год;

ПЛК Modicon TM172OBM42R: $T_H = 70000$ год; $\lambda = 14.3 \cdot 10^{-6}$ 1/год;

Датчик температури ST-01: $T_H = 87800$ год; $\lambda = 11.4 \cdot 10^{-6}$ 1/год;

Датчик температури ST-02: $T_H = 87800$ год; $\lambda = 11.4 \cdot 10^{-6}$ 1/год;

Датчик вологості SHD100: $T_H = 52600$ год; $\lambda = 19.0 \cdot 10^{-6}$ 1/год;

Електропривід Belimo EV24A-SZ-TPC: $T_H = 43800$ год; $\lambda = 22.8 \cdot 10^{-6}$ 1/год [10];

Частотний перетворювач ATV12HU15M2: $T_H = 70000$ год; $\lambda = 14.3 \cdot 10^{-6}$ 1/год [3];

Випаровувач НК 100-0,6-1: $T_H = 26300$ год; $\lambda = 38.0 \cdot 10^{-6}$ 1/год;

Повітряна заслінка: $T_H = 26300$ год; $\lambda = 38.0 \cdot 10^{-6}$ 1/год;

Клапан підмішування води: $T_H = 70000$ год; $\lambda = 14.3 \cdot 10^{-6}$ 1/год;

Клапан подачі води на зволожувач: $T_H = 105000$ год; $\lambda = 9.5 \cdot 10^{-6}$ 1/год.

Загальна інтенсивність відмов знаходить за формулою:

$$\lambda = \sum_1^n \lambda_i$$

Середній час напрацювання на відмову знаходиться за формулою:

$$T_{cp} = \frac{1}{\sum_1^n \lambda_i}$$

Ймовірність безвідмовної роботи регульовально-виконавчого каналу за 1000 год знаходиться за формулою:

$$P_\delta(\tau) = e^{-\lambda\tau} = 1 - \frac{\tau}{T_{cp}}$$

Середній час відновлення роботоспроможності знаходиться за формулою:

$$T_v = \frac{T_{cp}}{K_{гот}} - T_{cp}$$

Запишемо всі розрахунки надійності для всіх каналів в таблицю.

					ТА-01408.0010.001 АТХ.П	Лист
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Розрахунки надійності каналів

Назва каналу	Загальна інтенсивність відмов	Середній час напрацювання на відмову	Ймовірність безвідмовної роботи регулювально-виконавчого каналу за 1000 год	Середній час відновлення роботоспроможності
Канал управління вхідним повітрям	100.8 * 10 ⁻⁶ 1/год	9920 год	0.8992	4.9 год
Канал регулювання температурою повітря в приміщенні	77.1 * 10 ⁻⁶ 1/год	12970 год	0.9229	6.5 год
Канал регулювання вологістю повітря після випаровування	99.9 * 10 ⁻⁶ 1/год	10010 год	0.9001	5.0 год

Канал регулювання я вологості Повітря на вході в приміщення	79.9 $\cdot 10^{-6}$ 1/год	12515 год	0.9201	6.3 год
--	-------------------------------	-----------	--------	---------

Як бачимо всі отримане значення по середньому часі відновлення роботоспроможності каналу регулювання температурою в приміщенні є не досить великим, це означає що ремонтні роботи по відновленню роботи системи можна буде зробити досить швидко щоб запобігти евакуації персоналу з приміщення.

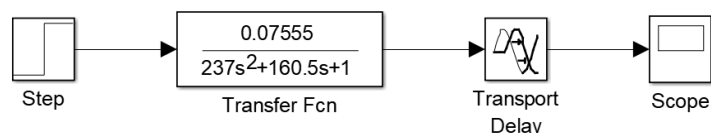
2.2.7 Ідентифікація об'єкта управління

Передавальна функція для контуру регулювання температурою повітря в приміщенні було взято із дисертації по дослідженню об'єкта управління.

Передавальна функція контуру регулювання температурою повітря в приміщенні:

$$W(p) = \frac{0.07555}{237p^2 + 160.5p + 1} \cdot e^{-20p} \quad [11]$$

Побудуємо перехідний процес в середовищі Simulink.



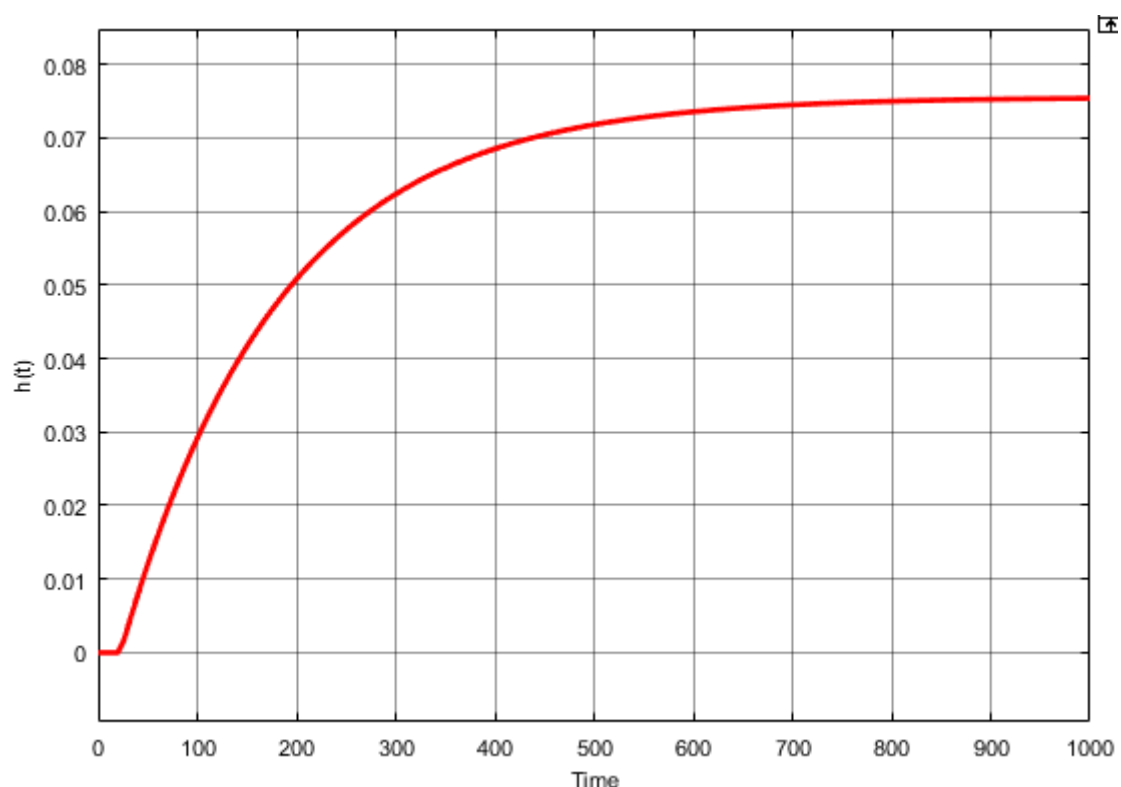


Рисунок 2.34 – перехідний процес контуру регулювання температури повітря в приміщенні

2.2.8 Розрахунок регуляторів САР

Будемо проводити розрахунок ПІ-регулятора, так як він є простіший в налаштуванні та менш чутливий до різного поду шумів та збурень. ПІ регулятор має перевагу у відсутності Д складової відносно ПД регулятора, яка може призвести до напруження системи та появи перехідних процесів.

Для розрахунку параметрів регулятора будемо використовувати два методи: метод РАФХ та експрес метод.

Метод РАФХ:

Для методу РАФХ потрібно задатися ступенем коливальної стійкості: $m=0.366$.

Код m-файла:

```

w=0:0.0001:0.062;
m=0.366;
p=w*(1j-m);
W=(0.07555.*exp(-20*p))./(237*p.^2+160.5*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;

```

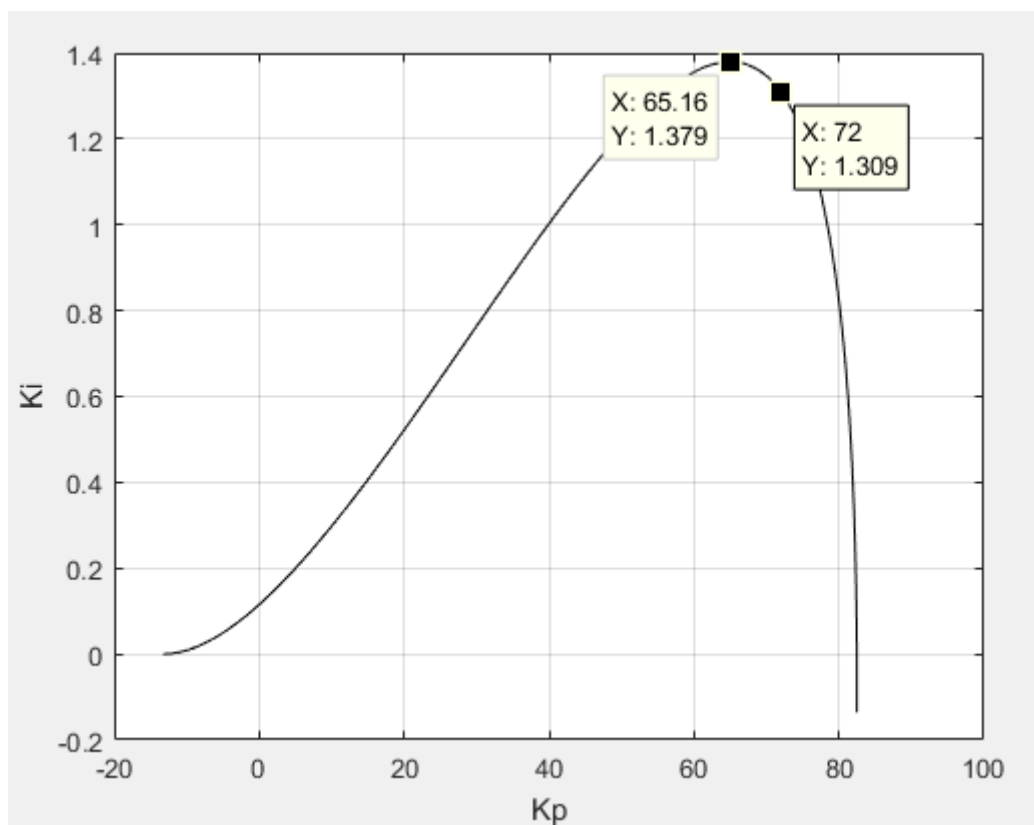


Рисунок 2.35 - Крива заданого степеня коливальності з позначеними точками Ki_{max}

$$K_i = 0.95 \max(K_i);$$

$$K_p = 72$$

$$K_i = 1.309$$

$$T_i = K_p / K_i = 55$$

Експрес метод:

$$W(p) = \frac{0.07555}{237p^2 + 160.5p + 1} \cdot e^{-20p} = \frac{0.07555}{(1.5p + 1)(159p + 1)} \cdot e^{-20p}$$

$$K_p = \frac{T_2}{2k * T_2} = \frac{159}{2 * 0.07555 * 159} = 6.618$$

$$T_i = T_2 = 159$$

Побудуємо перехідні процеси обох методів по каналах завдання-вихід та збурення-вихід та порівняємо їх.

Експрес метод

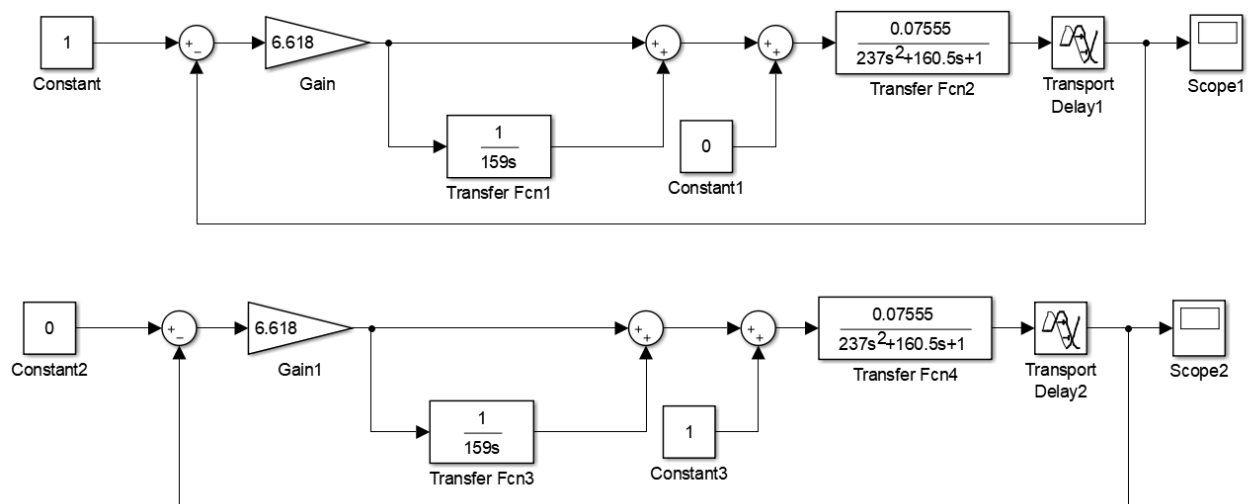


Рисунок 2.36 – Модель схеми по каналах завдання-вихід та збурення-вихід експрес методу

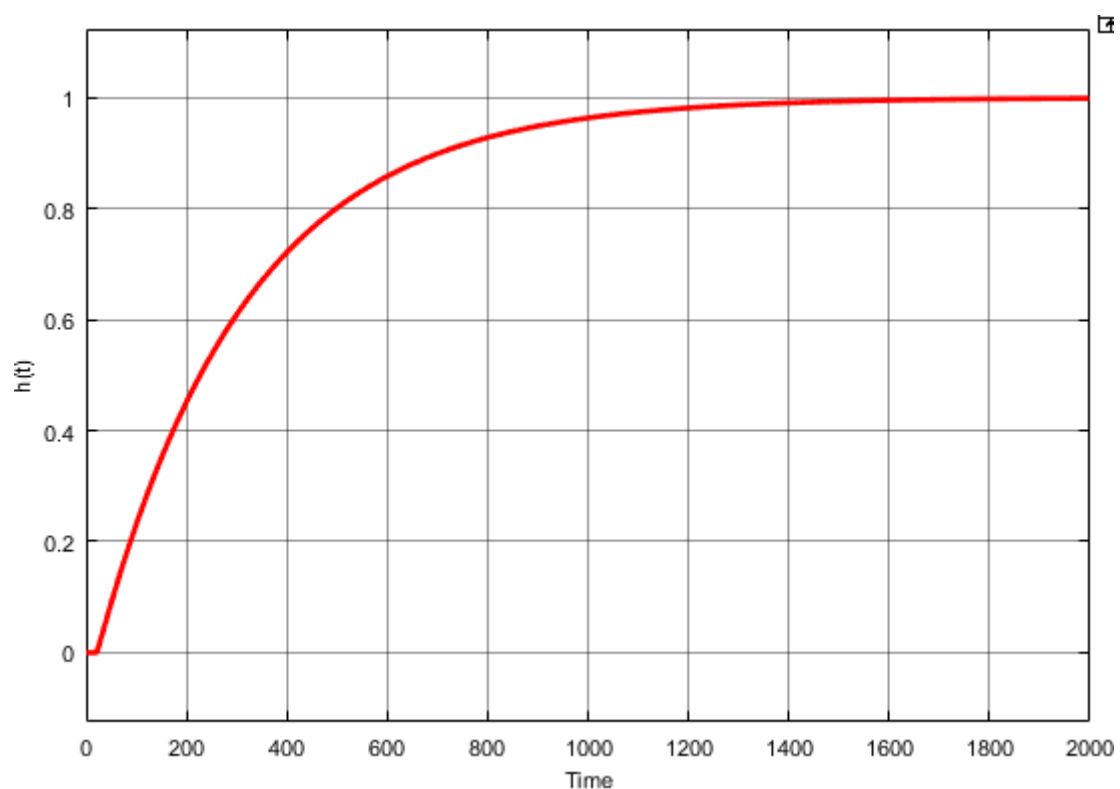
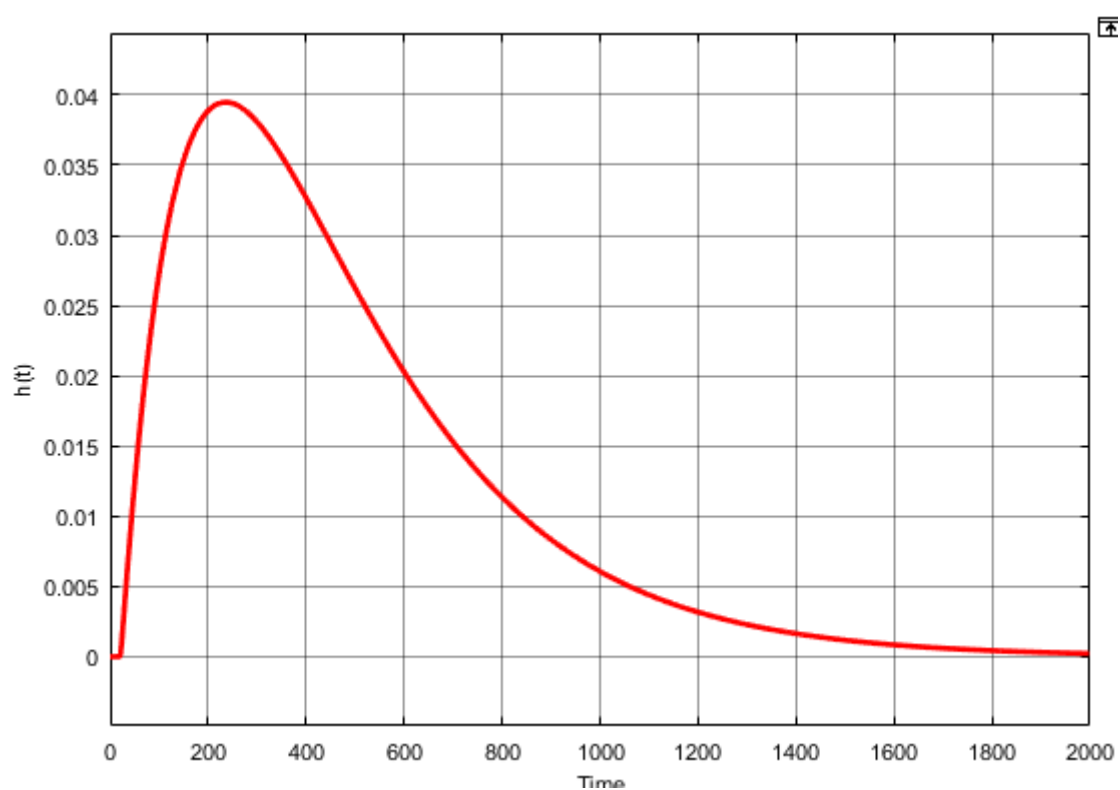


Рисунок 2.37 - Перехідний процес експрес методу по каналу завдання-вихід



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТА-01408.0010.001 АТХ.П

Лист

56

Рисунок 2.38 - Перехідний процес експрес методу по каналу збурення-
вихід

Метод РАФХ

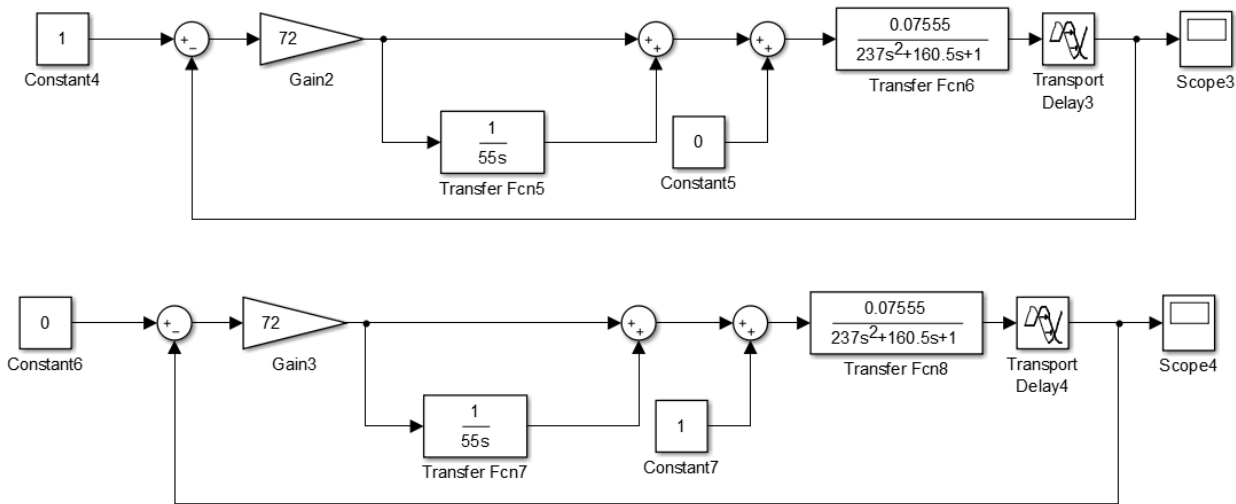


Рисунок 2.39 – Модель схеми по каналах завдання-вихід та збурення-вихід
методу РАФХ

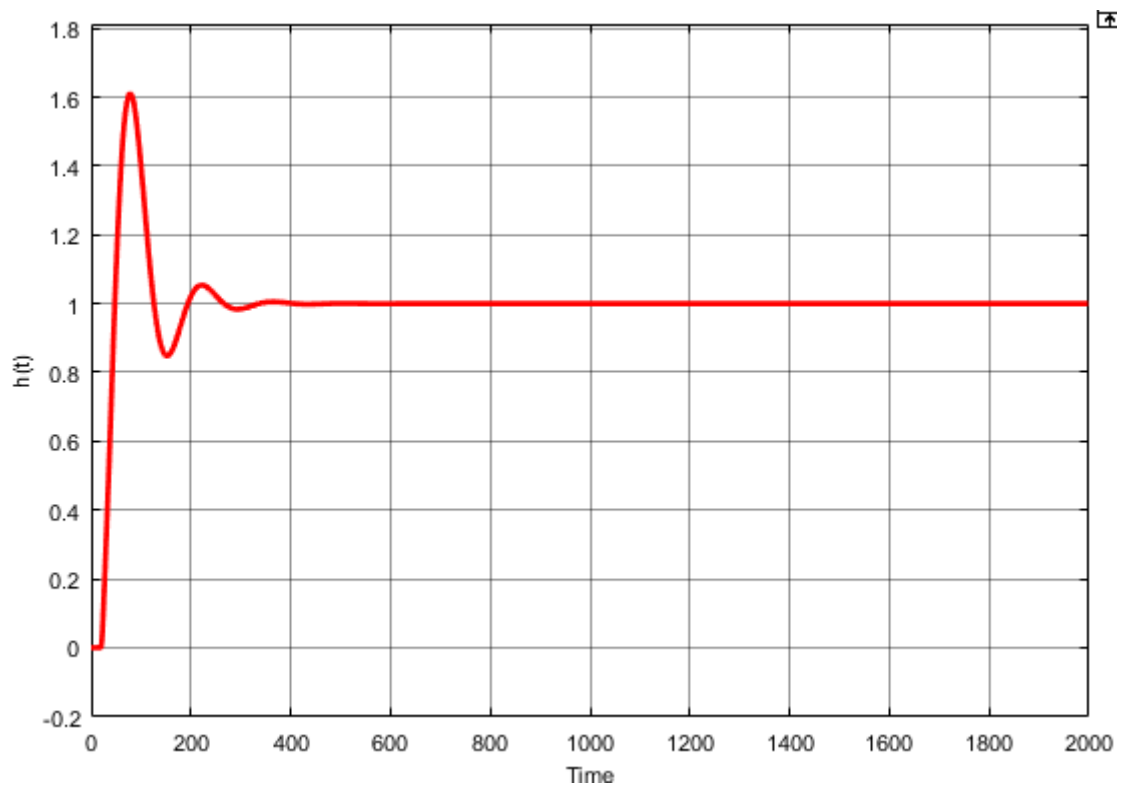


Рисунок 2.40 - Перехідний процес методу РАФХ по каналу завдання-вихід

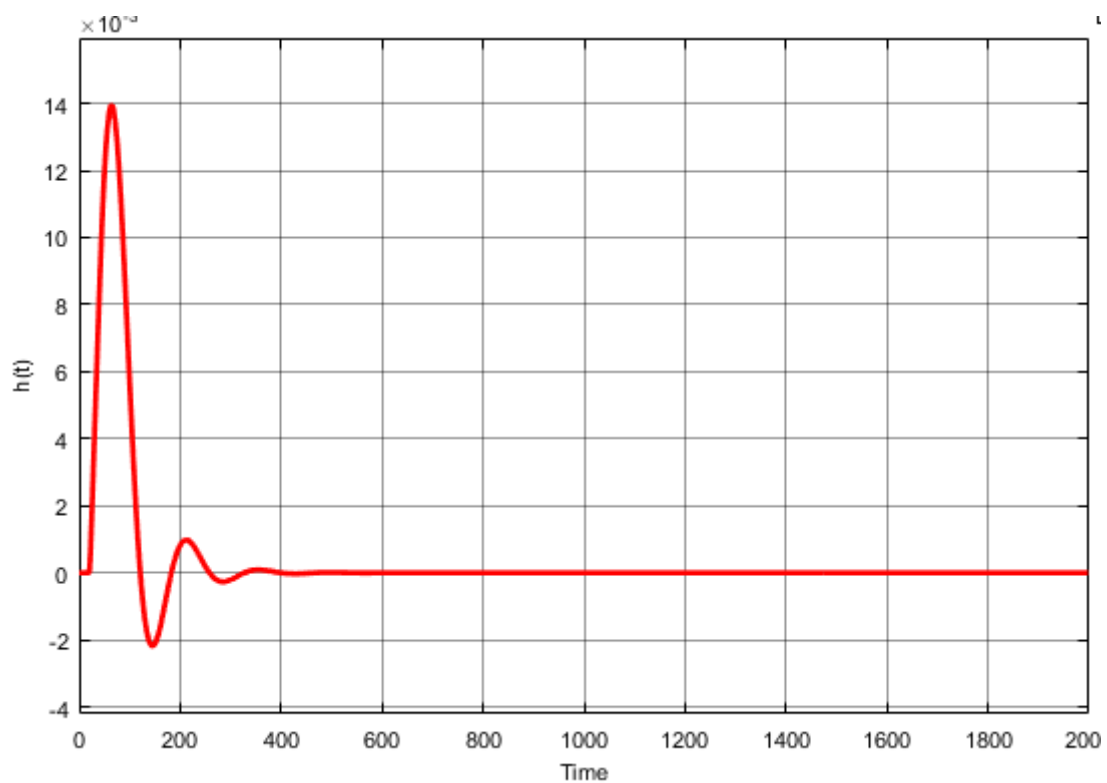


Рисунок 2.41 - Перехідний процес методу РАФХ по каналу збурення-вихід

Складемо таблицю із параметрами якості перехідних процесів та порівняємо два методи.

Таблиця 2.4 – Параметри якості порівняння двох методів

Показник якості	РАФХ		Експрес	
	Збурення-вихід	Завдання-вихід	Збурення-вихід	Завдання-вихід
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0	0	0
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0.014	0.609	0.0395	0
Перерегулювання σ , %	15.7	60.9	0	0
Степінь затухання, Ψ	0.931	0.913	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	170	185	1200	950

Проаналізувавши параметри якості можна зробити висновок що метод РАФХ є кращий через динамічну похибку та набагато менший час перехідного процесу. Отже для подальших досліджень візьмемо параметри регулятора із методу РАФХ.

$K_p=72$

$T_i=55$

2.2.9 Функціональне моделювання САР

Функціональне моделювання САР це дослідження системи на чутливість. Аналіз чутливості системи дозволяє зрозуміти як поведе себе системи при зміні параметрів об'єкта.

Для дослідження змінимо параметри об'єкта на $\pm 10\%$.

Змінимо параметр $K_{об}$ на 10% :

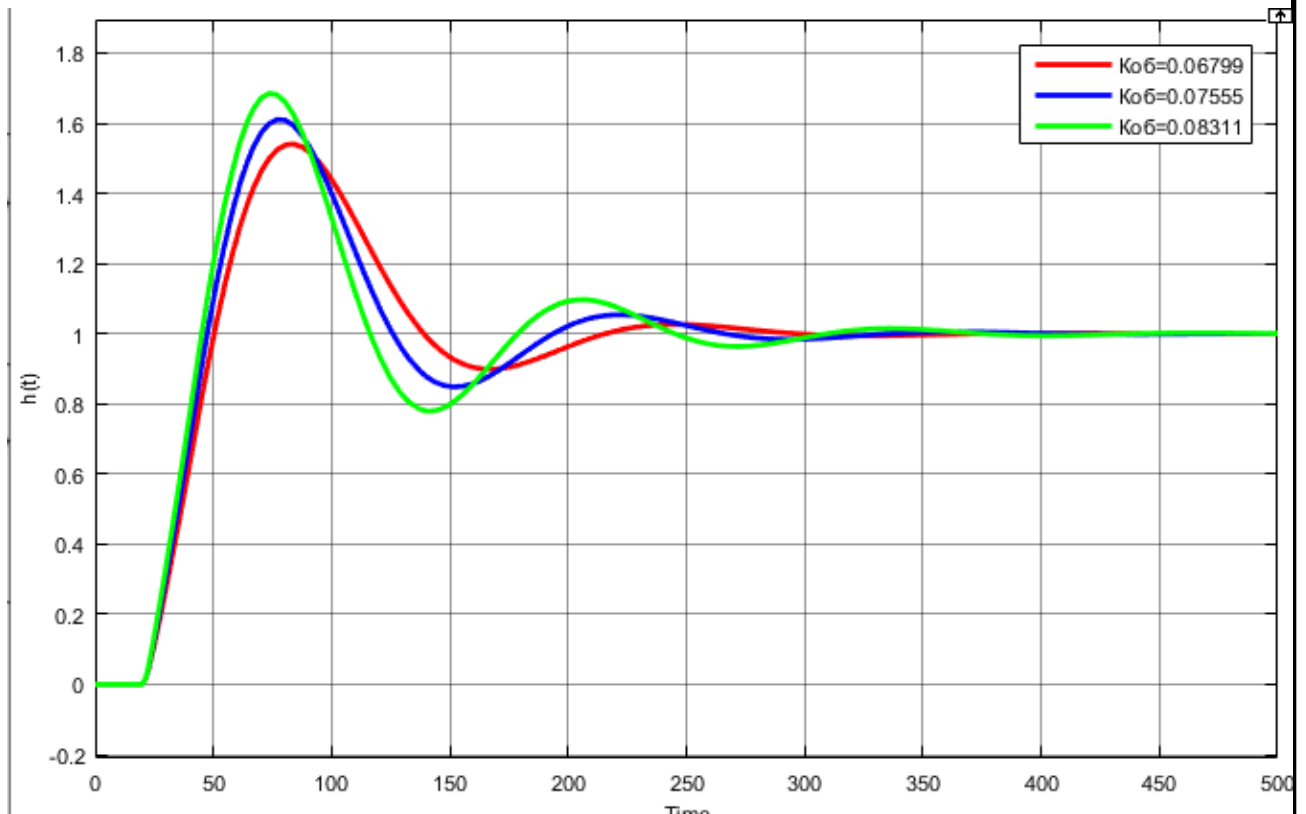


Рисунок 2.42 – Перехідні процеси із зміненим значенням $K_{об}$ по каналу завдання-вихід

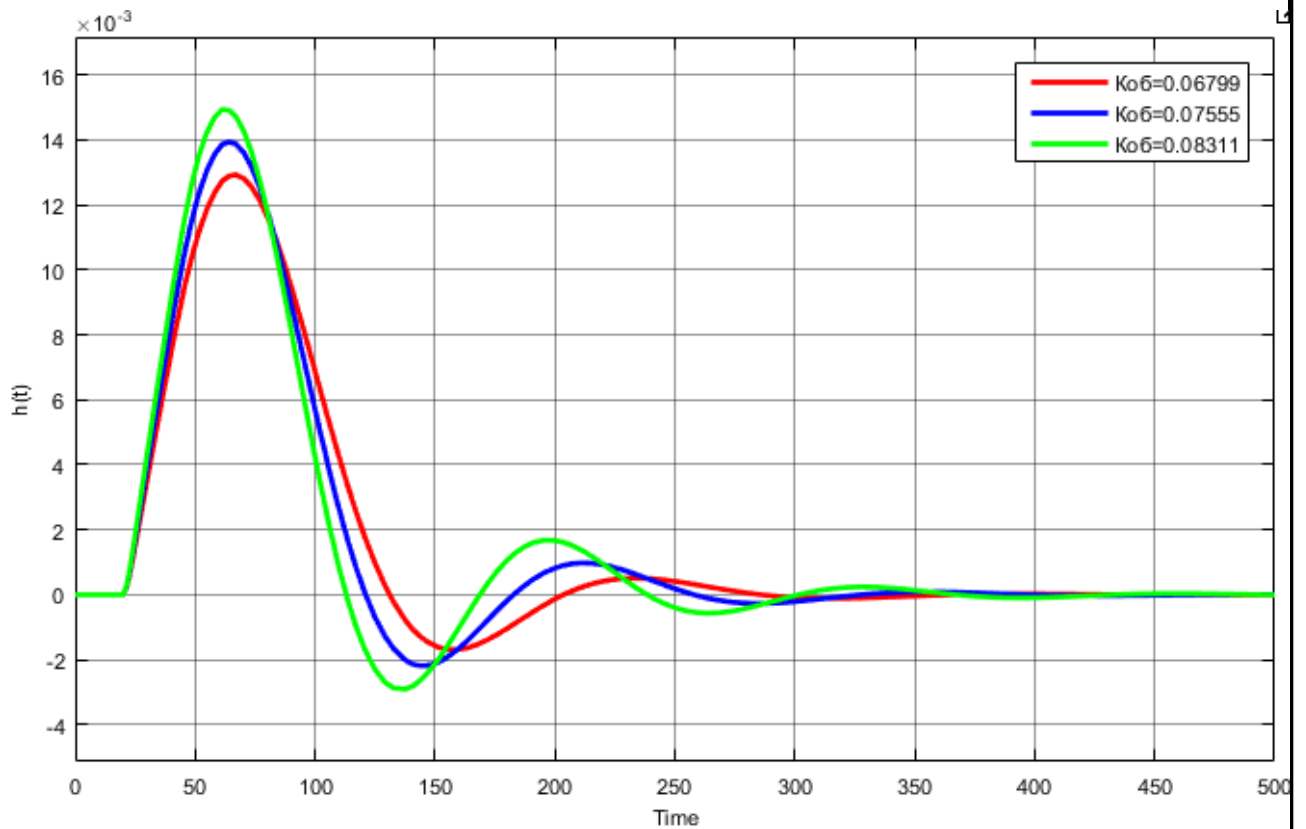


Рисунок 2.43 – Перехідні процеси із зміненим значенням Коб по каналу збурення-вихід

Порівняємо показники якості:

Таблиця 2.5 – Показники якості перехідних процесів із зміненим Коб

Показник якості	Завдання-вихід			Збурення-вихід		
	Коб=0.06799	Коб=0.07555	Коб=0.08311	Коб=0.06799	Коб=0.07555	Коб=0.08311
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0	0	0	0	0

Динамічна похибка, $\Delta_{\text{дин}}$	0.541	0.609	0.685	0.0129	0.014	0.0149
Перерегулювання σ , %	54.1	60.9	68.5	13	15.7	19.5
Степінь згасання, Ψ	0.9556	0.913	0.8584	0.961	0.931	0.887
Час перехідного процесу $t_{\text{пп}}$, с	175	185	215	185	170	215

Змінімо параметр $T_{0\delta}$ на 10%:

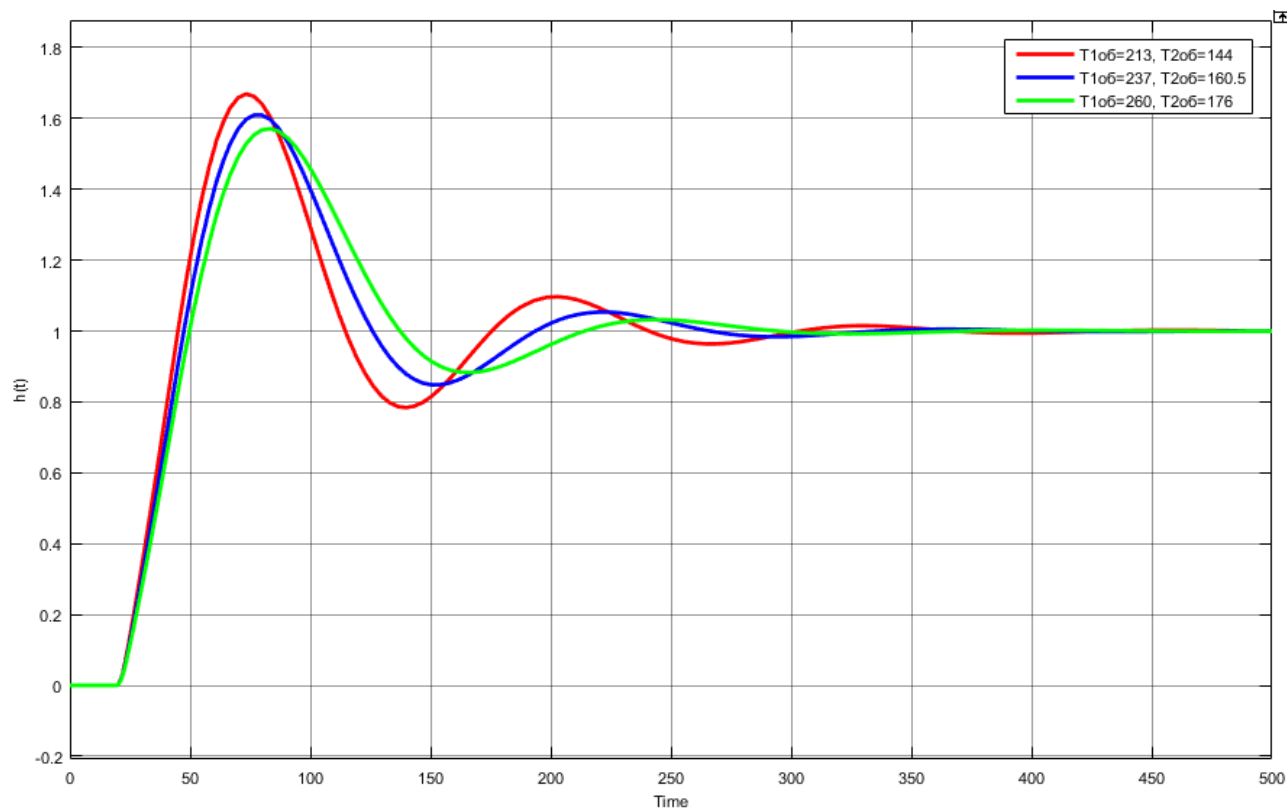


Рисунок 2.44 – Перехідні процеси із зміненим значенням $T_{об}$ по каналу
завдання-вихід

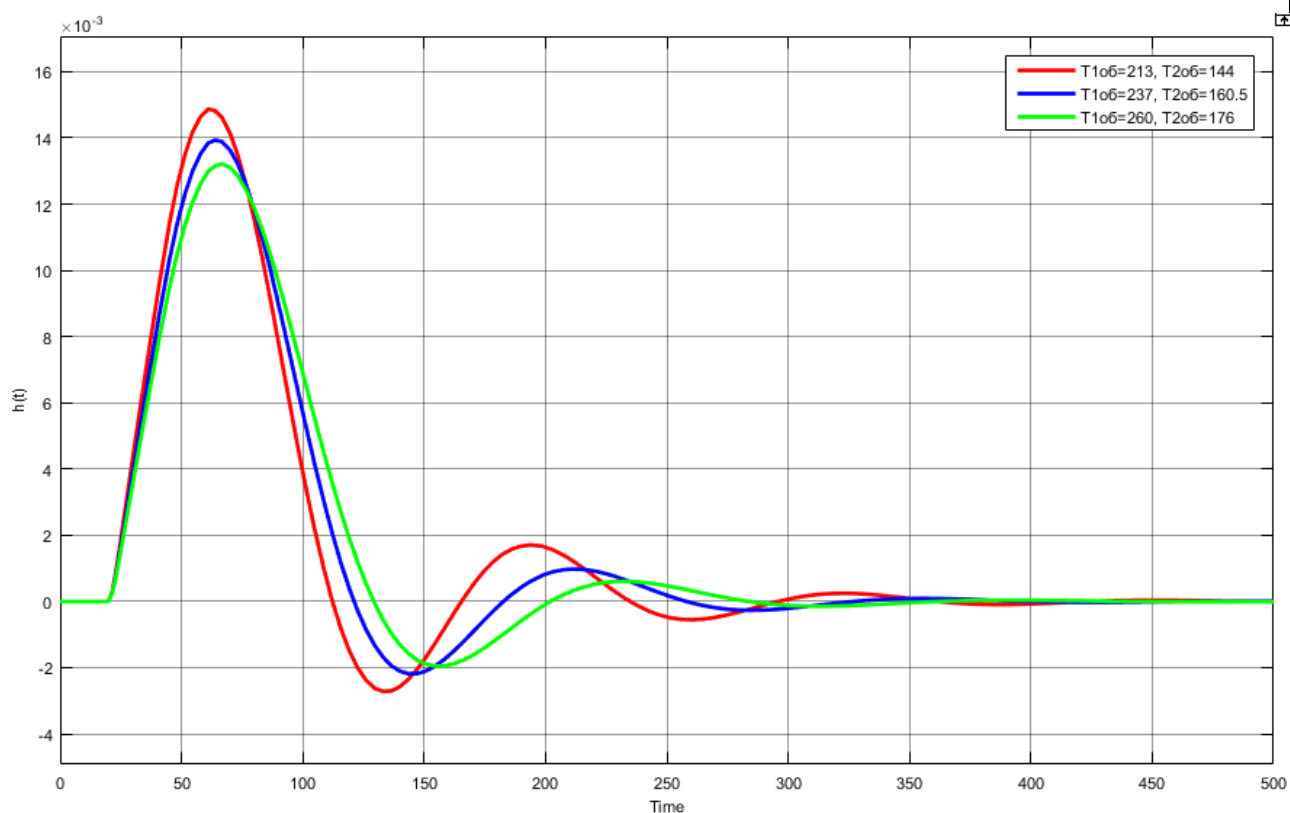


Рисунок 2.45 – Перехідні процеси із зміненим значенням $T_{об}$ по каналу
збурення-вихід

Порівнюємо показники якості:

Таблиця 2.6 – Показники якості перехідних процесів із зміненим $T_{об}$

Показник якості	Завдання-вихід			Збурення-вихід		
	$T_{1об}=2$ 13 $T_{2об}=1$ 44	$T_{1об}=2$ 37 $T_{2об}=1$ 60.5	$T_{1об}=26$ 0 $T_{2об}=17$ 6	$T_{1об}=21$ 3 $T_{2об}=14$ 4	$T_{1об}=237$ =160.5 5	$T_{1об}=2$ 60 $T_{2об}=1$ 76

Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0	0	0	0	0
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0.666	0.609	0.57	0.0148	0.014	0.0132
Перерегулювання σ , %	66.6	60.9	57	18.2	15.7	14.7
Степінь затухання, Ψ	0.855	0.913	0.945	0.885	0.931	0.954
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	220	185	190	215	170	185

Змінимо параметр тоб на 10%:

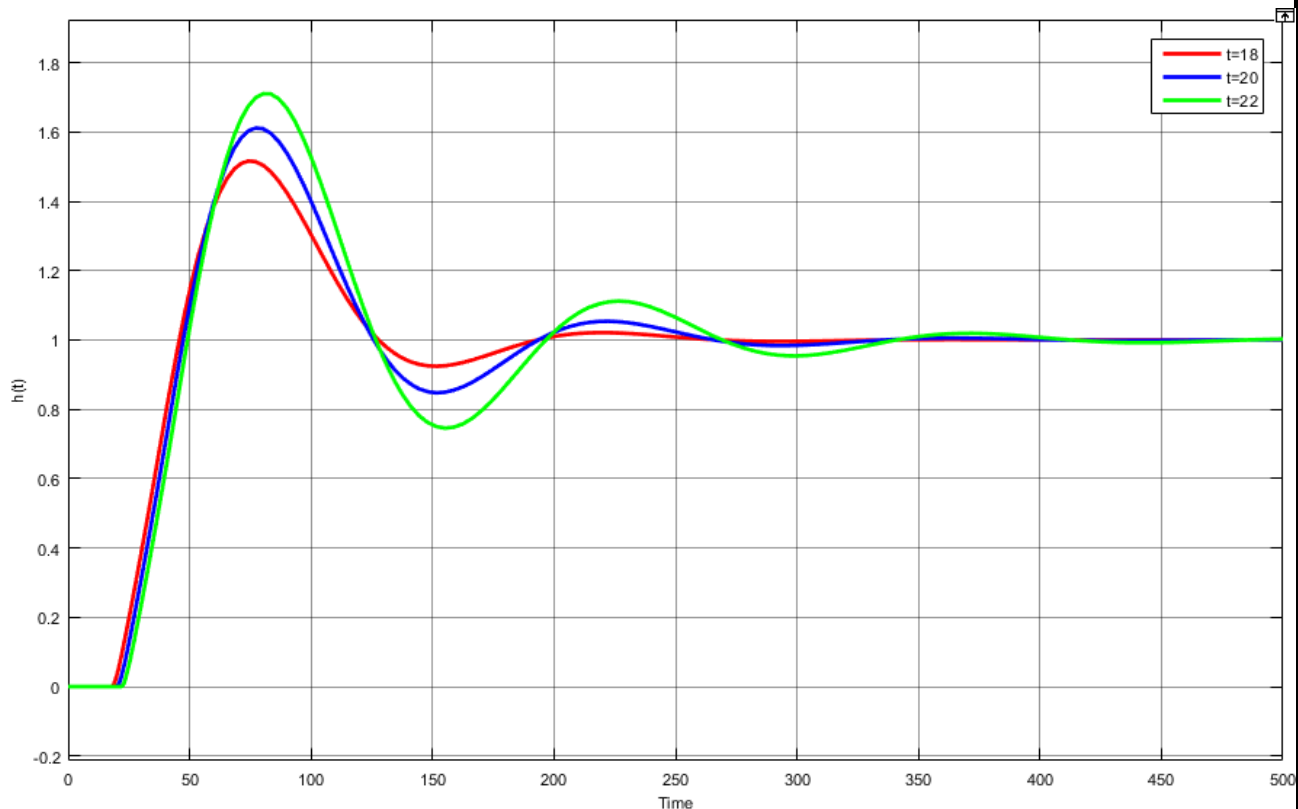


Рисунок 2.46 – Перехідні процеси із зміненим значенням t_{0b} по каналу завдання-вихід

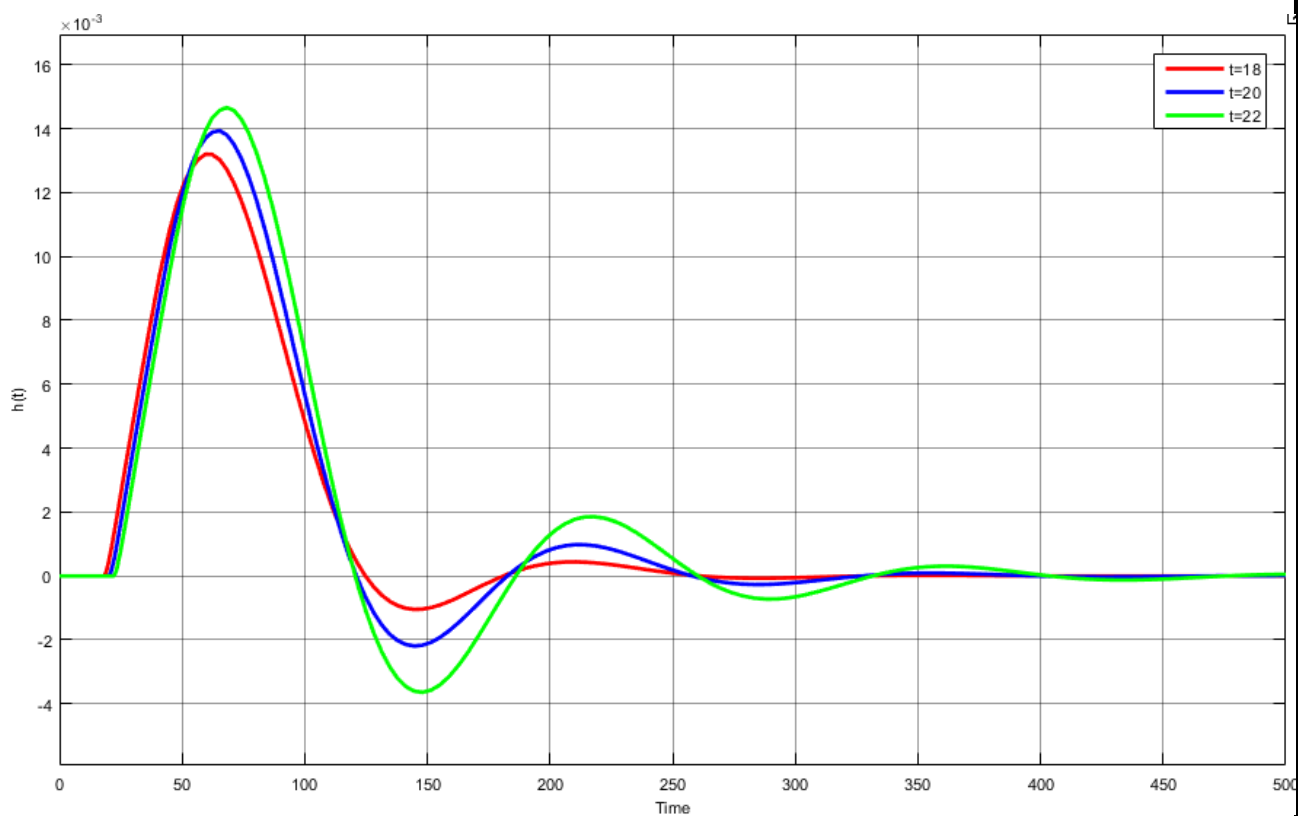


Рисунок 2.47 – Перехідні процеси із зміненим значенням $t_{об}$ по каналу збурення-вихід

Порівнюємо показники якості:

Таблиця 2.7 – Показники якості перехідних процесів із зміненим $t_{об}$

Показник якості	Завдання-вихід			Збурення-вихід		
	t=18	t=20	t=22	t=18	t=20	t=22
Статична похибка, $\Delta_{ст}$	0	0	0	0	0	0
Динамічна похибка, $\Delta_{дин}$	0.515	0.609	0.71	0.0132	0.014	0.0146
Перерегулювання σ , %	51.5	60.9	71	7.8	15.7	24.9
Степінь затухання, Ψ	0.959	0.913	0.844	0.968	0.931	0.873
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	165	185	240	160	170	240

2.2.10 Висновки щодо роботоздатності РВК САР

Якість регулювання є одним з найсуттєвіших показників, який визначає ефективність роботи РВК в системах автоматичного регулювання. Вона відповідає за точність та швидкість реакції системи на зміни вхідних

сигналів, що є критичним для забезпечення оптимальної функціональності САР. Якість регулювання визначає, наскільки ефективно система здатна переходити від одного стану до іншого з урахуванням динаміки зміни вхідних параметрів, забезпечуючи стабільність та точність регулювання у різних умовах роботи. Таким чином, цей показник є важливим аспектом у визначенні працездатності та ефективності САР, а також впливає на якість контролю та управління процесами. У даній роботі якість регулювання була достатньо хороша, що свідчить про ефективність розробленої системи та її здатність забезпечувати необхідний рівень точності та стабільності регулювання.

Надійність функцій системи автоматичного регулювання визначається її здатністю безвідмовно працювати або відновлювати працездатність після аварійних ситуацій. У випадку системи регулювання температури повітря в приміщенні, надійність може бути оцінена за часом безвідмовної роботи чи часом відновлення після виникнення неполадок. В даному випадку використовується послідовна схема надійності, де в разі відмови будь-якого елемента, вся система припиняє роботу. Хоча такий підхід може бути менш надійним, він є більш економічно вигідним. Зазначений час відновлення роботи системи є невеликим, що вважається задовільним результатом, оскільки за цей час приміщення не має часу значно остигнути, та немає необхідності в евакуації персоналу.

РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЕКТУ

3.1 Схема функціональна автоматизації ТОУ

Функціональність ПЛК полягає в збиранні даних з датчиків, обробці цих даних відповідно до заданих алгоритмів керування, формуванні команд управління для виконавчих механізмів та забезпеченні необхідних режимів роботи системи кондиціонування (автоматичний, напівавтоматичний або ручний).

На схемі зображено повітропровід, через який зовнішнє повітря надходить у приміщення після відповідної підготовки. Підготовка повітря включає його очищення, осушення, нагрівання та зволоження залежно від потреб.

На схемі кондиціонування повітря лікарні зображено деталізовану мнемосхему технологічного обладнання та трубопроводів. Точки вимірювання параметрів технологічного процесу позначені відповідними приладами:

1. 1а, 1б - датчики температури вхідного повітря з вулиці та виконавчий механізм який контролює ступінь відкриття вхідної заслінки.
2. 2а, 2б - датчики температури підготовленого повітря, що подається в приміщення.
3. 2в – виконавчий механізм, що змінює температуру в калорифері.
4. 3а - датчик вологості повітря в повітропроводі після випаровувача.
5. 4а - датчик вологості повітря на вході в приміщення.
6. ТЕ5а - датчик температури води, що подається в зволожувач.
7. 7а, 8а, 9а, 10а, 11а - перетворювачі різниці тиску для вимірювання перепаду тиску на фільтрах та можливих аварій.
8. 6а – датчик концентрації CO₂ у приміщенні.

На схемі також зображено виконавчі механізми, що керують подачею повітря, води та регулюють роботу випаровувача і зволожувача. Команди керування від ПЛК надходять на вихідні шини ПЛК. Регулюючі органи (заслінки, клапани) встановлюються на відповідних трубопроводах для регулювання потоків повітря та води.

Тяга повітря забезпечується каналним вентилятором (М1). Перед подачею у приміщення повітря проходить додаткове очищення на фільтрі з контролем перепаду тиску. У приміщенні встановлені датчик температури

Система також має витяжний канал з вентилятором (М2) та фільтром для видалення відпрацьованого повітря з приміщення та його очищення перед викидом назовні.

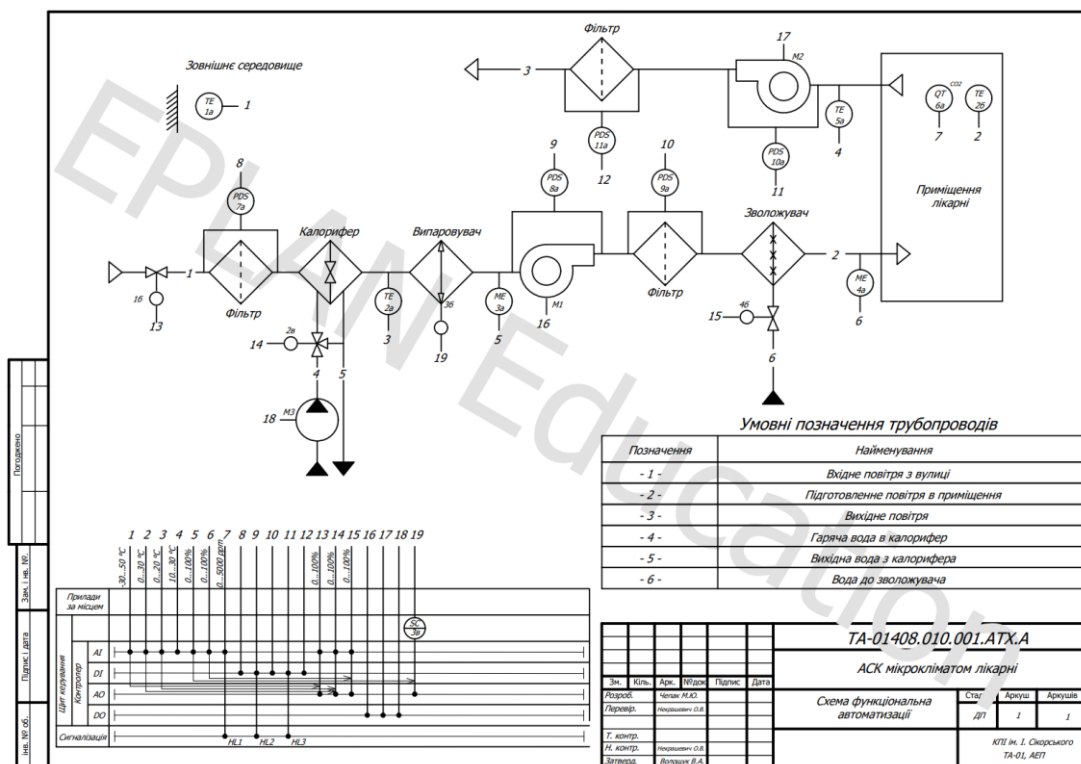


Рисунок 3.1 – Схема функціональна автоматизації автоматизованої системи керування мікрокліматом лікарні

3.2 Схема структурна ПТК

На структурній схемі автоматизованої системи керування мікрокліматом лікарні зображена трирівнева архітектура програмно-технічного комплексу. Рівень L0 представляє вимірювальну апаратуру та виконавчі механізми. До вимірювальної апаратури належать датчики температури, вологості, тиску та перепаду тиску, а виконавча апаратура включає електродвигуни вентиляторів та насосів M1, M2, M3, виконавчі механізми засувки Y1, Y2, Y3 та випаровувач U1.

На рівні L1 розташована контролерна автоматизація. Програмований логічний контролер Modicon TM172OBM42R збирає дані з датчиків, обробляє їх за заданими алгоритмами та формує команди керування для виконавчих механізмів. Також до цього рівня входять електромагнітні пускачі KM1, KM2, KM3 для керування електродвигунами та частотний перетворювач FK1 для керування випаровувачем.

Рівень L2 включає супервізорну автоматизацію. SCADA-система Indusoft Web Studio забезпечує людино-машинний інтерфейс, візуалізацію даних, архівування та керування системою на вищому рівні. До цього рівня також входять клієнтські робочі станції операторів, які використовуються для моніторингу та керування системою.

Комунікація між рівнями відбувається через промислові мережі. Контролер ПЛК підключений до вимірювальних приладів через дискретні входи/виходи та аналогові входи. Зв'язок між ПЛК та SCADA-системою здійснюється через промислову мережу Ethernet, яка використовує стандартні протоколи TCP/IP.

Вимірювальна апаратура збирає дані про параметри технологічного процесу і передає їх на ПЛК. ПЛК виконує алгоритми керування та формує команди для виконавчих механізмів залежно від заданих критеріїв або команд оператора через SCADA-систему. SCADA-система забезпечує

візуалізацію процесу, архівування даних та централізоване керування на вищому рівні.

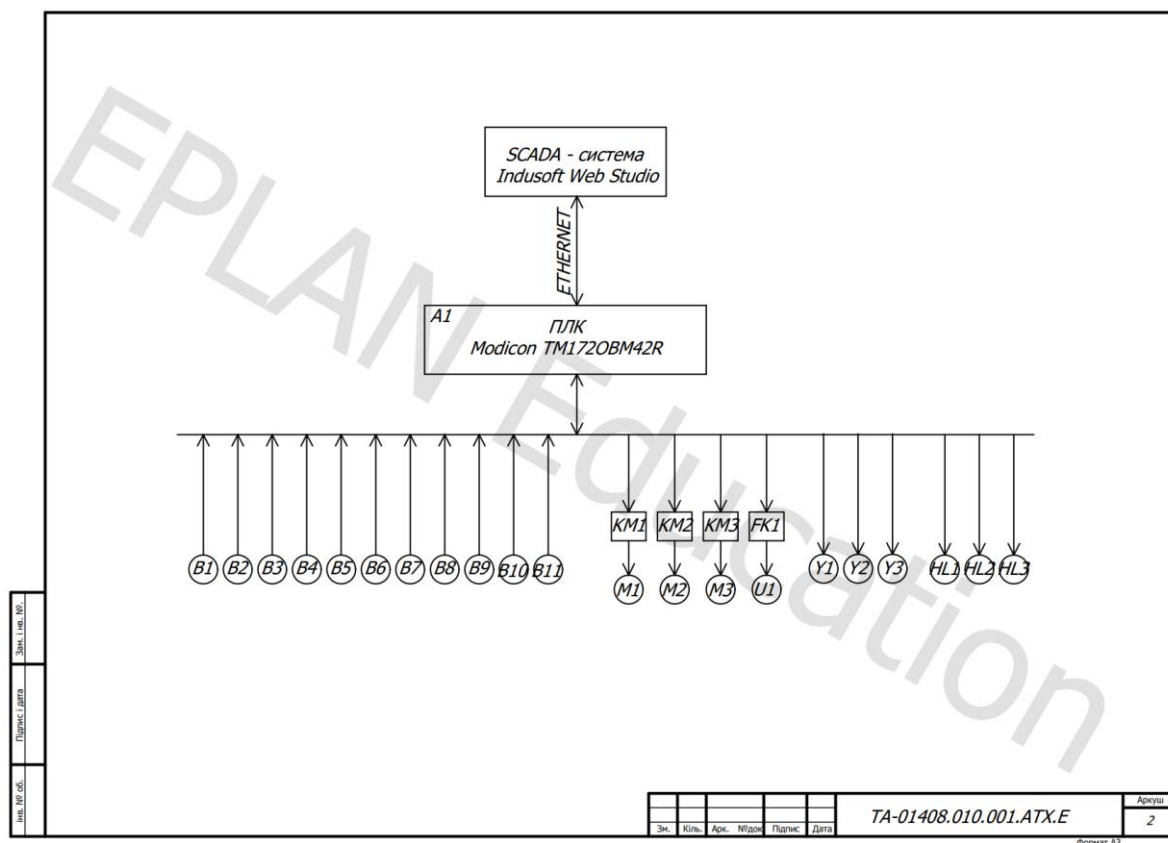


Рисунок 3.2 – Схема структурна ПТК автоматизованої системи керування мікрокліматом лікарні

3.3 Схема принципова електрична АСР

На електричній принциповій схемі автоматизованої системи кондиціонування мікроклімату лікарні зображено такі елементи:

Блок живлення PS1 - це блок живлення Modicon Power Supply ABLM1A24025, який забезпечує напругу 24 В постійного струму для ПЛК, датчиків та електроприводів. Для підключення датчиків використовуються наступні пристрої: В1 - датчик температури вуличного повітря RAUT ST-01, підключений до аналогового входу AI1 ПЛК, В2 - датчик температури в приміщенні RAUT ST-02, підключений до AI2, В3 і В4 - датчики температури Honeywell LF20 на трубопроводах, підключені до AI3 та AI4, В5 і В6 - датчики вологості Schneider Electric SHD100, підключені до AI5 та AI6, В7 - перетворювач концентрації CO₂, підключений до дискретного входу DI1, В8-В11 - реле перепаду тиску ДТВ 500 на фільтрах, підключені до DI2-DI5, В12 - додатковий датчик, підключений до DI6.

Для підключення виконавчих пристроїв використовуються: М1 і М2 - каналні вентилятори, керовані через реле КМ1 та КМ2 від дискретних виходів ПЛК, М3 - циркуляційний насос, керований через КМ3, Y1-Y3 - електроприводи регулюючих клапанів Belimo EV24A, підключені до аналогових виходів AO1-AO3 ПЛК, U1 - перетворювач частоти ATV12 для регулювання швидкості випаровувача НК 100-0,6-1, підключений до AO4.

QF1-QF6 - автоматичні вимикачі, які забезпечують захист системи від перепадів напруги та дозволяють ручне керування за необхідності, HL1-HL3 - сигнальні лампи індикації, що надають візуальний статус роботи системи, та FU1 - запобіжник для додаткового захисту.

Давачі перетворюють вимірювані величини в уніфіковані сигнали (0-10В, 4-20 мА, логічні рівні). Ці сигнали надходять на відповідні входи AI, DI ПЛК. ПЛК обробляє сигнали за заданою програмою і формує керуючі сигнали на дискретних (24В для увімкнення реле КМ) та аналогових

виходах АО (0-10В, 4-20 мА для регулювання приводів й перетворювача частоти).

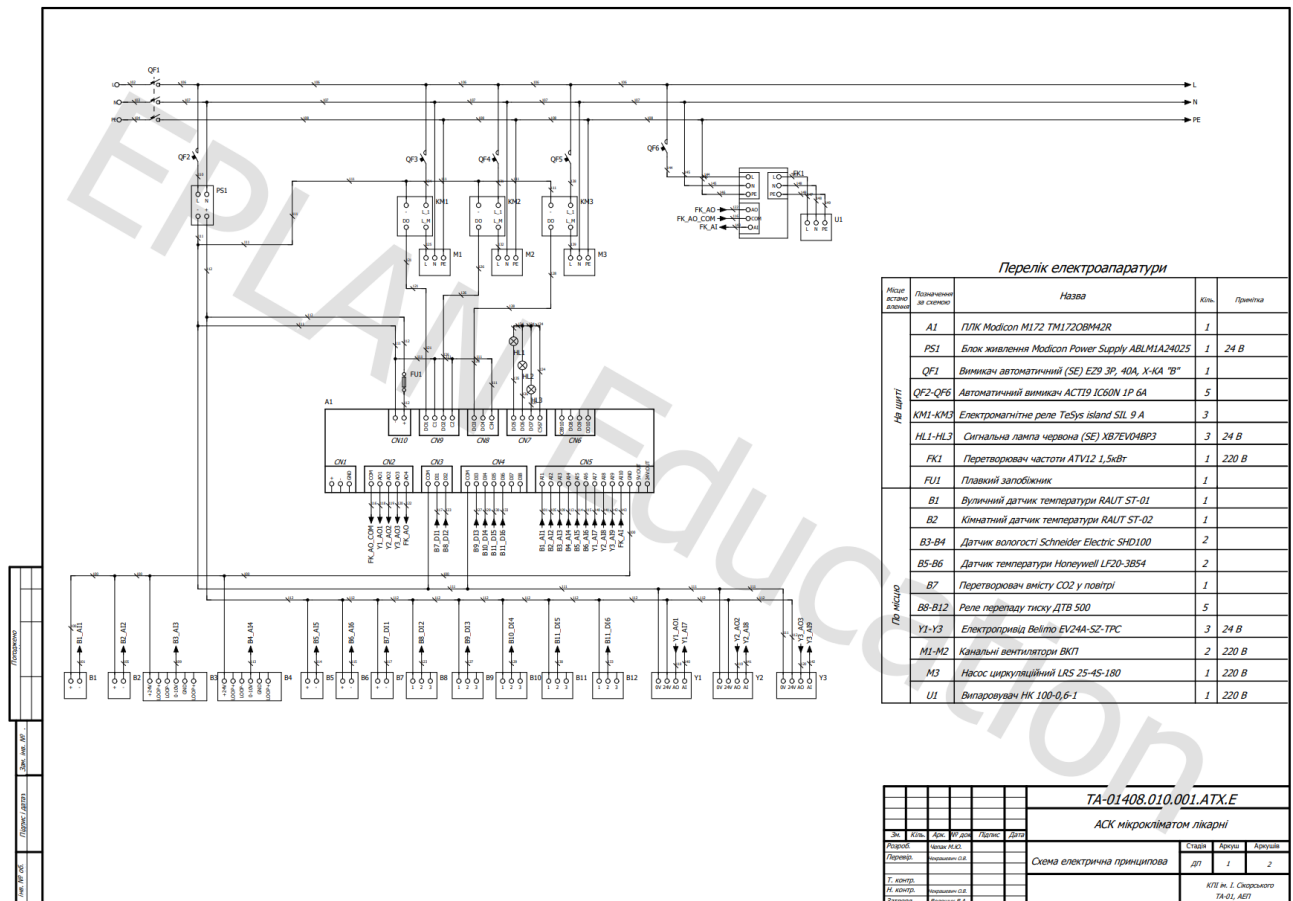


Рисунок 3.3 – Схема принципова електрична автоматизованої системи керування мікрокліматом лікарні

3.4 Креслення загального виду щита

На кресленні загального виду щита автоматизації АСК мікроклімату лікарні показано принцип і порядок монтажу апаратури. На монтажній плиті щита встановлюється DIN-рейка 35 мм для монтажу апаратури. Внизу щита встановлюється клемна панель XT1 для підключення силових ліній і XT2 для підключення датчиків та електроприводів. Зверху на DIN-рейці монтуються ПЛК (A1), блок живлення (PS1), автоматичні вимикачі (QF1-QF6), електромагнітні реле (KM1-KM3) та перетворювач частоти (FK1). На

фасадній частині розміщуються сигнальні лампи (HL1-HL3). Кабелі та дроти прокладаються в коробі для проводів.

Ергономічні вимоги до розташування апаратури враховують, що найбільш важливі та часто використовувані елементи, такі як сигнальні лампи та кнопки керування, розташовані на фасадній частині щита на рівні очей оператора для зручного спостереження та доступу. Складніша апаратура, включаючи ПЛК, реле та перетворювач частоти, розміщена на монтажній плиті на доступній висоті для обслуговування. Клемники розташовані внизу щита для зручності підключення кабелів та підводу шин з нижньої частини щита.

Ергономічні вимоги до розташування клемників передбачають їх розділення на силові (ХТ1) та сигнальні (ХТ2) для розділення кіл різного призначення. Клемники розташовані внизу щита на зручній висоті для підключення кабелів, забезпечуючи вільний доступ до них з фронтальної сторони. Клемники мають маркування для полегшення ідентифікації підключень.

Загалом, конструкція щита забезпечує ергономічне розташування елементів для зручності експлуатації, обслуговування та ремонту.

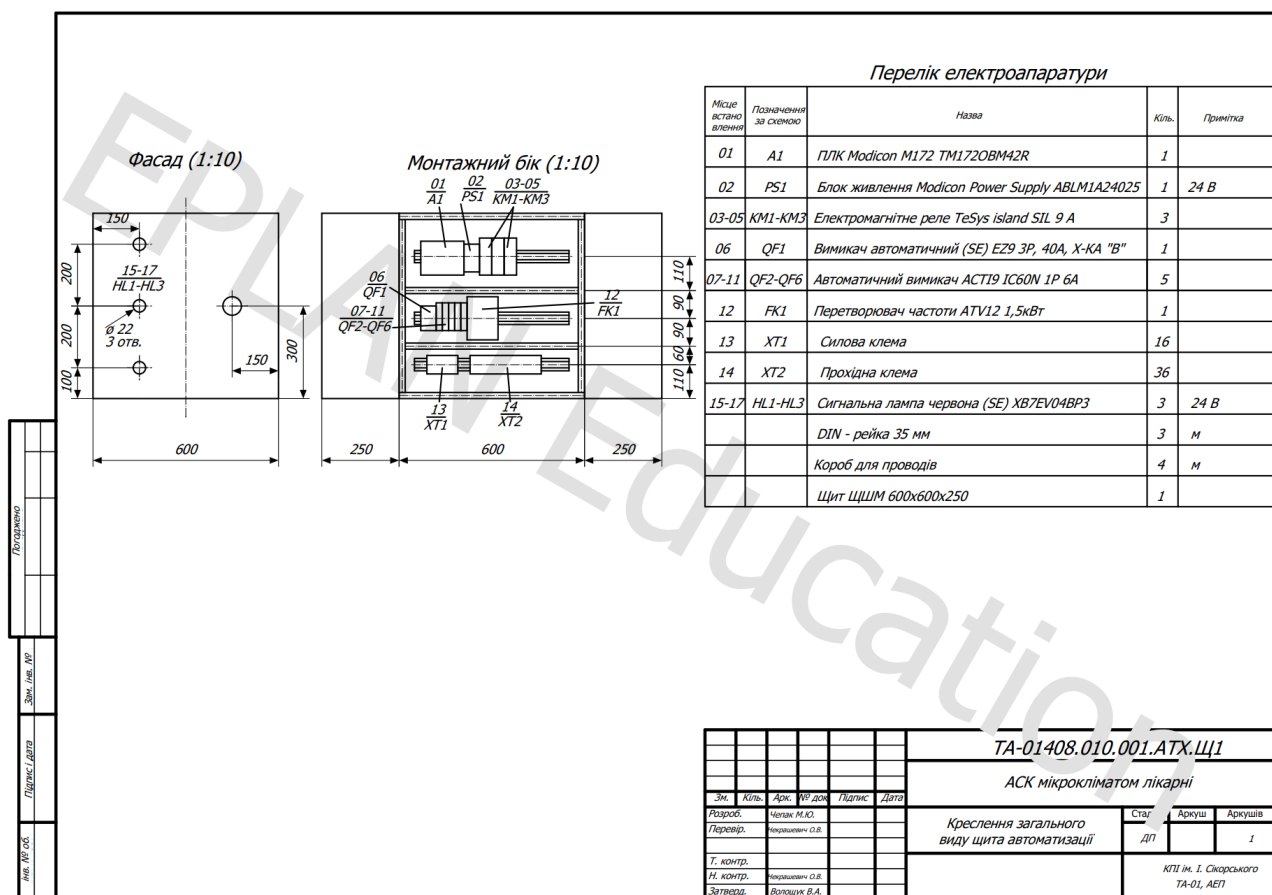


Рисунок 3.4 – Креслення загального виду щита автоматизації автоматизованої системи керування мікрокліматом лікарні

3.5 Схема монтажна щита (таблиця з'єднань)

На монтажній схемі щита автоматизованої системи мікроклімату лікарні показано розміщення та підключення всіх елементів системи керування. На схемі представлено програмований логічний контролер Modicon M172 TM172OBM42R (A1) із зазначенням всіх його входів та виходів, блок живлення Modicon Power Supply ABLM1A24025 (PS1) для забезпечення напругою 24В постійного струму ПЛК та пристроїв, автоматичні вимикачі QF1-QF6 для захисту кіл, електромагнітні реле KM1-KM3 для керування виконавчими механізмами, перетворювач частоти ATV12 FK1 для регулювання швидкості випаровувача, клемні колодки XT1

силова та XT2 прохідна для підключення кабелів, сигнальні лампи HL1-HL3 для індикації стану системи.

На схемі детально показано підключення всіх вимірювальних приладів: датчиків температури, вологості, концентрації CO2 та тиску до аналогових і дискретних входів ПЛК. Також зображено підключення виконавчих механізмів вентиляторів M1-M2, насоса M3, приводів клапанів Y1-Y3 та перетворювача частоти U1 до дискретних і аналогових виходів ПЛК та блоків живлення. Прокладка кабелів між компонентами здійснюється згідно маркування та нумерації провідників, використовуючи різні типи проводів сигнальні та силові.

Така монтажна схема забезпечує правильне підключення всіх елементів автоматизованої системи управління мікрокліматом лікарні відповідно до принципової електричної схеми.

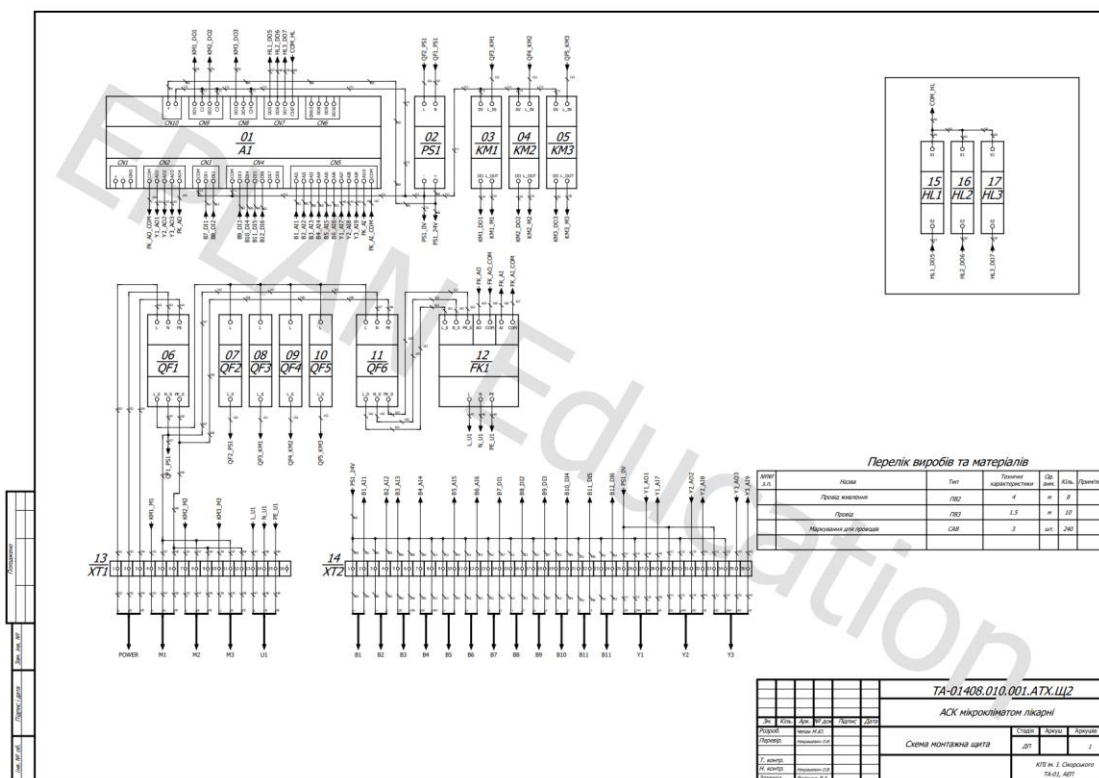


Рисунок 3.5 – Схема монтажна щита автоматизованої системи керування мікрокліматом лікарні

3.6 Схема зовнішніх з'єднань

На схемі з'єднань та підключень зовнішніх проводок автоматизованої системи мікроклімату лікарні показано підключення виконавчих механізмів, включаючи вентилятори М1 та М2, циркуляційний насос М3, випаровувач U1 та приводи регулюючих клапанів Y1, Y2, Y3 до щита автоматизації. Підключення вимірювальних приладів охоплює датчик температури зовнішнього повітря В1, датчик температури у приміщенні В2, датчики температури на трубопроводах В3 та В4, датчики вологості В5 та В6, датчик концентрації CO2 В7, реле перепаду тиску на фільтрах В8-В11, додатковий датчик перепаду тиску В12.

Прокладка кабелів здійснюється за допомогою гофротруби з зазначенням типів кабелів: силовий кабель живлення МКЕШ 4x1.5 мм² (W1), силові кабелі МКЕШ для підключення вентиляторів та насоса (W2-W5), кабелі керування ВВГ нг 3x2 мм² для приводів клапанів та випаровувача (W6-W8), кабелі керування ВВГ нг мкеш 2x1.5 мм² для підключення датчиків (W9-W20). На схемі вказані точки вимірювання різних параметрів, таких як температура, вологість, концентрація газів та перепад тиску у відповідних місцях системи вентиляції та трубопроводів.

Наведено специфікацію матеріалів та виробів, включаючи кабелі та гофротрубу, із зазначенням типів, технічних характеристик та необхідних кількостей. Ця схема забезпечує належне підключення всіх компонентів системи автоматизації до щита керування відповідно до вимог монтажу та прокладки кабелів.

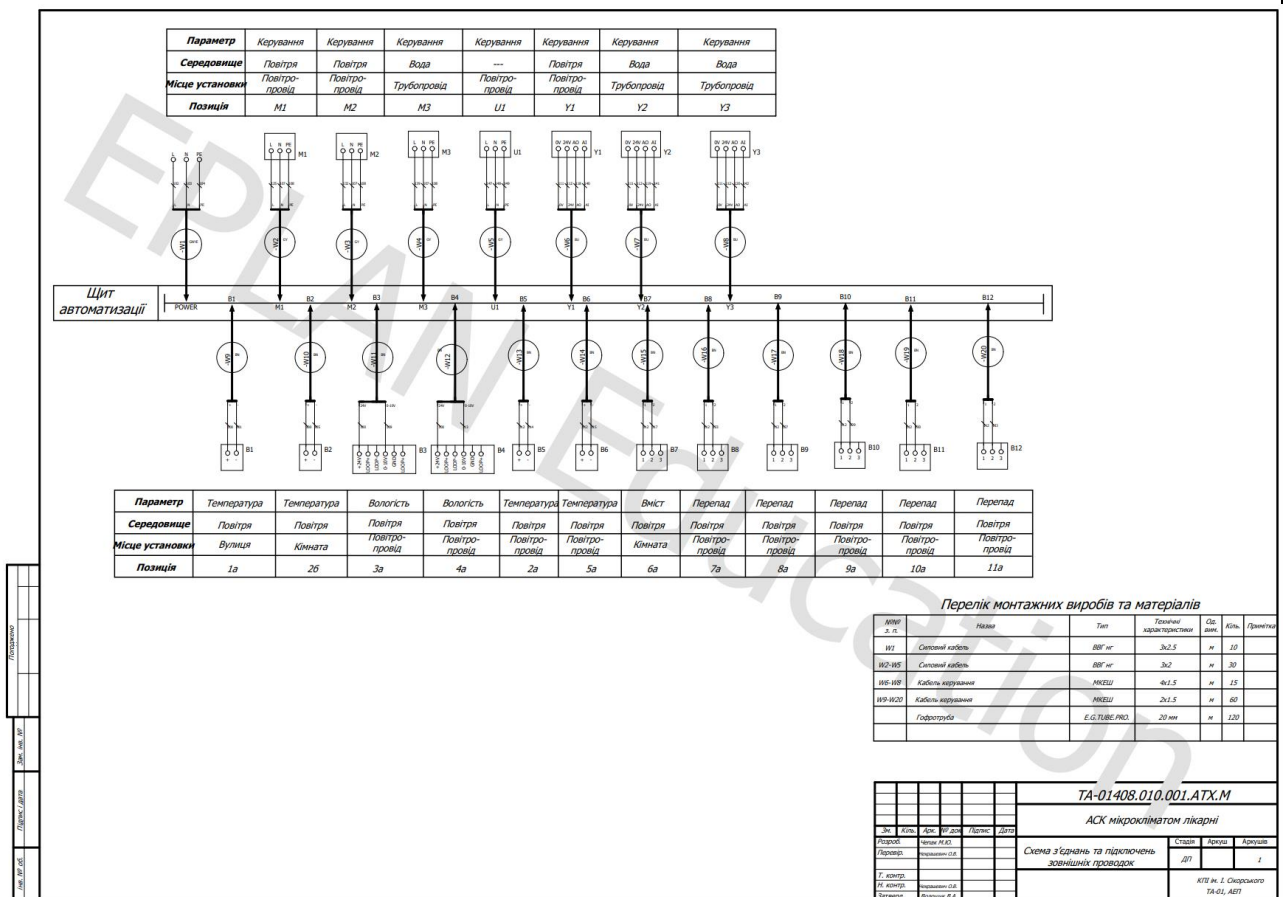


Рисунок 3.6 – Схема з'єднань та підключень зовнішніх проводок автоматизованої системи керування мікрокліматом лікарні

3.7 Специфікація обладнання

Специфікація обладнання описує всі необхідні компоненти системи та їх призначення:

Прилади:

- Датчики вологості повітря SHD100 - для вимірювання вологості в повітропроводі та приміщенні.
- Датчики температури повітря Honeywell LF20 - для вимірювання температури в трубопроводах.
- Світлові індикатори HL1-HL3 - для візуальної індикації стану системи.
- Датчик температури зовнішнього повітря RAUT ST-01.
- Датчик температури в приміщенні RAUT ST-02.
- Реле перепаду тиску ДТВ 500 - для контролю тиску повітря на фільтрах та насосах.
- Перетворювач вмісту CO₂ АГ-06е - для вимірювання рівня вуглекислого газу в приміщенні.

Комплекс технічних засобів:

- Блок живлення 24В (PS1) - забезпечує електроживлення системи.
- Електромагнітні реле КМ1-КМ3 - використовуються для комутації електричних кіл і керування виконавчими механізмами (М1, М2, М3).
- Програмований логічний контролер (ПЛК) з 10 аналоговими входами, 8 дискретними входами, 4 аналоговими виходами та 10 дискретними виходами (А1) - центральний елемент системи, який збирає дані, виконує алгоритми керування та формує команди для виконавчих механізмів.
- Автоматичні вимикачі QF2-QF5, QF1, QF6 - забезпечують захист електричних кіл від перевантажень та коротких замикань.

- Перетворювач частоти ATV12 (FK1) - для регулювання випаровувачем.

Щити та пульти:

- DIN-рейка - для монтажу електричних приладів та апаратів у щиті.
- Короб для проводів - для прокладання електричних кабелів.
- Щит 600x600x250 - для розміщення електричних приладів та апаратів.
- Прокідні клеми XT1 - для підключення силових ліній.
- Силові клеми XT2 - для підключення датчиків та електроприводів.

Електроапарати:

- Канальні вентилятори ВКП 2Е (М1, М2) - для забезпечення циркуляції повітря в системі вентиляції приміщень.
- Циркуляційний насос LRS 25-4S-180 (М3) - для циркуляції теплоносія в системі калорифера.
- Випаровувач, нагрівач канальний НК 100-0,6-1 (U1) - для нагрівання/охолодження повітря, що подається в систему вентиляції.

Трубопровідна арматура:

- Електроприводи EV24A-SZ-TPC - для автоматизованого керування потоками повітря та теплоносія в системі.

Кабелі та дроти:

- Проводи живлення, силові кабелі та кабелі керування - для передачі електричної енергії та сигналів керування між компонентами системи.
- Маркування для проводів - для ідентифікації проводів.
- Гофротруба - для захисту електричних кабелів.

Усі ці елементи забезпечують автоматичне регулювання температури, вологості, рівня CO₂ та циркуляції повітря в приміщеннях лікарні для створення комфортних умов.

					ТА-01408.0010.001 АТХ.П	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПЛКЗА

4.1. Програмування функціональності ПЛК

Програмування функціональності ПЛК спрямоване на створення програмного забезпечення для керування програмованим логічним контролером, який забезпечує функціонування котла. Це включає розробку алгоритмів, логіки та системи управління різними аспектами роботи котла, такими як регулювання температури, подача палива, циркуляція контурів опалення та гарячого водопостачання, а також інших функцій.

До завдань програмування також входить створення функцій безпеки та автоматичного відключення для запобігання небезпечним ситуаціям, таким як перегрів, перевищення допустимих параметрів, аварійні ситуації та інші потенційні загрози під час експлуатації котла. Крім того, налаштування параметрів ПЛК має на меті забезпечити оптимальний, енергоефективний режим роботи котла. Це включає розробку регулювальних алгоритмів, розрахунків оптимальних значень параметрів і виконання відповідних налаштувань для забезпечення ефективного споживання палива та роботи котла.

Програмування ПЛК Modicon M172 здійснюється в середовищі Schneider Electric EcoStruxure Machine Expert - HVAC, яке підтримує мови програмування згідно зі стандартом IEC 61131-3. Оскільки принципи програмування в промислових середовищах IDE схожі, структуру прикладного програмного забезпечення буде продемонстровано на прикладі середовища програмування CODESYS.

Реалізуємо алгоритм роботи приточно-витяжної вентиляції в якому реалізовано два ПІД-регулятора, перший регулює трьохпозиційний клапан водяного калорифера, другий регулює роботу ККБ на охолодження. Також реалізований алгоритм який запобігає одночасну роботу на нагрів і охолодження. Впроваджено зупинку регулювання у разі виникнення аварійної ситуації.

1	VAR	SigToHeat	REAL	Сигнал управління ВМ калорифера
2	VAR	SigToCool	REAL	Сигнал управління для ККБ
3	VAR	PID_0	PID	Регулятор ВМ для калорифера
4	VAR	PID_1	PID	Регулятор для ККБ
5	VAR	SP_Temp	REAL	Параметр уставки
6	VAR	SensorValue	REAL	Поточне значення датчика
7	VAR	Kp_heat	REAL	
8	VAR	Tn_heat	REAL	
9	VAR	Kp_cool	REAL	
10	VAR	Tn_cool	REAL	
11	VAR	Tv_cool	REAL	
12	VAR	Alarm	BOOL	Сигнал аварії
13	VAR	StartStop	BOOL	Пуск і зупинка регулювання

Рисунок 4.1 – Зміні алгоритму

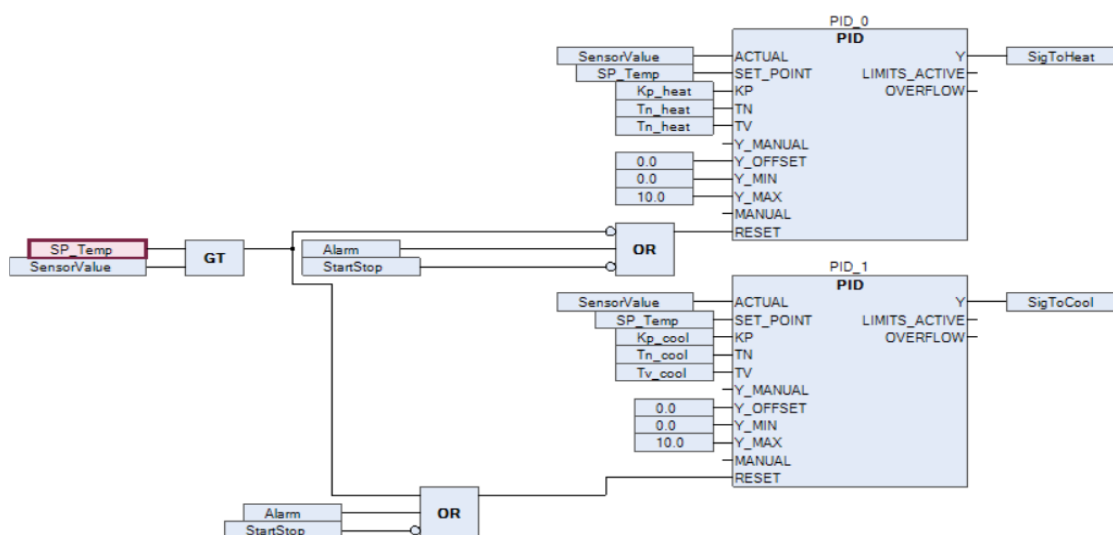


Рисунок 4.2 – Код функціонального блоку AnalogToDigital

4.2 Програмування функціональності SCADA-системи

На верхньому рівні АСУТП знаходиться SCADA-система. Для створення інтерфейсу було використано середовище розробки Indusoft Web Studio. Дана система та її інтерфейс потрібні для швидкої та зручної передачі інформації для оператора, що керує системою.

SCADA-система має у собі вікна для візуалізації процесів, архівування даних, відображення графіків та аварійних ситуацій.

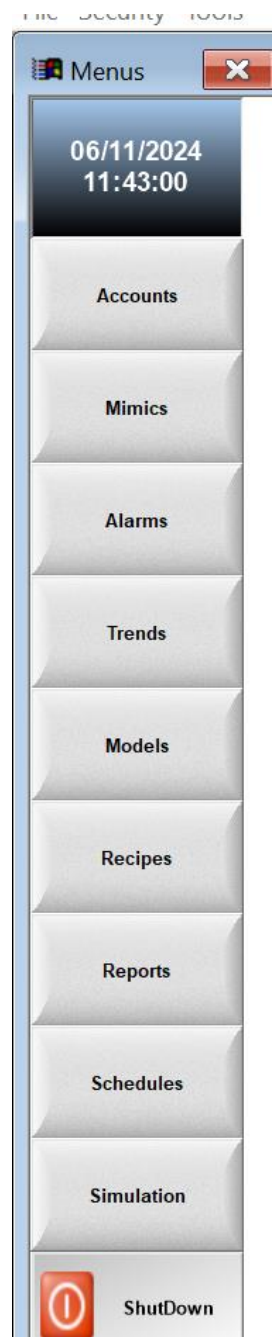


Рисунок 4.3 - Вікно з кнопками, маршрутизаторами по проекту (Menus)

Дане вікно меню має кнопки для зручного переходу до інших вікон системи, та зупинки системи.

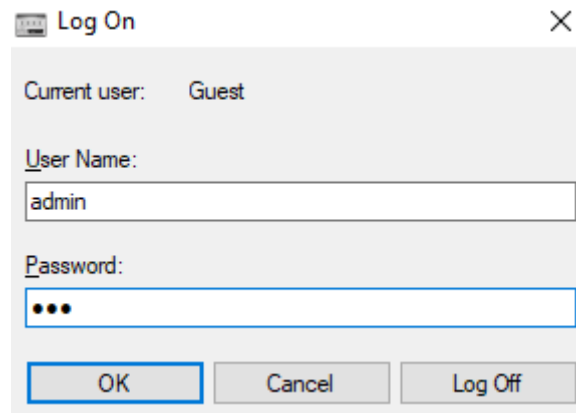


Рисунок 4.4 - Вікно обмеження доступу до SCADA системи

Дане вікно показує, що доступ до системи можливий лише після вводу паролів, чим обмежує доступ до системи для сторонніх осіб.

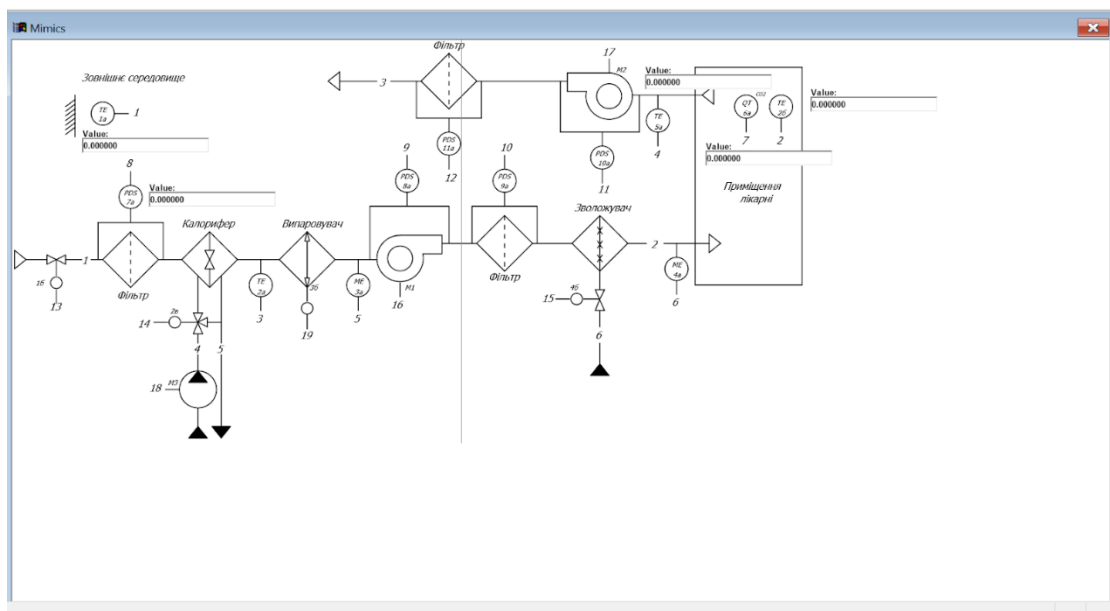


Рисунок 4.5 - Вікно (MyMimics) з відображенням показників датчиків

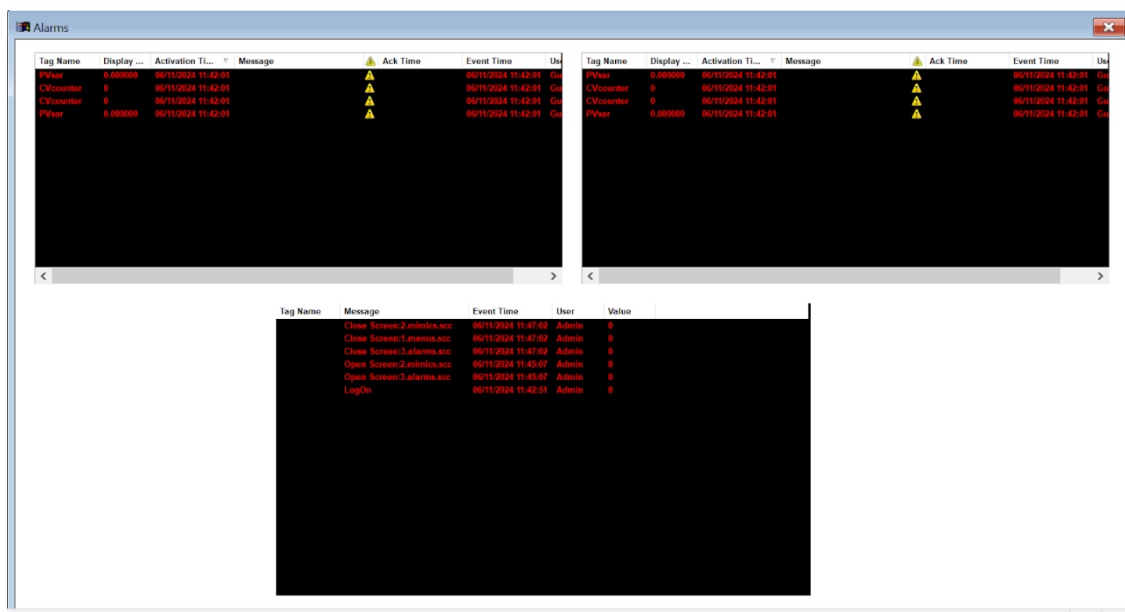


Рисунок 4.6 - Вікно (Alarms) з відображенням помилок та аварійних ситуацій

Вікно Alarms показує події, які відбулися за короткий час, які вікна системи були відкриті та відображає аварійні ситуації системи..

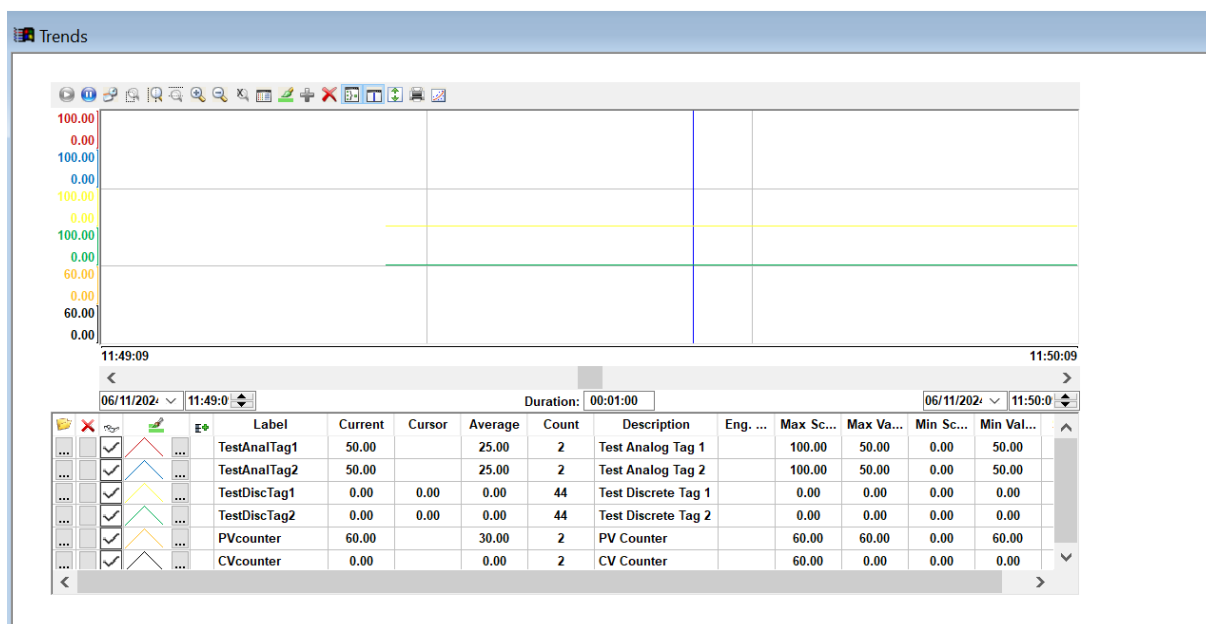


Рисунок 4.7 - Вікно (MyTrends) з відображенням історії даних у графіку

РОЗДІЛ 5 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК

5.1. Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ

Структурна схема полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ ілюструє загальну організацію полігону, де різні компоненти працюють разом для створення імітаційної моделі, що відтворює функціонування системи управління процесами. Конкретні деталі та налаштування цієї схеми можуть варіюватися залежно від вимог і особливостей конкретної системи управління процесами.

У цій структурній схемі полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ використовується Indusoft WebStudio для візуалізації та налаштування моделі. OPC-клієнти взаємодіють з OPC-серверами (такими як CoDeSys OPC-сервер) для обміну даними, а Matlab Simulink застосовується для розробки контролерів та алгоритмів управління. Імітацію системи управління на основі отриманих даних та налаштованих модулів виконує Control Object Simulation.

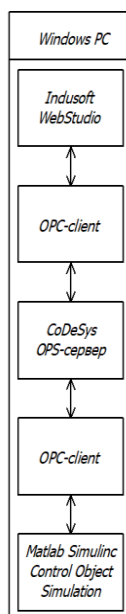


Рисунок 5.1 - Структура SIL-полігону імітаційного моделювання АТК

5.2. Функціональне моделювання ОУ в СКМ Matlab Simulink

Ця схема демонструє використання функціонального моделювання об'єктів управління (ОУ) в Matlab Simulink із застосуванням OPC-клієнта та протоколу OPC для взаємодії та обміну даними з реальними системами управління. Вона дозволяє розробникам проводити симуляції та аналіз роботи об'єктів управління з використанням реальних даних, що сприяє вдосконаленню та оптимізації систем управління.

Схема функціонального моделювання ОУ включає Matlab Simulink, де створюється модель технічного об'єкта управління (ТОУ) з різними блоками та алгоритмами управління. OPC-клієнт взаємодіє з OPC-серверами, які можуть представляти фізичні пристрої або системи управління, і забезпечує обмін даними між моделлю ТОУ та реальними об'єктами управління за допомогою протоколу OPC.

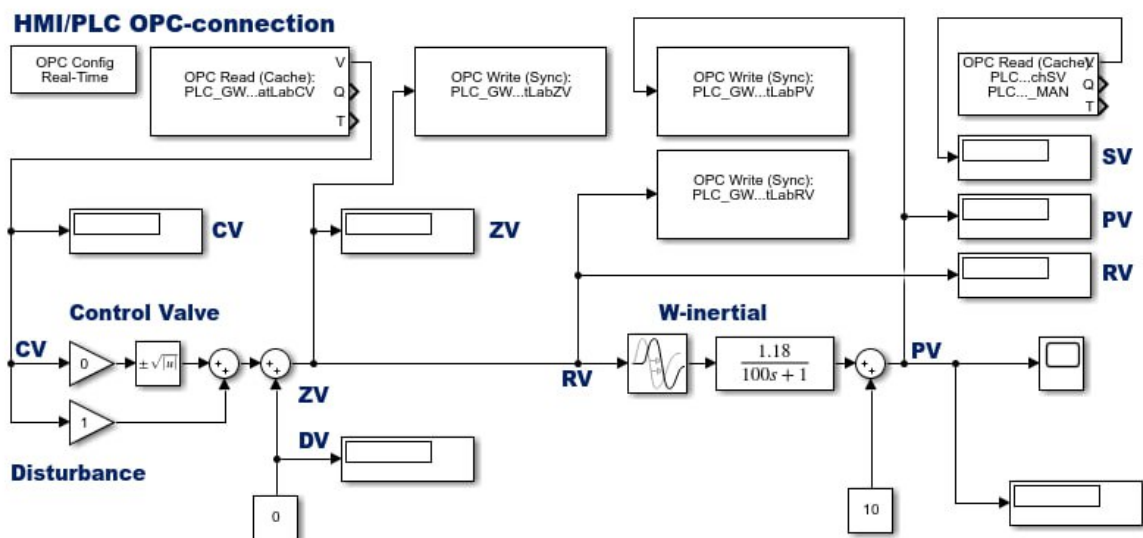


Рисунок 5.2 - Універсальна, функціональна модель ТОУ в СКМ Matlab Simulink

5.3. Реалізація контролерної функціональності САР в софтПЛК CoDeSys

Регулювання температури в системі вентиляції та приміщенні здійснюється шляхом написання програмного забезпечення в середовищі Codesys. На основі каскадної системи автоматичного регулювання (САР) температури повітря в приміщенні було створено функціонал для регулювання технологічної змінної при взаємодії ПІД-регуляторів та виконавчого механізму. Важливо зазначити, що взаємодія між софтПЛК та контуром регулювання в Matlab здійснюється через OPC Server.

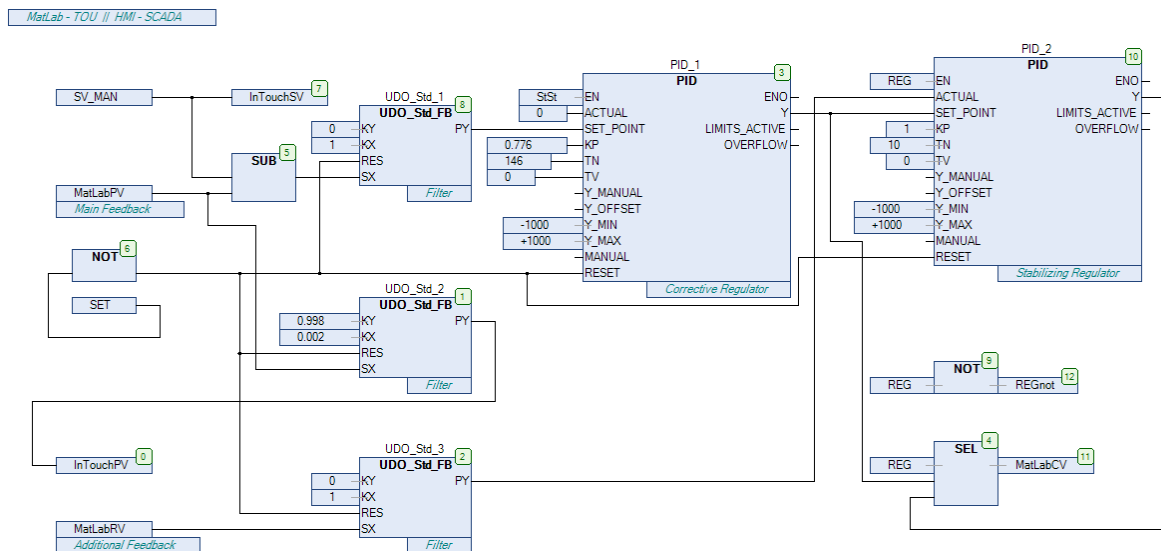


Рисунок 5.3 - Реалізація контролерної функціональності універсальної САР в софт ПЛК CoDeSys

5.4. Реалізація супервізорної HMI-Standard функціональності в HMI/SCADA системі WebStudio

Вікно "Menus": Створення меню з розділами, підменю та пунктами меню для швидкого доступу до різних функцій і сторінок системи.



Рисунок 5.4 - Вікно маршрутизації по проекту (Menus)

Вікно "Mimics" призначене для створення мімікрів (екранів), які відображають різні об'єкти, процеси або системи. Міміки повинні бути

інтуїтивно зрозумілими та зручними для користувача, забезпечуючи чітке і наочне представлення інформації.

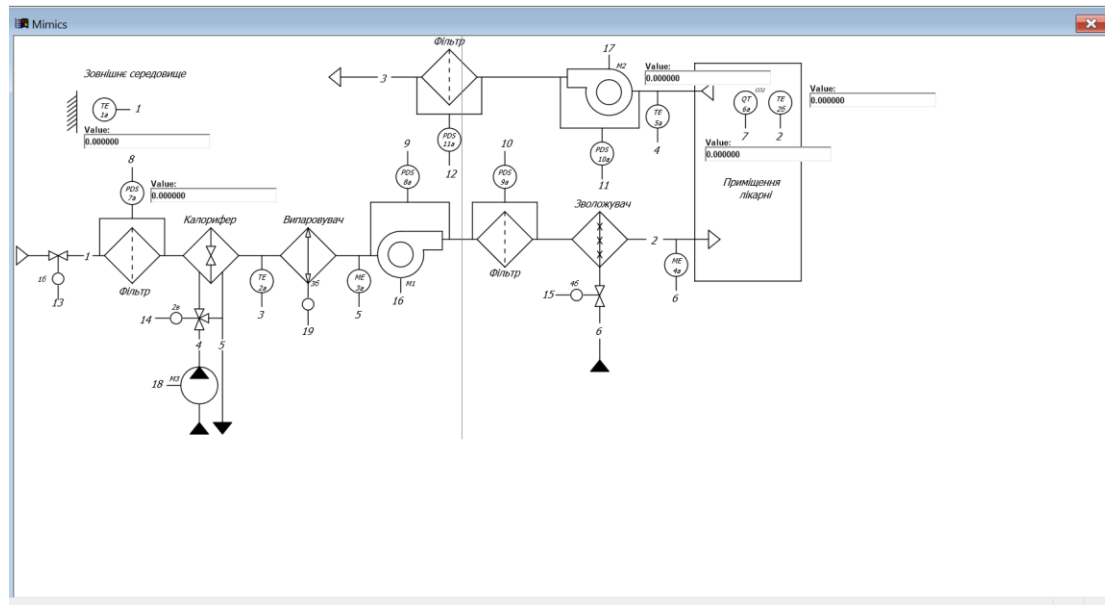


Рисунок 5.5 - Вікно «Mimics» з відображенням поточних показників датчиків

Вікно "Alarms": Налаштування системи сповіщення про аварійні ситуації та відображення їх на цьому екрані. Користувач повинен мати можливість переглядати, сортувати і керувати аварійними подіями.

Tag Name	Display	Activation TL	Message	Ack Time	Event Time	User
Pressure	0.00000	06/11/2024 11:42:01			06/11/2024 11:42:01	Admin
Flow	0	06/11/2024 11:42:01			06/11/2024 11:42:01	Admin
Flow	0	06/11/2024 11:42:01			06/11/2024 11:42:01	Admin
Flow	0.00000	06/11/2024 11:42:01			06/11/2024 11:42:01	Admin

Tag Name	Message	Event Time	User	Value
Close Screen 2 alarms.kcs		06/11/2024 11:41:00	Admin	0
Close Screen 1 alarms.kcs		06/11/2024 11:41:00	Admin	0
Close Screen 3 alarms.kcs		06/11/2024 11:41:00	Admin	0
Open Screen 2 alarms.kcs		06/11/2024 11:41:07	Admin	0
Open Screen 3 alarms.kcs		06/11/2024 11:41:07	Admin	0
Login		06/11/2024 11:42:01	Admin	0

Рисунок 5.6 - Вікно «Alarms» з відображенням аварійних ситуацій

Вікно "Trends": Відображення історичних даних у вигляді графіків або діаграм для аналізу трендів та моніторингу процесів.

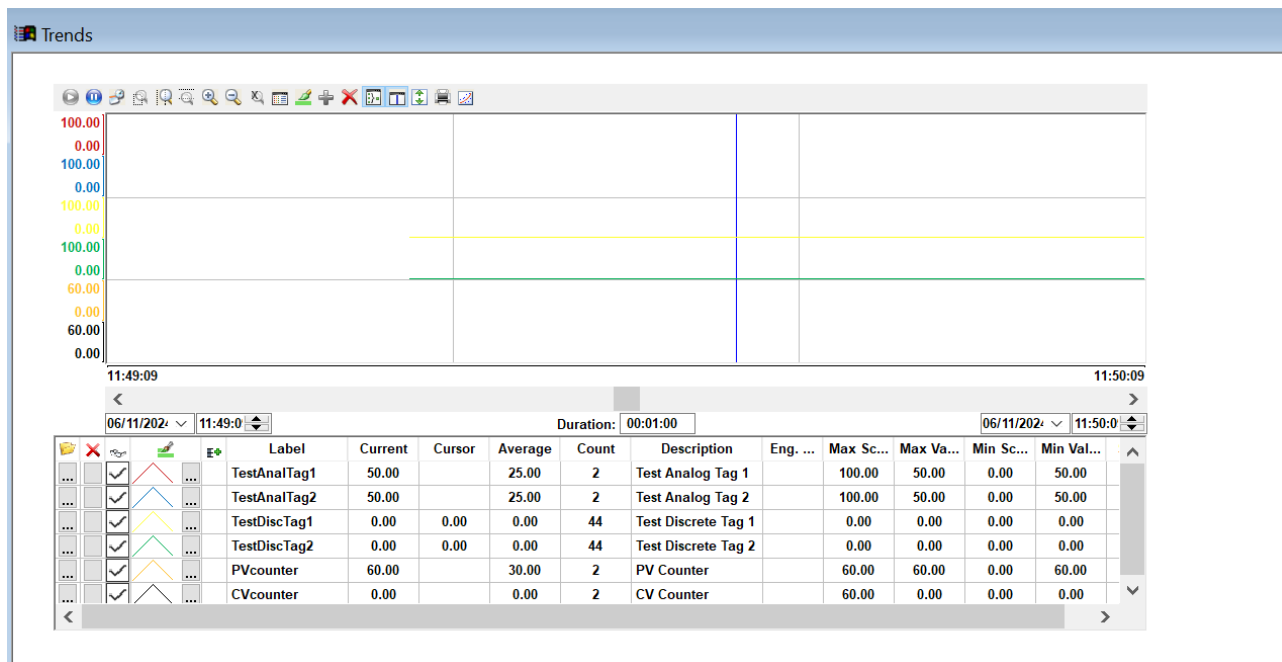


Рисунок 5.7 - Вікно яке показує графік залежності зміни показників від часу «Trends»

Вікно "Models": Використання моделей або схем для відображення процесів або систем. Моделі можуть включати анімацію, інтерактивні елементи та інше.

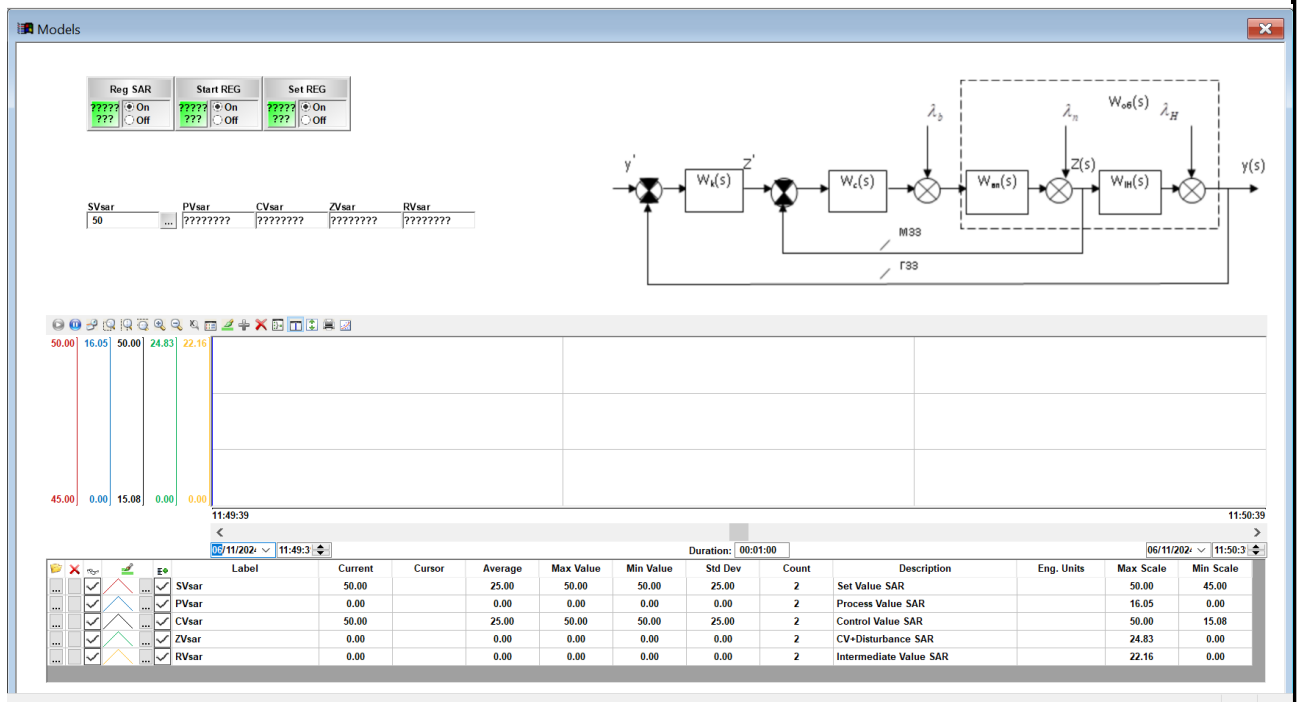


Рисунок 5.8 - Вікно «Models»

5.5. Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі

Вікно "Recipes" (Рецепти) призначене для створення системи управління рецептами, що дозволяє зберігати та керувати рецептами для налаштування процесів. На цьому екрані користувачі можуть створювати, редагувати та виконувати рецепти зі збереженими параметрами.

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

Рисунок 5.9 - Вікно «Recipes»

Клавіша (Update Formula 1) – виконання введеного рецепту.

Клавіша (Save Recipe 1) – збереження введеного рецепту.

Клавіша (Load Recipe 1) – завантаження раніше збереженого рецепту.

Поле (Load Enabled/Disabled) – індикатор дозволу завантаження рецепту.

Поле (Update Enabled/Disabled) – індикатор дозволу виконання рецепту.

Вікно "Reports" (Звіти) призначене для створення системи генерації та відображення звітів на основі даних, зібраних у системі. Користувачі мають можливість налаштовувати параметри звітів, вибирати часові періоди та отримувати готові звіти у зручному форматі.

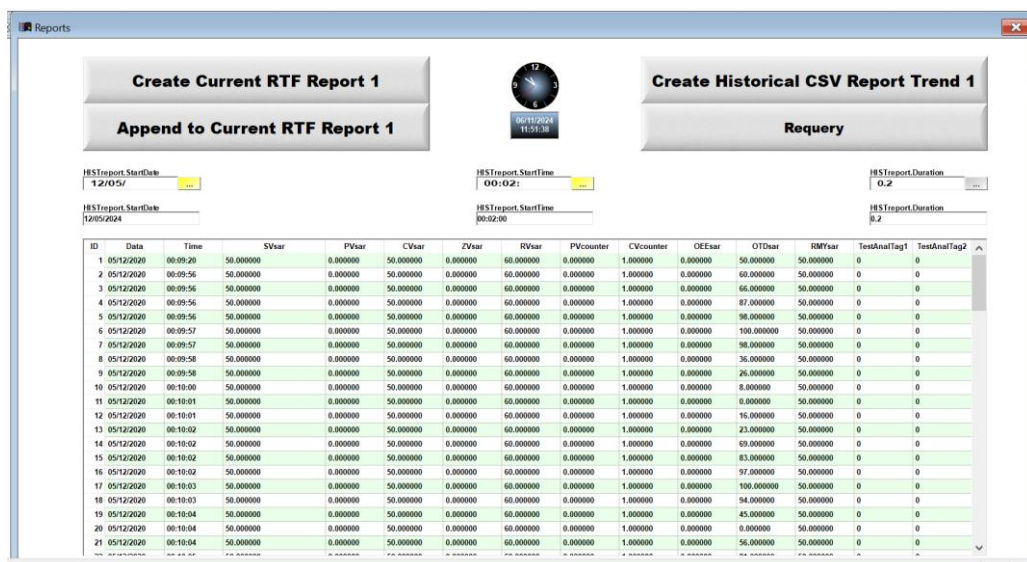


Рисунок 5.10 - Вікно «Reports»

Клавіша (Create Current RTF Report 1) – створення файлу з заголовком поточного звіту.

Клавіша (Append to Current RTF Report 1) – додавання нового запису до поточного звіту.

Клавіша (Create Historical CSV Report Trend 1) – створення excel-файлу – історичного звіту.

Період, за який надаються дані, встановлюються такими елементами:

HISTrepost.StartDate – початкова дата;

HISTrepost.StartTime – початковий час;

HISTrepost.Duration – тривалість.

Вікно "Schedules" (Розклади): Дає можливість налаштувати це вікно для створення та керування розкладами виконання задач або подій. Користувач може планувати роботу, налаштовувати час, частоту або умови для автоматичного виконання різних завдань.

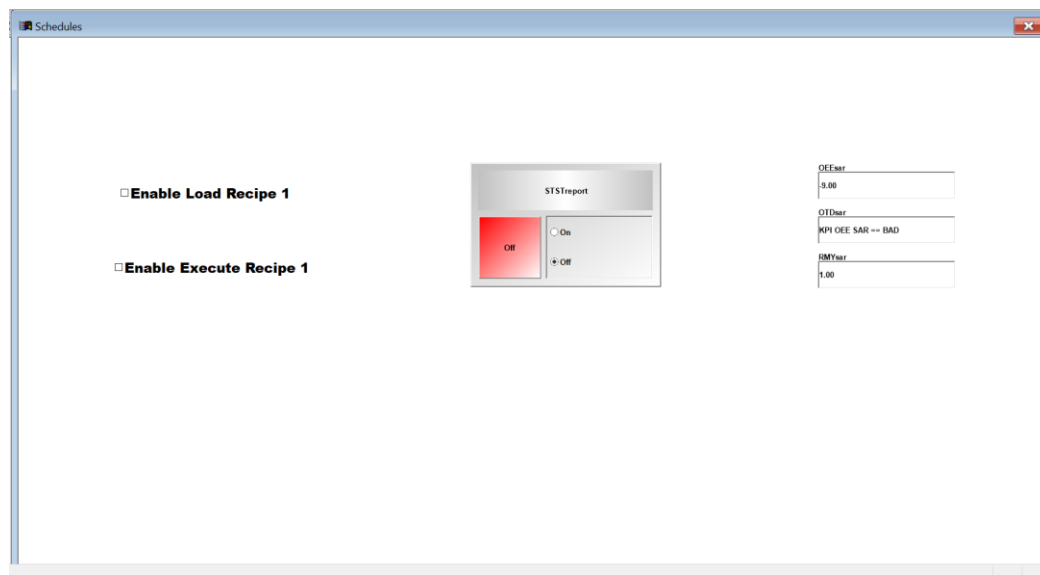


Рисунок 5.11 - Вікно «Schedules»

Клавіша (Enable Load Recipe 1) – увімкнення/вимкнення дозволу завантаження рецепту.

Клавіша (Enable Execute Recipe 1) – увімкнення/вимкнення дозволу виконання рецепту.

Клавіша (STSTreport) – увімкнення/вимкнення автоматичного формування поточного звіту.

Поля: (OEEsar, OTDsar, RMYsar) – показники ефективності роботи системи.

5.6. Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі

Структурне моделювання автоматизованих систем технічного контролю (АТК) в програмно-технічному симуляторі дозволяє проводити аналіз та тестування АТК без потреби у фізичному обладнанні. Ми можемо створювати віртуальні моделі системи, що відображають її функціональність, поведінку та взаємодію компонентів.

Це дає змогу перевіряти правильність роботи програмного забезпечення, логіки управління та інтерфейсу користувача шляхом симуляції різних сценаріїв та умов. Структурне моделювання АТК також дозволяє вдосконалювати та оптимізувати систему. Ми можемо аналізувати різні аспекти АТК та вносити зміни для покращення продуктивності, ефективності та якості роботи системи. За допомогою симулятора можна експериментувати з різними параметрами, налаштуваннями або алгоритмами управління, щоб знайти оптимальні рішення.

Крім того, цей метод дозволяє тренувати персонал. Ми можемо створювати реалістичні сценарії та умови, де персонал може навчатися взаємодії з системою, виконувати завдання та реагувати на віртуальні події. Це допомагає підвищити їхню підготовку та ефективність.

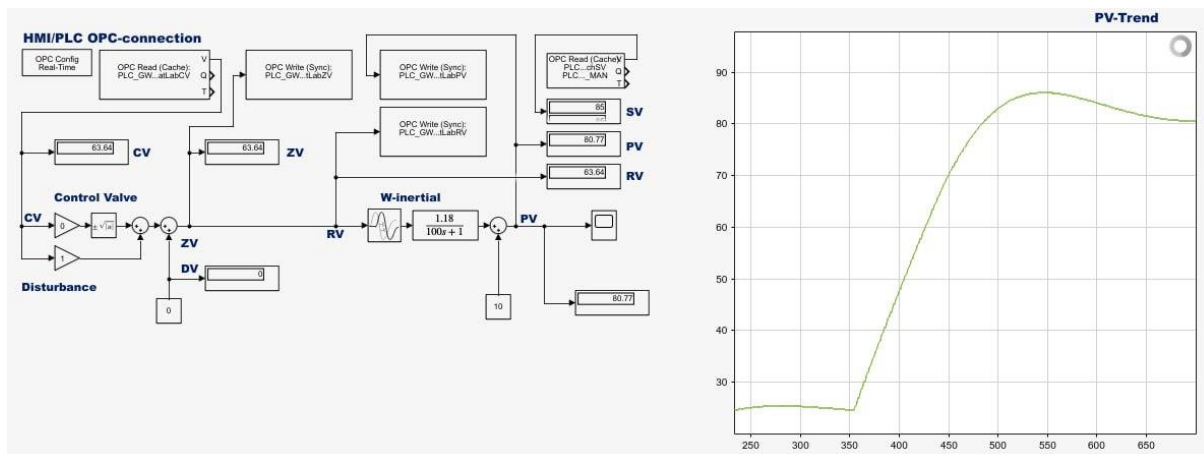


Рисунок 5.12 - Симуляція вікна Simulink для одноконтурної САР

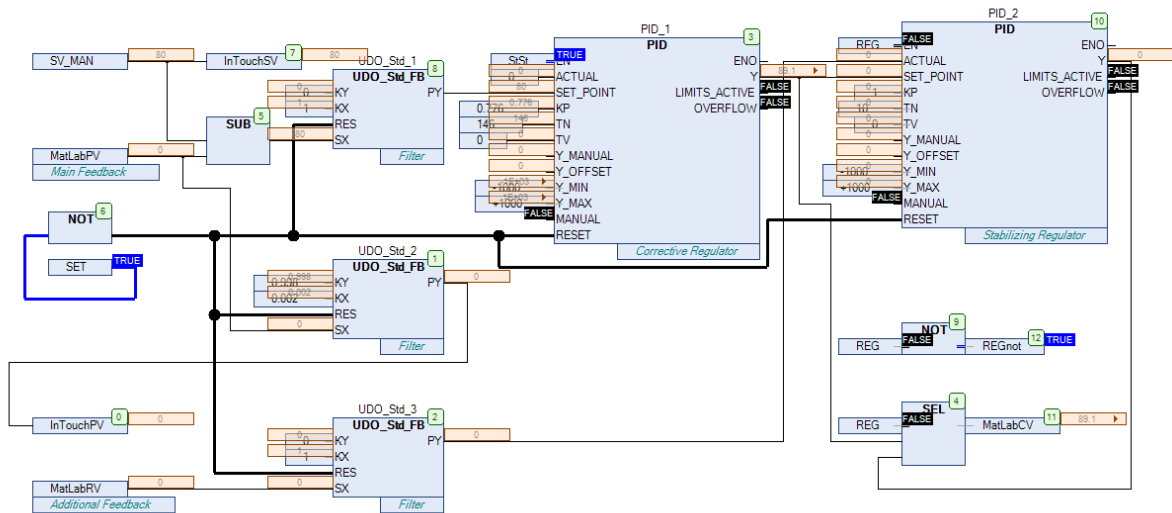


Рисунок 5.13 - Симуляція вікна Codesys для одноконтурної САП

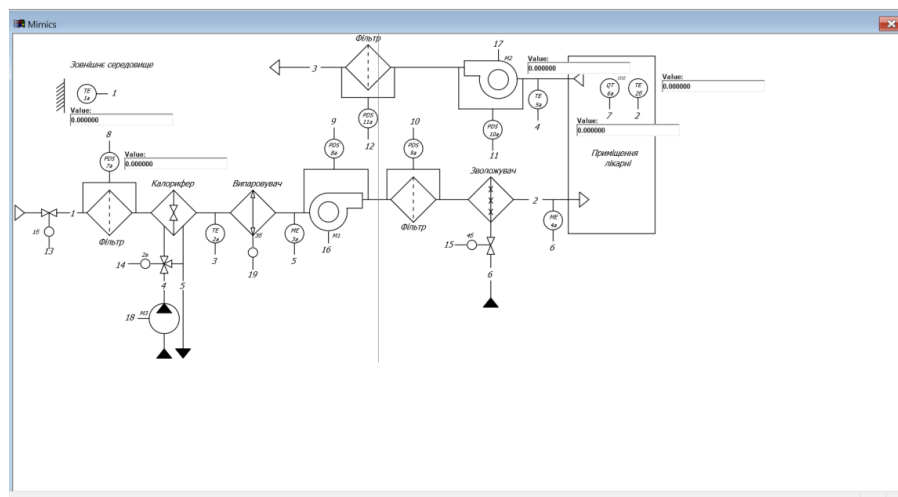


Рисунок 5.14 - Симуляція вікна WebStudio для одноконтурної САП

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці має велике значення в системі автоматизованого керування мікрокліматом лікарні. Враховуючи соціальні аспекти, політичні та економічні наслідки, а також протиріччя, пов'язані зі станом охорони праці, можна виокремити важливі моменти щодо забезпечення необхідного рівня охорони праці.

З економічного погляду, недостатній рівень охорони праці може призводити до значних втрат для суспільства. Забезпечення безпеки та здоров'я на робочих місцях є важливим фактором у забезпеченні ефективного функціонування бізнесу та підтримання стабільного економічного розвитку.

З політичного погляду, незадовільний стан охорони праці може призводити до накопичення негативної напруги в суспільстві. Недостатня увага до безпеки та здоров'я працівників може спричиняти незадоволення серед населення та формувати політичний стан, що підсилює вимоги до політичних органів влади стосовно покращення умов праці. Змн. Арк. № докум.

Отже, охорона праці в автоматизованій системі керування мікрокліматом лікарні має велике значення як соціальний чинник. Вона впливає на політичний стан суспільства, економічну стійкість, а також забезпечує безпеку та захист працівників від негативних наслідків праці. Посилення уваги до охорони праці сприятиме покращенню якості життя працівників та загального розвитку суспільства.

Зазначимо, що темою дипломного проєкту є «Автоматизована система керування мікрокліматом в лікарні». Об'єктом управління є лікарня площею 2000 м.кв. У приміщенні розташовані вузол приєднання системи водяного опалення будівлі до тепломережі, а також система вентиляції та кондиціонування. Воно обладнане необхідним устаткуванням для роботи

теплопункту з точки зору теплотехніки, включаючи давачі, що зазначені у специфікації. Виконавчий механізм у вигляді електроприводу та щит керування також присутні, а в щиті керування знаходяться засоби автоматизації. Умови експлуатації чи виконання роботи в офісному приміщенні включають забезпечення комфортного мікроклімату, контроль температури, вологості та якості повітря. Для розробки рішень з охорони праці важливо враховувати ці особливості та параметри об'єкту з метою забезпечення безпечних та здорових умов праці для працівників, які працюють в офісному приміщенні.

6.1. Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації об'єкта

Для забезпечення безпеки експлуатації засобів автоматизації в офісному приміщенні при виборі та монтажі засобів автоматизації та технологічного устаткування використовуються наступні технічні рішення та організаційні заходи:

- Використання сталевих щитів зі ступенем захисту IP54: Для надійного захисту встановленого обладнання від механічних пошкоджень обрано сталевий щит зі ступенем захисту IP54, товщиною металу 1 мм та кліматичним виконанням У2. Це забезпечує безпеку та надійність обладнання.
- Прокладання кабелів та дротів у гофротрубах чи пластикових коробах: Усі кабелі та дроти прокладаються у гофротрубах чи пластикових коробах. Це забезпечує захист кабелів та дротів від механічних пошкоджень та полегшує обслуговування обладнання.
- Маркування кабелів та дротів: Усі кабелі та дроти мають маркування у щиті для полегшення обслуговування електричних ланцюгів системи. Це сприяє безпечній та зручній експлуатації обладнання.
- Замок з ключем на дверцятах щита керування: Щит керування має замок з ключем на дверцятах. Його наявність забезпечує обмежений доступ до обладнання лише фахівцям, які обслуговують пристрої автоматизації, забезпечуючи безпеку та запобігаючи несанкціонованому доступу.
- Безпечні проходи та розміщення виконавчих механізмів: Виконавчі механізми розміщені в місцях, що виключають випадковий доступ людини і захищені захисною сіткою, що забезпечує безпечну експлуатацію обладнання. Передбачені безпечні та зручні за конструкцією проходи та обладнання для ведення робіт, з урахуванням вимог СН 245-71.

- Спеціальний прохід між стіною та дверима щита: При монтажі щита передбачається спеціальний прохід між стіною та відкритими дверима щита з відстанню не менше 0,8 м, щоб забезпечити зручність та безпечність його експлуатації.
- Маркування приладів та контролерів: Всі прилади, контролери, органи дистанційного керування виконавчими механізмами мають пояснюючі надписи, на яких зазначений регульований або контрольований параметр та виконавчий механізм, яким дистанційно керується. Це сприяє зручності та безпеці при експлуатації системи автоматизації.

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

Згідно зі стандартом ДСТУ ІЕС 61140:2015, основне електрообладнання, що розташоване в робочому приміщенні, відноситься до І класу електрозахисту. Це пояснюється тим, що воно має робочу ізоляцію і підключається до електромережі за допомогою трьохконтактних вилок, один з виводів яких підключений до заземленого виводу розетки. Підключення цього обладнання виконане відповідно до вимог ПУЕ-2017 та НПАОП 40.1- 1.21-98.

Робоче приміщення, є нежарким і сухим. Воно відноситься до класу приміщень, де немає підвищеної небезпеки ураження персоналу електричним струмом, оскільки відносна вологість повітря не перевищує 75%, температура не підвищується понад 35°C, і відсутні хімічно агресивні середовища згідно з ПУЕ-2017. Крім того, відсутня можливість одночасного дотику до металоконструкцій будівлі, які мають контакт з землею з одного боку, і струмопровідних елементів електрообладнання з іншого боку. Живлення електричних пристроїв у робочому приміщенні здійснюється від 5-провідної трифазної мережі з глухозаземленою нейтраллю, що має

напругу 220 В і частоту 50 Гц, за допомогою автоматів максимального струмового захисту. У приміщенні застосована схема захисного заземлення типу TN-S (занулення).

Для зниження значень напруги дотику і відповідних значень струму під час нормального та аварійного режимів роботи електрообладнання необхідно здійснити повторне заземлення захисного РЕ-провідника.

6.2.1. Мікроклімат робочої зони

Робоче місце оператора АСК мікроклімату лікарні розташоване в приміщенні електрощитової. Згідно ДСН 3.3.6.042-99, категорія робіт для оператора відноситься до категорії легкої фізичної праці (ПБ).

Відповідно до вимог цього нормативного документу, для підтримання належних параметрів мікроклімату в робочій зоні оператора необхідно забезпечити наступні параметри:

Таблиця 6.2.1.1 - Параметри мікроклімату відповідно до ДСН 3.3.6.042-99

Період року	Оптимальні			Допустимі		
	t°C	W,%	V, м/с	t°C	W,%	V, м/с
Теплий	22-24	60-40	0.2	21-28	60-30	0.4
Холодний	21-23	60-40	0.2	19-24	60-20	0.3

Для підтримання заданих параметрів мікроклімату необхідно передбачити систему опалення на холодний період року та систему кондиціонування/вентиляції на теплий період згідно вимог ДБН В.2.5 – 67:2013.

Потужність теплових випромінювань на робочих місцях не повинна перевищувати 35 Вт/м² згідно ДСН 3.3.6.042-99.

Дотримання нормативних вимог до параметрів мікроклімату дозволить створити сприятливі умови праці для персоналу та запобігти впливу шкідливих факторів.

6.2.2. Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ згідно з ГОСТ 12.1.005-88.

В умовах, що розглядаються в проекті АСК мікроклімата на газовому паливі, можливими забруднювачами повітря є продукти згоряння природного газу, такі як: оксиди вуглецю (CO, CO₂), оксиди азоту (NO_x), оксиди сірки (SO_x). Їх ГДК відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 дорівнюють:

					ТА-01408.0010.001 АТХ.П	Лист
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- CO - 20 мг/м³
- CO₂ - 9000 мг/м³
- NO_x - 5 мг/м³ (в перерахунку на NO₂)
- SO_x - 10 мг/м³ (в перерахунку на SO₂)

Для забезпечення складу повітря робочої зони відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 проектом передбачені наступні рішення:

- Встановлення системи димовидалення котельні з розрахунковою продуктивністю для відведення продуктів згоряння.
- Передбачено природну вентиляцію приміщення котельні для забезпечення належного повітрообміну.
- Періодичний контроль складу повітря робочої зони на відповідність ГДК.
- Використання сучасного енергоефективного котла з автоматикою контролю процесу згоряння для мінімізації викидів забруднюючих речовин.
- Проведення регулярного сервісного обслуговування та налаштування котла згідно інструкції виробника.

6.2.3. Виробниче освітлення

Природне освітлення

Відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2018, при нормуванні природного освітлення використовується коефіцієнт природного освітлення (КПО/е):

$$\text{КПО} = e = E_{\text{вн}} / E_{\text{зовн}} \times 100\%$$

$E_{\text{вн}}$ – внутрішня природна освітленість у приміщенні, яка вимірюється в місці, що розглядається, лк;

$E_{\text{зовн}}$ – зовнішня природна освітленість дифузним світлом всього небосхилу, що вимірюється одночасно з $E_{\text{вн}}$, лк.

Для розглянутого приміщення характерна зорова робота, яка відповідає розряду III, підрозряд г (висока точність), застосована суміщена система освітлення (природне + штучне). Згідно з таблицями 1 та 2 ДБН В.2.5-28-2018, нормоване значення КПО (e_n) становить 1,8%. Для м. Київ коефіцієнт світлового клімату (m) дорівнює 0,9 (табл. 4 ДБН В.2.5-28-2018). Тоді нормативне значення КПО для даного приміщення:

$$e_{np} = e_n \times m = 1,8\% \times 0,9 = 1,62\%$$

Для забезпечення нормативного значення КПО передбачено:

- Встановлення вікон загальною площею 12 м² (із співвідношенням площі вікон до площі підлоги 1:6).
- Застосування світлих тонів для оздоблення стін і стелі.
- Облаштування системи сонцезахисних жалюзі для регулювання надмірної інсоляції.

Штучне освітлення

Нормується абсолютна величина освітленості E_n в люксах (ДБН В.2.5-28-2018).

Для зорової роботи IIIг при системі комбінованого освітлення та застосуванні світлодіодних джерел світла нормативне значення освітленості $E_n=500$ лк на робочих місцях (ДБН В.2.5-28-2018).

Для забезпечення наведеного значення E_n передбачено:

- Встановлення світлодіодних світильників загального освітлення потужністю 40 Вт з світловим потоком 4000 Лм кожен.
- Кількість світильників - 25 шт для забезпечення середньої освітленості 550 лк.
- Застосування окремих світильників місцевого освітлення на робочих місцях із зоровою роботою підвищеної точності.

- Використання системи керування освітленням з регулюванням рівня освітленості.
- Періодичне технічне обслуговування системи освітлення (заміна ламп, чистка світильників).

6.2.4. Виробничий шум

Для умов обслуговування АСК мікроклімату лікарні рівні звукового тиску L та рівні звуку L_A не повинні перевищувати допустимих значень – ці показники наведені у таблиці 3 відповідно до ДСН 3.3.6.037-99.

Таблиця 6.2.4.1 - Допустимі значення рівнів звукового тиску і рівнів звуку

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах частот із середньгеометричними значеннями (Гц)									Допустимий рівень звуку (ДБА)
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Приміщення з котлом	101	97	92	84	81	76	74	71	69	79
Приміщення керування	78	74	70	65	61	57	54	50	48	60
Приміщення з генератором	100	96	91	84	81	76	74	70	68	78

Джерелами шуму в умовах експлуатації АСК є циркуляційні насоси, вентилятори.

Очікувані рівні звукового тиску і рівень звуку відповідно до шумових характеристик цих джерел дорівнюють: в щитовій - 75 дБА.

Для забезпечення допустимих параметрів виробничого шуму в робочих приміщеннях проектом передбачено:

- Розміщення котла та насосів в окремому приміщенні котельні.
- Застосування звукоізолюючих конструкцій огорожень котельні.
- Використання засобів індивідуального захисту (протишумові навушники) при роботах в котельні.
- Обмеження часу перебування обслуговуючого персоналу в шумних зонах.

6.2.5. Виробничі вібрації

Відповідно до вимог ДСН 3.3.6.039-99 нормуються допустимі величини віброшвидкості (м/с) чи віброприскорення (м/с²), або логарифмічні рівні віброшвидкості $L = 20\lg(V_i/V_0)$, дБ (V_i – середньоквадратичне значення віброшвидкості за певний період часу, м/с; $V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$, м/с – вихідне значення віброшвидкості) залежно від частоти коливань, їх виду (транспортні, транспортно-технологічні та технологічні вібрації робочого інструменту, устаткування чи робочих місць), напрямку (X, Y, Z) і часу дії протягом робочої зміни.

Джерелами вібрації в умовах, що розглядаються в проекті АСК котла-водонагрівача приватного будинку, є циркуляційні насоси системи опалення та гарячого водопостачання.

Можливі параметри вібрацій, виходячи з вібраційних характеристик (ВХ) насосного обладнання, знаходяться в межах:

					ТА-01408.0010.001 АТХ.П	Лист
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- На частоті 16 Гц - віброшвидкість 2,1 мм/с
- На частоті 63 Гц - віброшвидкість 1,8 мм/с
- На частоті 500 Гц - віброприскорення 0,35 м/с²

Для умов технологічних вібрацій обладнання, що розглядається в проекті, час дії протягом зміни 8 годин, частота в діапазоні 16-500 Гц, напрям дії - X, Y, Z, параметри вібрацій не повинні перевищувати по віброшвидкості 2,8 м/с, віброприскоренню 0,35 м/с², рівню віброшвидкості 115 дБ.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- Встановлення насосів на віброізолюючих опорах
- Застосування гнучких віброкомпенсаторів на трубопроводах
- Огородження джерел вібрацій звукоізолюючими кожухами
- Обмеження часу знаходження обслуговуючого персоналу поблизу працюючого обладнання

6.3. Пожежна безпека та профілактика

Під час експлуатації системи опалення приватного будинку можуть виникнути потенційні джерела пожежної небезпеки, пов'язані з наявністю системи газопостачання, горючих матеріалів, високих температур і електричного обладнання. З цієї причини необхідно передбачити відповідні заходи для запобігання пожежі та забезпечення протипожежного захисту.

Приміщення операторської згідно з ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 має категорію В за вибухопожежною небезпекою, а робочі зони згідно НПАОП 40.1-1.32-01 відносяться до класу П-II (вони розташована за межами приміщення, де застосовується газоподібне паливо). Електрощитова приміщення автоматики може бути віднесена до категорії Д (негорючі матеріали), а робочі зони до класу П-I (горючі речовини з $T_{\text{сп}} > 61^{\circ}\text{C}$).

Електрообладнання керування та захисту в котловому приміщенні повинно бути закритого типу, в пилонепроникному виконанні із надійною ізоляцією, рівень вибухо- і пожежобезпеки 2 згідно НПАОП 40.1-1.32-01. Світильники - у закритому виконанні.

За проектом застосовані негорючі або важкогорючі ізоляційні матеріали для прокладання електрокабелів та монтажу шаф автоматики. Забезпечений вільний доступ до електрообладнання.

Згідно вимог ДБН В.2.5-56-2014 передбачено установку автоматичної пожежної сигналізації та засобів пожежогасіння.

Небезпечні зони (рухомі частини, гарячі поверхні) огорожені. Забезпечений вільний доступ до захисних та блокуючих пристроїв.

Персонал повинен використовувати ЗІЗ та пройти належне навчання.

6.3.1. Технічні рішення системи запобігання пожежі

Метою технічних рішень системи запобігання пожежі є створення умов, за яких з прийнятною ймовірністю пожежа не може виникнути. Вихідними положеннями є те, що пожежа можлива лише за одночасної наявності горючої речовини, окислювача та джерела запалювання. Відповідно, технічні рішення цієї системи мають бути спрямовані на запобігання утворенню небезпечних факторів пожежі або обмеження їх визначальних параметрів до безпечних рівнів.

Для системи АСК котла-водонагрівача приватного будинку з резервним живленням основними горючими речовинами є паливо для котла газ та ізоляційні матеріали електрообладнання. Джерелами запалювання можуть бути відкритий вогонь, електричні іскри або перегрів електрообладнання.

Відповідно до цього, технічні рішення системи запобігання пожежі включають:

- Застосування системи подачі палива до топки котла, яка унеможливило потрапляння палива до приміщення в разі порушення нормальної роботи.
- Використання негорючих або важкогорючих ізоляційних матеріалів для електрообладнання автоматики.
- Застосування вибухозахищеного електрообладнання, яке запобігає поширенню іскор та займання ізоляції.
- Використання броньованих кабелів з негорючою оболонкою для електропроводки.
- Забезпечення надійного заземлення для запобігання виникненню електричних іскор.
- Монтаж електрощитів керування у окремому приміщенні з огорожувальними конструкціями, які відповідають вимогам щодо меж поширення пожежі.
- Встановлення автоматичних систем відключення систем газопостачання та електроживлення у разі виникнення аварійних ситуацій.

					ТА-01408.0010.001 АТХ.П	Лист
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.3.2. Технічні рішення системи протипожежного захисту

Для системи протипожежного захисту АСК мікроклімату лікарні з необхідно передбачити наступні технічні рішення:

- Визначення межі вогнестійкості будівельних конструкцій. Приміщення котельні слід виконати з негорючих будівельних матеріалів, таких як цегляна кладка або залізобетонні конструкції. Межа вогнестійкості будівельних конструкцій має бути не менше REI 45, що означає здатність протистояти вогню протягом 45 хвилин без втрати цілісності, теплоізоляції та несучої здатності. Двері в котельню повинні бути протипожежними.
- Для забезпечення належних протипожежних розривів відповідно до ДБН В.1.1-7, відстань від котельні до інших будівель та споруд має бути не меншою за 10 метрів.
- Конструктивні рішення системи опалення та вентиляції. Система опалення, кондиціонування та вентиляції приміщення котельні повинна бути окремою від інших приміщень і виконаною з негорючих матеріалів. Необхідно також передбачити систему димовидалення з котельні на випадок виникнення пожежі.
- У разі виникнення пожежі повинно відбуватися автоматичне відключення електроживлення котельні. Прокладання кабелів живлення має здійснюватися в негорючих коробах або трубах для запобігання поширенню вогню.
- Для внутрішнього оздоблення приміщення котельні необхідно використовувати негорючі матеріали, такі як цегляна кладка, штукатурка, кераміка тощо.
- Система пожежної сигналізації. Котельня повинна бути обладнана системою автоматичної пожежної сигналізації з газовими та димовими датчиками для своєчасного виявлення витoku газу та

пожежі на ранніх стадіях. Ця система має подавати звукові та світлові сигнали тривоги.

- Система пожежогасіння. Необхідно передбачити встановлення первинних засобів пожежогасіння, наприклад вогнегасників, вибір типу яких залежить від типу палива для котла та об'єму приміщення котельні.
- Для запобігання поширенню диму системи вентиляції котельні повинні бути обладнані протипожежними клапанами. Також необхідно передбачити систему димовидалення з приміщення котельні.
- Котельня має бути обладнана мінімум двома евакуаційними виходами. Шляхи евакуації необхідно позначити відповідними знаками безпеки.

РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Техніко-економічний розрахунок (ТЕР) є методологією, що використовується для оцінки ефективності технічних проектів та прийняття інвестиційних і економічних рішень. Ця методологія охоплює широкий спектр аспектів, включаючи технічні показники, вартість виробництва, очікувані доходи, чистий прибуток, показники повернення інвестицій, амортизацію обладнання, ризики та інші економічні показники.

Технічні показники включають оцінку характеристик проекту, таких як продуктивність, надійність, довговічність та енергоефективність, а також визначення відповідності проекту сучасним стандартам та технологіям. Вартість виробництва аналізує загальні витрати на виробництво, включаючи матеріали, робочу силу, енергію та обслуговування обладнання, та розрахунок собівартості одиниці продукції. Очікувані доходи та чистий прибуток прогнозують доходи від реалізації проекту з урахуванням ринкових умов і цін на продукцію чи послуги та розраховують чистий прибуток з урахуванням всіх витрат та податків. Показники повернення інвестицій визначають строки окупності інвестицій, внутрішню норму рентабельності (IRR) та чисту теперішню вартість (NPV).

Амортизація обладнання розраховує строки та способи амортизації основних засобів та оцінює вплив амортизаційних відрахувань на фінансові результати проекту. Ризики та невизначеності ідентифікують потенційні ризики, пов'язані з реалізацією проекту, та розробляють стратегії управління ризиками та плани їхньої мінімізації.

Для оцінки затрат на створення системи необхідно врахувати наступні параметри: капітальну вартість, що включає загальну вартість усіх інвестицій у проект, витрати на обладнання, проектування, пакування та транспортування, монтажні роботи, виконання пуско-налагоджувальних

робіт, додаткові витрати на обслуговування, а також термін окупності та економічну ефективність. Капітальна вартість охоплює витрати на обладнання, будівництво та закупівлю матеріалів. Вартість обладнання включає витрати на придбання, транспортування та встановлення. Вартість проектування охоплює розробку проектної документації, інженерні роботи та технічні дослідження. Витрати на пакування та транспортування включають вартість пакування готової продукції та її транспортування до місця призначення. Витрати на монтаж включають витрати на монтажні роботи, встановлення обладнання та налаштування систем. Витрати на виконання пуско-налагоджувальних робіт включають тестові запуски системи, налаштування та оптимізацію роботи. Додаткові витрати на обслуговування включають технічне обслуговування, ремонти, оновлення обладнання та підтримку працездатності системи. Термін окупності визначає період часу, протягом якого очікується повернення вкладених інвестицій за рахунок отриманих доходів, а економічна ефективність оцінює загальну економічну вигоду від реалізації проекту, враховуючи всі витрати та очікувані доходи.

Перелік витрат на систему зображено в таблиці 7.1:

Таблиця 7.1 – Кошторис

№	Назва обладнання	К-сть, шт	Вартість одиниці, грн	Загальна вартість, грн
1	Датчик температури ST-01	1	800	800
2	Датчик температури ST-02	1	960	960
3	Датчик вологості SHD100	2	17465,57	34931,14
4	Датчик температури LF20	2	1227	2454
5	Перетворювач вмісту CO2 АГ-06е	1	13000	13000
6	Реле перепаду тиску ДТВ 500	5	2711	13555
7	Світловий індикатор червоний ХВ4ВVB4ЕХ	3	305	915
8	ПЛК Modicon M172	1	24289,54	24289,54
9	Блок живлення ABLM1A24025	1	2750	2750
10	Вимикач автоматичний EZ9 3P, 16A, X-КА "В"	1	490	490
11	Автоматичний вимикач АСТІ9 IC60N 1P 6A	4	264	1056
12	Вимикач автоматичний	1	600	600
13	Електромагнітне реле TeSys island SIL 9 A	3	450	1350
14	Перетворювач частоти ATV12	1	9650	9650
15	Канальний вентилятор ВКП 2Е	2	19430	38860

16	Циркуляційний насос LRS 25-4S-180	1	1520	1520
17	Випаровувач, нагрівач каналний НК 100-0,6-1	1	7240	7240
18	Електропривід EV24A-SZ- TPC	1	30800	30800
19	Провід живлення ПВ2 4	8	18,5	148
20	Провід ПВ3 1.5	10	7,32	73,2
21	Маркування для проводів САВ 3	240	1,375	330
22	Силовий кабель ВВГ нГ 3х2,5	10	42	420
23	Силовий кабель	30	27	810
24	Кабель керування МКЕШ 4х1.5	15	68	1020
25	Кабель керування МКЕШ 2х1.5	60	41	2460
26	Гофротруба E.G.TUBE.PRO. 20мм	120	61	7320
			Загальна вартість, грн	197801,88

Враховуючи особливості об'єкта автоматизації задатися допустимим
терміном окупності:

Ток = 3,5 роки

Загальна вартість всіх засобів складає:

$B_0 = 197\,801,88$ грн

					ТА-01408.0010.001 АТХ.П	Лист
						115
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальна вартість всіх засобів складає:

$$B_M = B_0 * 20\% = 39\,560,37 \text{ грн}$$

Вартість на проектування, розробку алгоритмів управління та програмування системи верхнього рівня:

$$B_{\text{пр}} = B_0 * 5\% = 9\,890 \text{ грн}$$

Витрати на пакування та транспортування:

$$B_T = B_0 * 3\% = 5\,934,05 \text{ грн}$$

Витрати на виконання пусконаладжувальних робіт:

$$B_{\text{пн}} = B_0 * 10\% = 19\,780 \text{ грн}$$

Сума всіх витрат складає загальну вартість витрат:

$$B_z = B_0 + B_M + B_{\text{пр}} + B_T + B_{\text{пн}} = 272\,966,3 \text{ грн}$$

Вартість зарплатні для персоналу, грн/рік:

$$B_{\text{зп}} = B_{\text{п}} * T * N = 15\,000 * 12 * 1 = 180\,000 \text{ грн/рік}$$

де $B_{\text{п}}$ - заробітна плата за місяць, грн/міс;

T - кількість робочих місяців;

N - кількість працівників;

Вартість на амортизацію буде становити 20% від загальної вартості автоматизації:

$$B_{\text{ам}} = B_z * 20\% = 54\,593 \text{ грн/рік}$$

Вартість на ремонт буде становити 50% від загальної вартості

					ТА-01408.0010.001 АТХ.П	Лист
						116
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматизації:

$$B_p = B_z * 50\% = 136\,483 \text{ грн/рік}$$

Вартість електроенергії:

$$B_{el} = T * N * C_e = 8200 * 7,5 * 4,32 = 265\,680 \text{ грн/рік}$$

Розрахуємо загальну вартість додаткових витрат на обслуговування системи:

$$\Delta B_{авт} = B_{зп} + B_{ам} + B_p + B_{el} = 500\,892 \text{ грн}$$

Далі необхідно визначити економію витрат після впровадження АСК за наступною формулою:

Формула економії витрат після впровадження АСК:

$$\Delta U = E_k - \Delta B_{авт} = 670\,000 - 500\,892 = 169\,108 \text{ грн/рік}$$

Розрахуємо час окупності АСК випалювальної печі:

$$T_{ок} = B_z / \Delta U = 272\,966 / 169\,108 = 1.6 \text{ років}$$

Оскільки отриманий термін окупності є меншим за встановлений, впровадження АСК мікрокліматом лікарні є обґрунтованим і економічно доцільним.

					ТА-01408.0010.001 АТХ.П	Лист
						117
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В рамках виконання дипломного проєкту було розроблено та досліджено автоматизовану систему керування мікрокліматом в офісному приміщенні.

На початку було здійснено проектування АСУТП, в ході якого визначено характеристику технологічного об'єкта управління, його аналіз та огляд. Це дало змогу визначити наявні контури в системі вентиляції та кондиціонування, системи керування вологістю та системи водяного опалення. Було визначено технологічні параметри та на їх основі функції автоматизованої системи управління. Розроблено схему автоматизації функціональну, яка містить технічне обладнання всієї системи, органи регулювання та зв'язки між засобами автоматизації.

Наступним етапом було проведення інженерного розрахунку САР. В ході цього були створені структурні схеми вимірювальних каналів системи вентиляції і кондиціонування та системи водяного опалення. Схеми включають підключення та передачу уніфікованого сигналу датчиків температури, термоперетворювачів опору реле перепаду тиску з програмованим логічним контролером. Також було проведено розрахунок надійності вимірювальних каналів для інформаційної, керуючої та захисної функції. В результаті чого можна зробити висновок, що вимірювальні канали відповідають точності, оскільки їх абсолютні похибки (ΔBK) менші за допустимі значення. Це підтверджує придатність цих каналів для використання, а прилади, які використовуються у цих каналах, відповідають вимогам точності та придатні для вимірювання відповідних технологічних параметрів. Крім того, розрахунки надійності вимірювальних каналів показують, що значення відповідають вимогам надійності системи для цих каналів. Це означає, що вимірювальні канали здатні працювати без відмови

протягом встановленого періоду часу, забезпечуючи надійний та безперебійний збір даних.

Для програмування програмно-технічного комплексу було використано таке програмне середовище як CODESYS, за допомогою якого реалізовано логіку та алгоритм роботи ПЛК для регулювання САР температури в приміщенні. Для візуалізації та розробки SCADA-системи технологічного об'єкту та його роботи використано Indusoft Web Studio. Імітація роботи системи виконується із використанням Matlab Simulink.

Проведено техніко-економічний розрахунок ефективності системи управління в результаті якого досліджено, що система є економічною та доцільною, так як допустимий термін окупності є більший ніж розрахований.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Види систем вентиляцій.

URL: <https://dbuy.ua/stati/vidy-sistem-ventilyatsii/>

2. Приточна вентиляція, механічна вентиляція та природна вентиляція.

URL: <https://karno.ua/ua/ventilyaciya/vidy-sistem-ventilyacii/>

3. Система вентиляювання та кондиціонування повітря для палати лікарні. Бунь В.П., Баган Т.Г.

URL:

https://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2023/3_2023/part_1/13.pdf

4. ПЛК Modicon TM172PDG42RI Schneider Electric.

URL:

<https://www.se.com/ua/uk/product/TM172PDG42RI/%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%80-%D0%BC172-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2-%D0%B7-%D0%B4%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D1%94%D0%BC-42-i-o-eth-2rs485-%D0%B7-%D1%96%D0%B7%D0%BE%D0%BB%D1%8F%D1%86%D1%96%D1%94%D1%8E/>

5. Блок живлення Modicon ABLM1A24025 Schneider Electric.

URL:

<https://www.se.com/ua/uk/product/ABLM1A24025/%D0%B1%D0%BB%D0%BE%D0%BA-%D0%B6%D0%B8%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%B9-24%D0%B2-25a/>

6. Перетворювач частоти Altivar ATV12HU15M2 Schneider Electric.

URL:

<https://www.se.com/ua/uk/product/ATV12HU15M2/%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87-%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B8-atv12-15%D0%BA%D0%B2%D1%82-220%D0%B2-1%D1%84-%D0%B6%D0%B8%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D0%B7-%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%96%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BC/>

7. Датчик температури повітря навколишнього середовища ST-01 RAUT automatic.

URL: <http://www.raut-automatic.kiev.ua/sensors-ru/temperature-ru/air-ru/st-01-ru.html>

8. Датчик температури повітря в приміщенні ST-02 RAUT automatic.

URL: <http://www.raut-automatic.kiev.ua/sensors-ru/temperature-ru/air-ru/st-02-ru.html>

9. Датчик вологості SHD100 Schneider Electric.

URL: https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=003-00109&p_enDocType=Other+technical+guide&p_File_Name=SHD100+SHD101+Spec+Sheet_F-28208-3.pdf

10. Датчик температури LF20 Honeywell.

URL:

<https://files.kempstoncontrols.com/files/307d4f4c2d00b3d29a513c5ab554d7dc/LF20-3B54%20300MM.pdf>

11. Реле перепаду тиску DTV-500 Vents.

URL:

<https://vents-shop.com.ua/images/companies/1/Pasport/electrica/dtv-500-pasport.pdf>

					ТА-01408.0010.001 АТХ.П	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		121

12.Перетворювач вмісту CO2 у повітрі АГ-06е ТЕРА.

URL: <https://ao-tera.com/ua/ag-06e>

13.Електропривід Belimo EV24A-SZ-TPC.

URL: <https://belimo.com.ua/shop/zaporno-reguliruyushhaya-armatura-s-elektroprivodami/privody-dlya-zapornoj-armatury/privodi-sedelnyh-klapanov/belimo-ev24a-sz-tpc/>

14.Адах В. Г., Голінко І.М. Адаптивна система керування припливно-втяжною системою вентиляції з рециркуляцією: магістерська дисертація УДК 681.5.015.8 / Адах Вадим Григорович. – Київ, 2019. – 53 с.