

**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 кібер-енергетичних систем»**

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

на тему: «Автоматизована система керування вентиляції в лікарні»

Виконав :

студент IV курсу, групи ТА-12

Науменко Артем Володимирович _____

Керівник:

доцент, к.т.н.

Бунь Валерій Павлович _____

Консультант з розділу “Охорона праці”

Кандидат технічних наук, доцент

Каштанов Сергій Федорович _____

Рецензент:

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

Студент _____

Київ – 2025 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики
Кафедра автоматизації енергетичних процесів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Володимир ВОЛОЩУК

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Науменку Артему Володимировичу

1. Тема проєкту: «Автоматизована система керування вентиляції в лікарні», керівник проєкту Бунь Валерій Павлович, доцент, к.т.н., затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом проєкту: «__» _____ 20__ р.
3. Вихідні дані до проєкту: Матеріали з практики.
4. Зміст пояснювальної записки: 1. Проктування АСУТП. 2. Інженерний розрахунок САР. 3. Опис графічної частини проєкту. 4. Програмування ПТКЗА. 5. Імітаційне моделювання АТК. 6. Охорона праці. 7. Технікоєкономічний розрахунок. Висновки. Список використаних джерел.
5. Перелік графічного матеріалу 1. Функціональна схема автоматизації 2. Принципова електрична схема. 3. Креслення загального виду щита автоматизації. 4. Монтажна схема щита автоматизації 5. Схема з'єднань та підключень зовнішніх проводок . 6. Специфікація обладнання

6. Консультанти розділів проєкту*

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

7. Дата видачі завдання 15 квітня 2025 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Постановка задачі автоматизації ТООУ. Обґрунтування та аналіз.	19.05.2025	
2.	Схема автоматизації функціональна.	20.05.2025	
3.	Схема електрична принципова.	21.05.2025	
4.	Схема креслення щита.	22.05.2025	
5.	Схема підключень кабелів, клемника, приладів.	23.05.2025	
6.	Схема зовнішніх підключень та з'єднань.	24.05.2025	
7.	Специфікація.	25.05.2025	
8.	Проектування АСУТП. Схема структурна ПТК. Перелік вимірювальних та виконавчих каналів.	26.05.2025	
9.	Метрологічні розрахунки. Розрахунок надійності вимірювальних каналів. Розрахунок надійності упавляючої функції САР.	30.05.2025	
10.	Опис графічної частини проєкту.	01.06.2025	
11.	Програмування ПТКЗА.	02.06.2025	
12.	Охорона праці.	05.06.2025	
13.	Техніко-економічний розрахунок.	09.06.2025	
14.	Передзахист ДП.	14.06.2025	
15.	Захист ДП.	17.06.2025	

Студент

Артем НАУМЕНКО

Керівник

Валерій БУНЬ

АНОТАЦІЯ

У дипломному проєкті розглянуто розробку автоматизованої системи керування вентиляцією лікарняної палати. Метою роботи є створення ефективної системи підтримки мікроклімату з урахуванням вимог до комфорту пацієнтів та енергоефективності. Запропонована система забезпечує автоматичне регулювання температури, вологості та чистоти повітря шляхом використання каскадної та одноконтурної САР, а також гліколевого рекуператора для зменшення тепловтрат.

У складі автоматизованої системи використано температурні та тискові датчики, термостат захисту від замерзання, виконавчі механізми заслінок, циркуляційні насоси та триходові клапани. Керування реалізовано за допомогою програмованого логічного контролера Schneider Electric серії M172, а програмне забезпечення розроблено у середовищі EcoStruxure Machine Expert із використанням мови FBD.

Розроблено принципову та функціональну та інші схеми, реалізовано алгоритм керування режимами нагріву, охолодження, вентиляції та рекуперації. Проведено моделювання роботи системи та симуляцію алгоритму керування. Крім того, виконано техніко-економічне обґрунтування проєкту, розраховано термін окупності системи, який підтвердив доцільність впровадження розробленого рішення.

Отримані результати доводять ефективність запропонованої системи як з технічної, так і з економічної точки зору, що дозволяє рекомендувати її до використання у лікувальних закладах.

ANNOTATION

This bachelor's thesis presents the development of an automated ventilation control system for a hospital ward. The main objective of the project is to create an efficient system for maintaining indoor climate parameters, considering patient comfort requirements and energy efficiency. The proposed system ensures automatic regulation of air temperature, humidity, and cleanliness by employing both cascade and single-loop automatic control systems (ACS), as well as a glycol heat recovery unit to reduce thermal losses.

The system includes temperature and pressure sensors, a frost protection thermostat, damper actuators, circulation pumps, and three-way valves. Control is implemented using a Schneider Electric programmable logic controller (PLC) of the M172 series, with the control software developed in EcoStruxure Machine Expert using the FBD programming language.

The project includes the development of the control system's functional and schematic diagrams, as well as algorithms for heating, cooling, ventilation, and heat recovery operation. Simulation and testing of the control algorithm were carried out. Additionally, a technical and economic assessment of the system was performed, including a payback period calculation, which confirmed the viability of the proposed solution.

The results demonstrate the technical and economic effectiveness of the proposed system, making it a suitable solution for use in healthcare facilities.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом

АСК – автоматизована система керування

ВК – вимірювальний канал

ВМ – виконавчий механізм

ОУ – об'єкт управління

ПЗ – пояснювальна записка

ПІ – пропорційно-інтегральний

ПЛК – програмований логічний контролер

ПТКЗА – програмно-технічний комплекс засобів автоматизації

РАФХ – розширена амплітудо-фазова характеристика

РО – регулюючий орган

САР – система автоматичного регулювання

ТОУ – технологічний об'єкт управління

ФБ – функціональний блок

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизована система керування
вентиляції в лікарні»**

Київ – 2025 року

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	4
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП.....	12
1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління	12
1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТООУ	14
1.3 Технологічні параметри АСУТП ТООУ	18
1.4 Функції АСУТП	19
1.5 Схема автоматизації функціональна.....	21
1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу	24
1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТООУ .	25
РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР	27
2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР	27
2.1.1 Перелік вимірювальних каналів (ВК)	27
2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів	27
2.1.3 Особливості електричних підключень давачів вимірювальних каналів	27
2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів	28
2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод	30
2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів	32
2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів	35
2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів	36

					ТА-12417.013.001.АТХ.П			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	АСК вентиляції в лікарні	Лит.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Науменко А.В.						
Перев.		Бунь В.П.					8	90
Н. Контр.		Бунь В.П.				«КПІ ім. Ігоря Сікорського», НН ІАТЕ, ТА-12		
Затв.		Волощук В.А.						

2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК.....	39
2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР	40
2.2 Інженерний розрахунок регулювально-виконавчих каналів САР	40
2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання.....	40
2.2.2 Ідентифікація об'єкта управління.....	42
2.2.3 Розрахунок регуляторів САР	42
2.2.4 Висновки щодо роботоздатності РВК САР	57
РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЕКТУ	58
3.1 Схема функціональна автоматизації ТОУ	58
3.2 Схема структурна ПТК	58
3.3 Схема електрична принципова АСР	58
3.4 Схема зовнішніх з'єднань	59
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА	61
4.1 Програмування ПЛК	61
4.2 Імітаційне програмування системи.....	73
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ	76
Вступна частина.....	76
5.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації технологічного устаткування та засобів автоматизації	76
5.1.1 Електробезпека	77
5.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії.....	79
5.2.1 Мікроклімат робочої зони	80
5.2.2 Склад повітря робочої зони.....	80
5.2.3 Виробниче освітлення.....	80
5.2.4 Виробничий шум	80

5.2.5 Виробничі вібрації.....	81
5.2.6 Електромагнітна сумісність та ЕМВ	81
5.3 Пожежна безпека та профілактика	82
5.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі	82
5.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту.....	82
РОЗДІЛ 6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК	83
ВИСНОВКИ.....	87
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	89

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			10
Зм.	Арк.			Дата		

ВСТУП

У сучасних умовах медична галузь вимагає не лише ефективного лікування, а й забезпечення належного мікроклімату в приміщеннях. Особливо це стосується палат стаціонару, де перебувають пацієнти із зниженим імунітетом або у післяопераційному стані. Саме тому впровадження автоматизованих систем керування вентиляцією набуває стратегічного значення.

У моєму дипломному проєкті розглядається проєктування автоматизованої системи вентиляції у лікарняній палаті. Система має забезпечити підтримання допустимих параметрів температури, вологості та чистоти повітря відповідно до гігієнічних норм, зменшуючи ризик поширення інфекцій та покращуючи самопочуття пацієнтів.

Застосування автоматизованого керування дозволяє:

- підтримувати стабільні параметри мікроклімату;
- знизити енергоспоживання за рахунок оптимізації режимів роботи обладнання;
- підвищити надійність системи вентиляції;
- забезпечити дистанційний моніторинг і діагностику несправностей.

Актуальність теми обумовлена також необхідністю адаптації лікарняних систем до сучасних стандартів енергоефективності та цифровізації. В умовах воєнного часу та дефіциту ресурсів автоматизація є запорукою стабільної та безпечної роботи медичних закладів. Об'єктом дослідження є система вентиляції окремої палати, а предметом — алгоритми її автоматизованого керування та вибір технічних засобів, що відповідають вимогам санітарних норм і умов експлуатації у медичній сфері.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			11
Зм.	Арк.			Дата		

РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП

1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління

У межах мого дипломного проєкту розглядається автоматизована система припливно-витяжної вентиляції, призначена для обслуговування палати в лікарняному стаціонарі. Основна функція цієї системи полягає в забезпеченні стабільного мікроклімату, що відповідає санітарно-гігієнічним вимогам для приміщень лікувального призначення. Система дозволяє підтримувати нормативні значення температури, вологості, чистоти повітря та рівня його обміну, що напряду впливає на стан здоров'я пацієнтів і комфорт перебування медичного персоналу.

Конструктивно система вентиляції включає припливний та витяжний вентилятори, що відповідають за постійний повітрообмін, водяний нагрівач для підігріву припливного повітря у холодний період року, водяний охолоджувач для охолодження повітря влітку, фільтри для очищення повітря та датчики, що забезпечують контроль температури, вологості та витрати повітря в режимі реального часу. Розподіл повітря у приміщенні виконується через систему повітропроводів з регульованими решітками, а витяжка — через шумозахисні вентиляційні клапани. Теплообмінні апарати підключені до системи циркуляції теплоносія з регулюванням за допомогою триходових клапанів і насосного обладнання.

Автоматизоване управління усіма процесами здійснюється мікропроцесорним контролером, який взаємодіє з сенсорами та виконавчими механізмами. Це забезпечує підтримку стабільних параметрів повітря незалежно від зовнішніх змін, а також дозволяє проводити моніторинг, аварійне оповіщення і дистанційне керування системою з робочого місця оператора або через SCADA-інтерфейс.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			12
Зм.	Арк.		Дата			

З метою енергоефективності в системі використано гліколевий рекуператор — замкнений теплообмінний контур, який передає тепло від витяжного до припливного повітря за допомогою водно-гліколевої суміші. Такий підхід дозволяє утилізувати частину теплоти відпрацьованого повітря без змішування потоків, що є критично важливим у медичних приміщеннях, де необхідна повна герметичність вентиляційних систем[1].

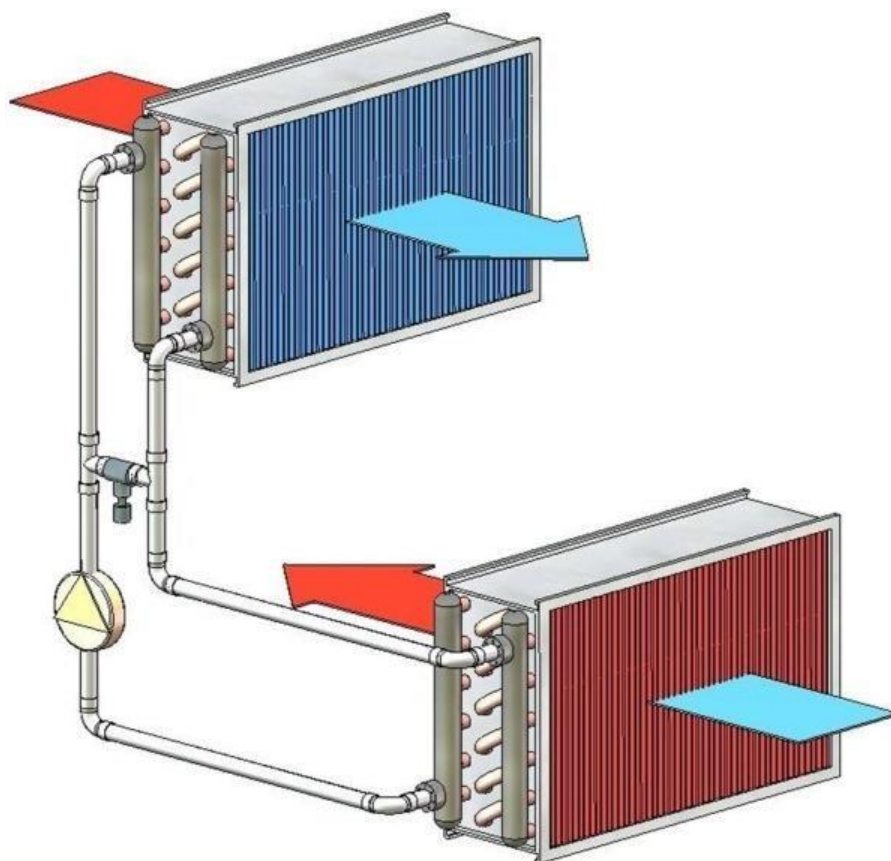


Рисунок 1.1 – Схема роботи гліколевого рекуператора

1.2 Вибір і обґрунтування структури АСУТП ТОУ

У практиці впровадження систем автоматизованого регулювання вентиляційного обладнання найчастіше використовуються два основні типи керуючих структур — це одноконтурна та каскадна архітектура[2].

Одноконтурне керування передбачає наявність лише одного регулятора, що впливає на один виконавчий елемент, орієнтуючись на показники від одного датчика. У даному випадку мова йде про регулювання температури повітря за допомогою контролера, що реагує на відхилення фактичного значення температури від заданого.

Основними перевагами такого підходу є:

- невисока складність налаштування та інтеграції у систему;
- мінімізація кількості пристроїв, що спрощує обслуговування;
- економічна доцільність впровадження в умовах обмеженого бюджету;
- достатній рівень точності для зон із порівняно стабільними умовами експлуатації.

Застосування одноконтурного принципу регулювання виправдане у приміщеннях, де немає суттєвих коливань теплових навантажень або змін вологості. У моєму проєкті йдеться саме про таку палату, де тепловий режим залежить здебільшого від температури зовнішнього повітря та невеликих внутрішніх джерел тепла.

Принцип дії реалізованої системи полягає в тому, що встановлений у припливному каналі датчик температури знімає поточні значення, які надходять до контролера. На основі порівняння фактичної температури з уставкою відбувається керування водяним нагрівачем або охолоджувачем. Регулювання здійснюється через зміну положення електроприводного триходового клапана, який впливає на кількість теплоносія, що проходить

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			14
Зм.	Арк.		Дата			

через теплообмінник. Таким чином, підтримується стабільний температурний режим незалежно від змін у зовнішньому середовищі. На рисунку 1.2 представлено схему роботи одноконтурної системи автоматичного регулювання припливного повітря, реалізовану в рамках цього проєкту.

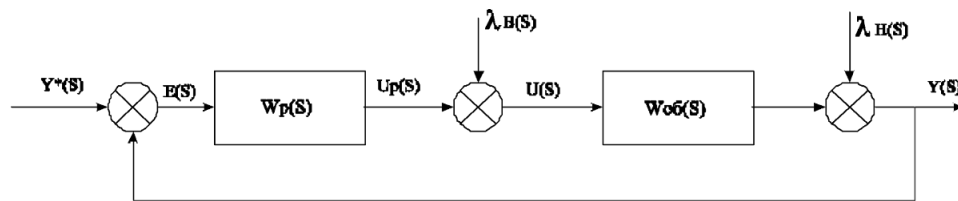


Рисунок 1.2 – Одноконтурне керування системи вентиляції

Каскадні системи автоматичного регулювання належать до складніших варіантів реалізації керування параметрами повітря, оскільки передбачають використання двох або більше взаємозв'язаних контурів управління. Такий підхід забезпечує більш високу точність та стабільність підтримання мікроклімату в медичних приміщеннях, де висувуються суворі вимоги до якості повітря.

Подібні системи знаходять застосування у вентиляційних установках операційних блоків, палат інтенсивної терапії, боксованих приміщень інфекційних відділень та інших зон з критичними умовами. У таких випадках один контур зазвичай відповідає за стабілізацію температури повітря або теплоносія, а другий — за підтримання кінцевого значення температури у приміщенні. Це дозволяє зменшити вплив інерційності системи і досягати більш чіткого регулювання.

У каскадній схемі один регулятор (внутрішній контур) керує проміжною величиною — наприклад, температурою на виході з нагрівача, а зовнішній регулятор — основним параметром у приміщенні. Така структура дозволяє оперативніше реагувати на зміну зовнішніх впливів і підтримувати стабільні умови навіть за складної динаміки теплових процесів. На рисунку 1.3

представлена принципова структура каскадного регулювання в системі вентиляції.

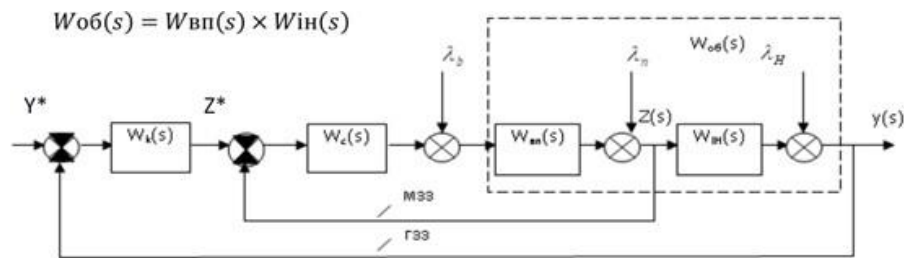


Рисунок 1.3 – Каскадне регулювання системи вентиляції

У процесі проєктування автоматизованої системи вентиляції для лікарняних приміщень було прийнято рішення використовувати комбінований підхід із застосуванням як одноконтурної, так і каскадної систем автоматичного регулювання (САР). Такий підхід обумовлений різними вимогами до точності, швидкодії та стабільності регулювання в залежності від типу приміщення та технологічних завдань.

Одноконтурна САР застосовується для регулювання параметрів у зонах із відносно стабільним тепловим режимом, таких як палати, коридори або адміністративні приміщення. Основні переваги її використання:

- Технічна доцільність: у таких приміщеннях достатньо контролю одного параметра (наприклад, температури припливного повітря), що дозволяє забезпечити необхідний рівень мікроклімату без ускладнення системи.
- Надійність та обслуговування: система має простішу архітектуру, що знижує ймовірність відмов, спрощує технічне обслуговування та зменшує потребу в кваліфікованому персоналі.
- Економічна ефективність: менше обладнання та зниження витрат на впровадження, монтаж і обслуговування.

Каскадна САР реалізована у приміщеннях із підвищеними вимогами до точності підтримання параметрів, наприклад, у вентиляційних камерах, де встановлено гліколевий рекуператор, водяний нагрівач та охолоджувач. Така система включає два регулятори: зовнішній (провідний) формує опорне значення, а внутрішній (виконавчий) — регулює фізичний процес. Переваги каскадної структури:

- Покращена динаміка: підвищена точність у зонах з інерційними або змінними тепловими навантаженнями.
- Компенсація збурень: система швидко реагує на зміну температури зовнішнього повітря або навантаження на теплообмінник.
- Стабільність та якість регулювання: завдяки додатковому контуру керування вдається уникати перерегулювань і перевищення допустимих значень параметрів.

У дипломному проєкті реалізовано саме обидві САР:

- Каскадна САР — для припливного повітря, з урахуванням регулювання температури в зоні теплообміну;
- Одноконтурна САР — для інших температурних зон, наприклад, температури зовнішнього повітря, витяжного повітря тощо.

Таким чином, комбінування каскадної та одноконтурної систем дозволяє досягти високої точності, гнучкості, економічності та надійності роботи вентиляційної установки відповідно до сучасних вимог до мікроклімату у лікувальних закладах[2].

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			17
Зм.	Арк.			Дата		

1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОУ

Таблиця 1.1 – Технологічні параметри АСУ

Назва параметру	Діапазон вимірювання	Допустиме відхилення
Температура припливного повітря	+18..+28 °С	+1 °С
Температура витяжного повітря	+18..+28 °С	+1 °С
Температура зворотнього теплоносія	20..80 °С	+2 °С
Температура повітря навколишнього середовища	-35..50 °С	+1 °С
Перепад тиску на вентиляторах	350 Па	+2 Па
Перепад тиску на фільтрах	250 Па	+2 Па

Система вентиляції лікарні працює в умовах постійного контролю мікроклімату, де критичними параметрами є температура та вологість повітря, особливо в операційних, палатах інтенсивної терапії та стерильних зонах. Температурний режим у приміщенні підтримується на рівні 24 °С, а повітря, що надходить, повинне мати температуру близько 30 °С після проходження через калорифер. Вологість при цьому регулюється в межах 40–70 %, залежно від призначення приміщення. Надлишок вологості або її нестача може впливати на стан пацієнтів та ефективність лікування, особливо при захворюваннях дихальних шляхів. Для забезпечення нормативної якості повітря в приміщеннях, АСК вентиляції здійснює безперервний контроль не лише температури та вологості, але й вмісту вуглекислого газу та інших домішок. У разі відхилення від заданих параметрів система в автоматичному режимі активує потрібні виконавчі механізми (вентилятори, клапани, зволожувачі, осушувачі тощо).

1. Режимні параметри: Це вимірювані та регульовані показники, що відображають поточний стан системи. До них належать:
 - Температура повітря в приміщенні.
 - Температура зворотного теплоносія.
2. Параметри захисту: Це показники, що забезпечують безпеку роботи системи та запобігають її пошкодженню. До них належать:
 - Різниця тиску на датчику тиску у вхідному вентиляційному каналі (можливе забруднення або поломка).
 - Різниця тиску на датчику тиску у вихідному вентиляційному каналі (можливе забруднення або поломка).
 - Термостат для запобігання загрози заморожування теплообмінника
3. Параметри контролю: Це показники, що використовуються для оцінки ефективності та стану системи. До них належать:
 - Температура повітря в вентиляційному каналі.
 - Температура витяжного повітря

1.4 Функції АСУТП

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

Функції автоматизованої системи керування вентиляцією у лікарні полягають у підтриманні нормативних мікрокліматичних умов у лікувальних приміщеннях шляхом точного автоматичного регулювання основних параметрів повітря — температури, вологості, тиску та якості повітря. Для цього система реалізує комплекс керувальних, захисних та інформаційних функцій, що дозволяють забезпечити стабільну роботу вентиляційного обладнання, швидке реагування на аварійні ситуації, а також оперативний контроль стану повітряного середовища.

Реалізація цих функцій здійснюється на основі даних, отриманих від датчиків температури, вологості, CO₂, перепаду тиску на фільтрах, а також з урахуванням зворотного зв'язку від виконавчих механізмів. Це дозволяє

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			19
Зм.	Арк.			Дата		

забезпечити безперервний автоматичний контроль мікроклімату відповідно до санітарних норм, енергоефективність системи та безпеку пацієнтів і медичного персоналу.

Керувальні функції:

- Стабілізація температури припливного повітря здійснюється шляхом автоматичного регулювання витрати гліколю.
- Керування вентиляторами
- Стабілізація температури припливного повітря шляхом зміни витрати гліколю в рекуператорі.
- Стабілізація температури припливного повітря шляхом зміни витрати холодної/гарячої води в охолоджувачі/калорифері.

Захисні функції:

- У разі надмірного перепаду тиску на вентиляторі спрацьовує аварійне оповіщення.
- При перевищенні перепаду тиску в теплообміннику рекуперації понад 350 Па активується аварійний сигнал.
- Якщо різниця тиску на фільтрі перевищує 250 Па, система сигналізує про необхідність його заміни або очищення.
- Коли температура теплоносія в калорифері знижується нижче 7 °С, відбувається спрацювання сигналізації, що попереджає про ризик його обмерзання.

Інформаційні функції:

- Вимірювання температури припливного повітря до та після калорифера.
- Вимірювання температури у приміщенні.
- Температура гліколю в рекуператорі
- Вимірювання перепаду тиску вентилятора/фільтра/рекуператора.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			20
Зм.	Арк.		Дата			

1.5 Схема автоматизації функціональна

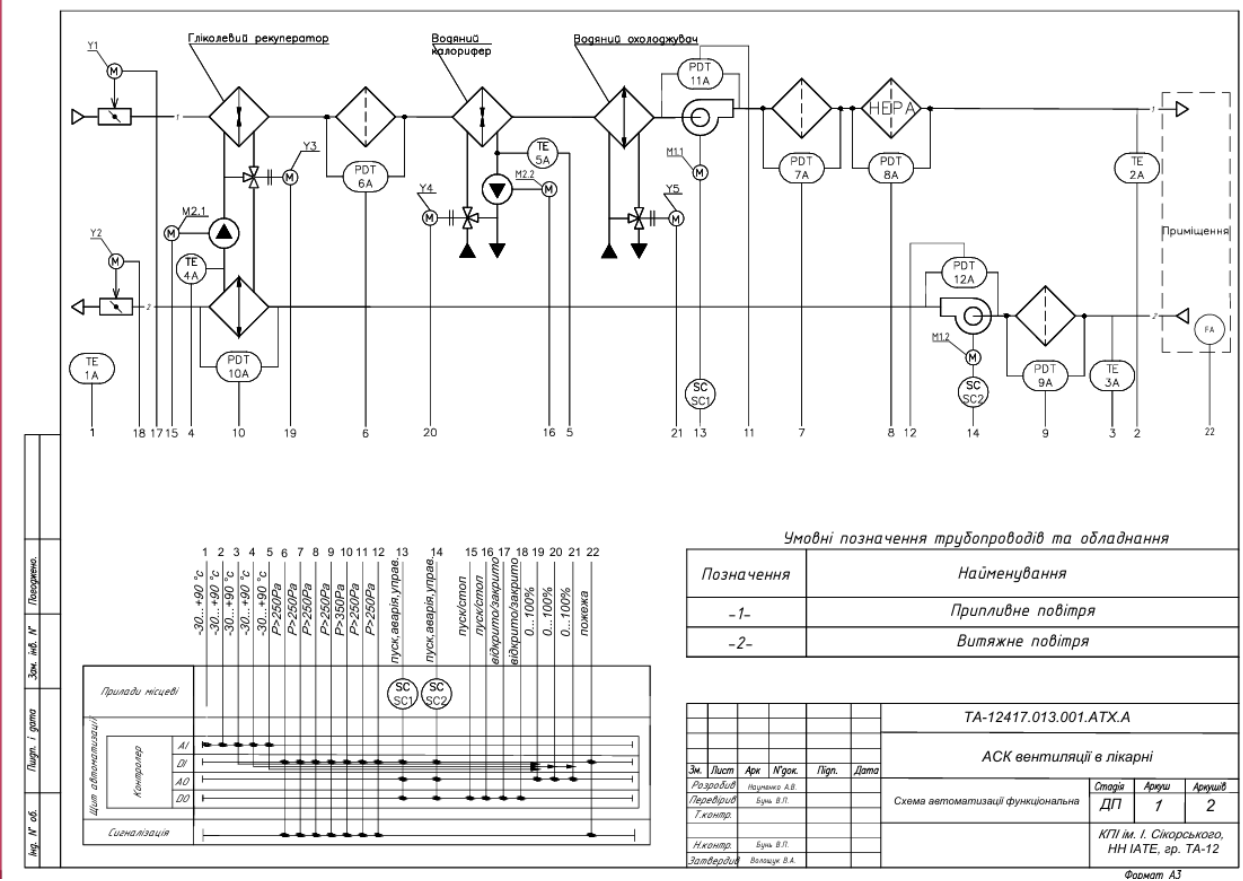


Рисунок 1.4 – Функціональна схема автоматизації вентиляції в лікарні

Автоматизована система вентиляції, зображена на схемі, призначена для підтримання оптимальних параметрів мікроклімату у палаті лікарні. Вона реалізує подачу, очищення, нагрів, охолодження, рекуперацію та відведення повітря, використовуючи інтелектуальне керування на базі ПЛК з підключенням до SCADA-системи. Основні етапи її роботи:

Забір і первинний контроль повітря

Свіже зовнішнє повітря надходить у систему через клапани **Y1** і **Y2**, обладнані електроприводами **Y1** і **Y2**. Початкова температура зовнішнього повітря контролюється датчиком **TE1A**. Система може зачинити клапани при аварійних або несприятливих умовах.

Рекуперація тепла

Після входу в систему повітря проходить через гліколевий рекуператор, який дозволяє передати частину теплоти від витяжного повітря до припливного. Таким чином, зменшуються витрати енергії на нагрів. Рекуперація реалізується через циркуляцію гліколю, яку забезпечує насос **M2.1**. Контроль температури рекупераційної рідини виконує давач **TE4A**, а **PDT10A** контролює перепад тиску — при перевищенні заданого рівня активується аварійна сигналізація.

Підігрів повітря

При недостатньому нагріві після рекуператора повітря додатково підігрівається у водяному калорифері. Температура теплоносія регулюється двоходовим клапаном, який управляється приводом **Y4**. Насос **M2.2** забезпечує циркуляцію гарячої води. Датчик **TE5A** вимірює температуру після калорифера для забезпечення зворотного зв'язку в контурі регулювання температури.

Охолодження повітря

За потреби зниження температури припливного повітря воно проходить через водяний охолоджувач, що охолоджується холодоносієм, поданим насосом **M11**. Клапан регулює подачу охолоджуючої води, а **PDT11A** контролює перепад тиску. Охолодження актуальне влітку або в разі перегріву повітря.

Фільтрація і подача повітря в приміщення

Після обробки повітря проходить через вискоєфективні фільтри, зокрема **НЕРА-фільтр**, який затримує бактерії та мікрочастинки. Чистоту фільтрів контролюють диференціальні давачі тиску **PDT7A** та **PDT8A**, а при перевищенні допустимого перепаду тиску активується сигналізація про забруднення.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			22
Зм.	Арк.			Дата		

Вентиляція подає очищене повітря у приміщення, де температура також вимірюється датчиком **TE2A**, що дозволяє системі реагувати на зміну температури у палаті.

Витяжка та рекуперація з відпрацьованим повітрям

Повітря, що відводиться з палати, проходить через зворотний канал рекуператора, де віддає тепло припливному повітрю. Далі, через фільтраційний модуль, повітря виводиться за межі приміщення вентилятором **FA**. Температура витяжного повітря контролюється датчиком **TE3A**, а перепади тиску в каналах контролюються давачами **PDT9A** і **PDT12A**. Роботою витяжного вентилятора керує привід **M12**.

Сигналізація та автоматичний контроль

Система автоматичного керування оснащена багаторівневою сигналізацією:

- обмерзання калорифера (контролюється датчиком **TE5A**),
- перевищення перепаду тиску в рекуператорі (**PDT10A**),
- забруднення фільтрів (**PDT7A**, **PDT8A**),

Усі дані з давачів збираються контролером (ПЛК), який реалізує одноконтурні або каскадні контури регулювання.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			23
Зм.	Арк.			Дата		

1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу

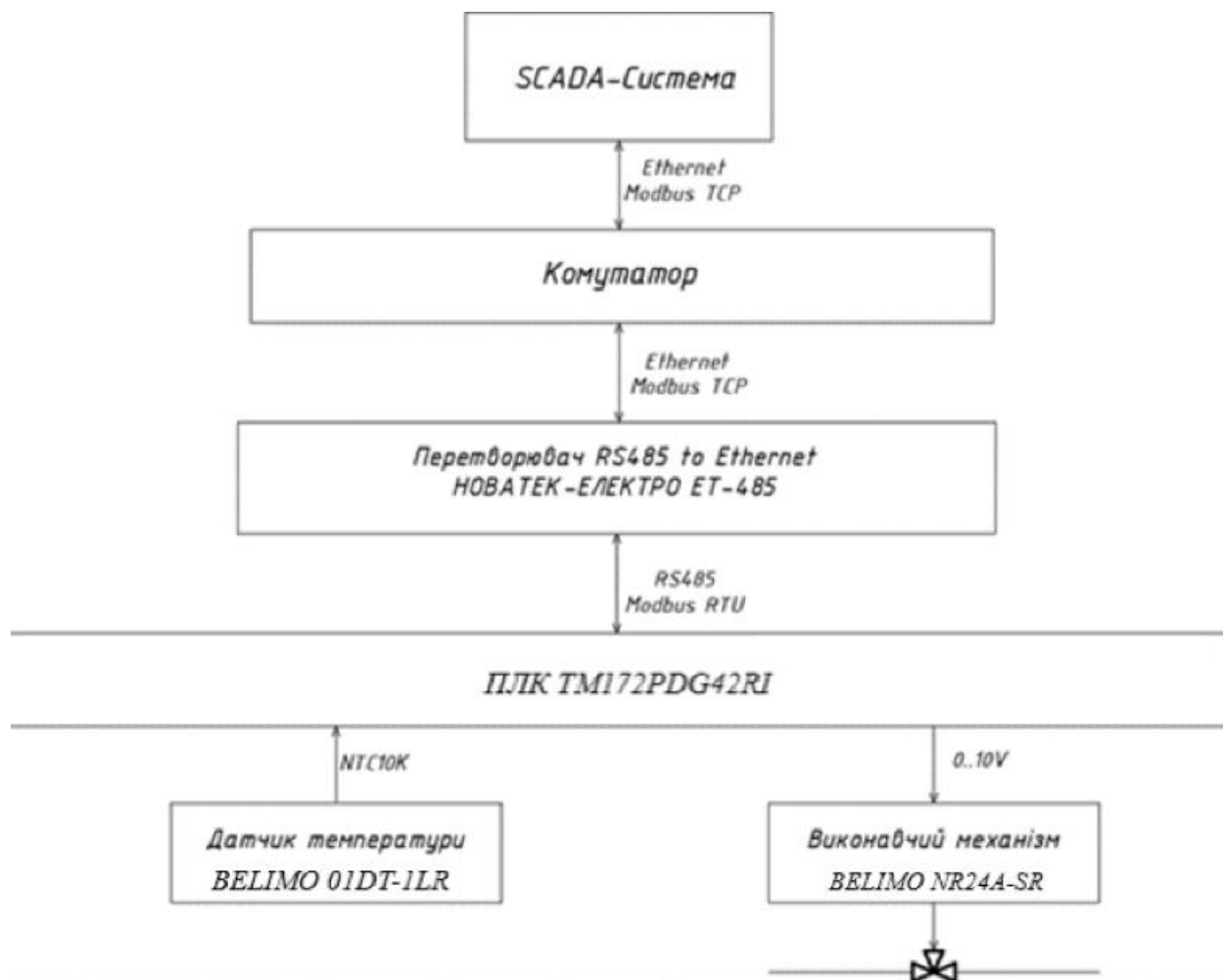


Рисунок 1.5 – Схема структурна програмно-технічного комплексу

З метою візуального представлення організаційної структури автоматизованої системи керування вентиляцією з рекуперацією тепла, що реалізована у цьому проєкті, мною була побудована структурна схема програмно-технічного комплексу, наведена на рисунку 1.4.

На схемі зображено основні рівні автоматизації та взаємозв'язки між ними. Верхній рівень системи реалізовано на базі персонального комп'ютера з встановленим програмним забезпеченням SCADA. Саме на цьому рівні виконується моніторинг, архівування даних та візуалізація параметрів роботи вентиляційного обладнання. Передача даних між рівнями здійснюється за допомогою мережевих технологій Ethernet на базі протоколу Modbus TCP.

Середній рівень складається з мережевого комутатора та промислового перетворювача інтерфейсів типу RS485-to-Ethernet (НОВАТЕК-ЕЛЕКТРО ET-485), що забезпечує обмін даними між польовими пристроями (Modbus RTU) та SCADA-сервером.

Польовий рівень автоматизації реалізовано з використанням програмованого логічного контролера TM172PDG42RI (фірми Schneider Electric), який безпосередньо взаємодіє з датчиком температури BELIMO 01DT-1LR через аналоговий вхід NTC10k, а також з виконавчим пристроєм BELIMO NR24A-SR, який керує триходовим клапаном за аналоговим керуючим сигналом 0...10 В.

Таким чином, структурна схема демонструє ієрархію компонентів АСК вентиляції: від SCADA-рівня до контролера та виконавчих механізмів, що забезпечує повноцінну взаємодію між усіма елементами та підтримку заданих параметрів повітря в лікарняній палаті.

1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОУ

Техніко-економічна ефективність автоматизованої системи керування вентиляцією в лікарні досягається за рахунок енергозбереження, зниження експлуатаційних витрат, забезпечення безперебійного функціонування вентиляції у стерильних приміщеннях, а також підвищення безпеки пацієнтів і медперсоналу. Джерела ефективності поділяються на керувальні, захисні та інформаційні.

Керувальні джерела ефективності

1. Енергозберігаюче керування вентиляторами частотне регулювання припливного і витяжного вентиляторів забезпечує оптимальний повітрообмін відповідно до навантаження (наприклад, на основі датчика CO₂), знижуючи споживання електроенергії..

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			25
Зм.	Арк.		Дата			

2. Рекуперація тепла витяжного повітря застосування гліколевого рекуператора дозволяє частково повертати тепло з відпрацьованого повітря, що значно зменшує витрати на підігрів припливного повітря у холодний період.

3. Автоматизоване регулювання температури та вологості ПДД-регулятори, налаштовані на підтримку постійних значень температури й вологості, забезпечують стабільний мікроклімат у зоні лікування без ручного втручання, що економить ресурси.

4. Керування зволожувачем зменшення надмірного зволоження запобігає пошкодженню матеріалів та зайвому витраті води й електроенергії.

Захисні джерела ефективності

1. Контроль стану фільтрів (ДР) встановлені датчики перепаду тиску сигналізують про забруднення фільтрів. Своєчасна заміна фільтрів дозволяє уникнути перевантаження вентиляторів та зберігає їх ресурс. Захист від замерзання калорифера

2. Автоматичне відкриття клапана і зупинка вентилятора при зниженні температури зворотного теплоносія запобігає пошкодженню теплообмінника та аварійним зупинкам системи.

3. Світлова та звукова індикація аварій оператор швидко отримує інформацію про несправності, що скорочує час реагування та зменшує ризик критичних збоїв.

Інформаційні джерела ефективності

Моніторинг параметрів у реальному часі система автоматизованого керування здійснює безперервне зчитування основних параметрів мікроклімату: температури повітря до та після калорифера, вологості, рівня CO₂, а також перепаду тиску на фільтрах. Завдяки цьому забезпечується точне підтримання комфортних умов у лікувальних приміщеннях, а також своєчасна реакція на відхилення.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			26
Зм.	Арк.		Дата			

РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР

2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР

2.1.1 Перелік вимірювальних каналів (ВК)

- Температура зовнішнього повітря
- Температура припливного повітря
- Температура витяжного повітря з палати
- Температура зворотнього гліколю рекуператора
- Температура зворотньої води нагрівача

2.1.2 Схеми структурні вимірювальних каналів

Структура вимірювальних каналів у складі автоматизованої системи керування вентиляцією в лікарні має уніфіковану побудову, що представлена на рисунку 2.1 як типове рішення для усіх аналогічних випадків.

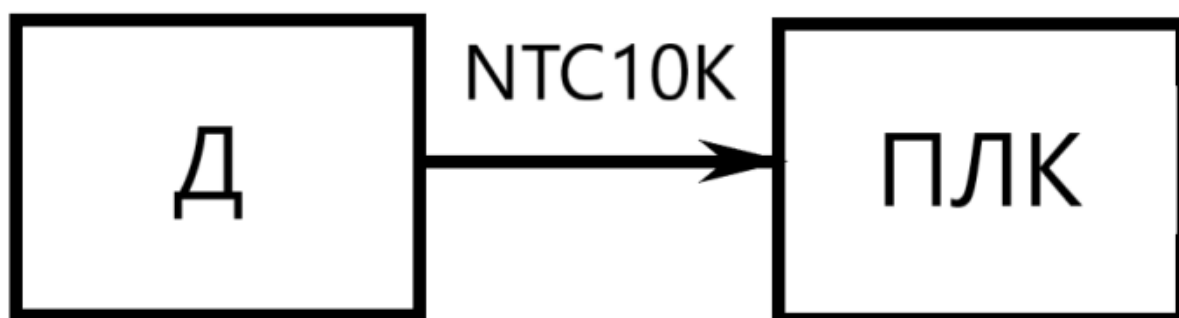


Рисунок 2.1 – Структурна схема вимірювальних каналів

2.1.3 Особливості електричних підключень датчиків вимірювальних каналів

NTC10K є терморезистором із негативним температурним коефіцієнтом, опір якого становить 10 кОм при температурі +25 °С. Завдяки своїй чутливості до змін температури цей тип сенсорів часто застосовується в системах автоматичного регулювання для точного моніторингу температурних параметрів схема підключення якого представлена на рисунку 2.2

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			27
Зм.	Арк.		Дата			

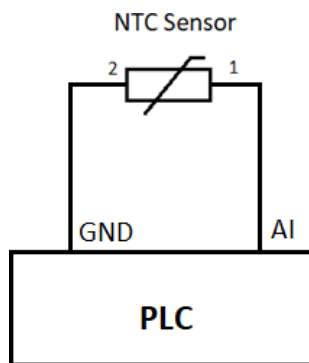


Рисунок 2.2 – Електрична схема підключення термістора NTC

Термістори типу NTC (Negative Temperature Coefficient) функціонують за принципом зменшення електричного опору зі зростанням температури. Така властивість дозволяє використовувати їх як чутливі елементи для вимірювання температури в автоматизованих системах. Зокрема, термістор NTC10K має номінальний опір 10 кОм при 25 °C та забезпечує стабільну роботу в широкому діапазоні температур. У практичному застосуванні він підключається до резистивного дільника напруги, де один з резисторів з'єднаний з «землею», а точка їхнього з'єднання подається на аналоговий вхід ПЛК для подальшої обробки сигналу[4].

2.1.4 Монтаж технічних засобів вимірювальних каналів

Під час встановлення каналного температурного датчика BELIMO 01DT-1LR важливо забезпечити його надійне та правильне кріплення безпосередньо до повітроводів припливного або витяжного типу. Такий монтаж гарантує точність вимірювання температури повітряного потоку, що є критично важливим для ефективного функціонування автоматизованої вентиляційної системи, розміри датчика представлені на рисунку 2.3.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			
Зм.	Арк.			Дата		28

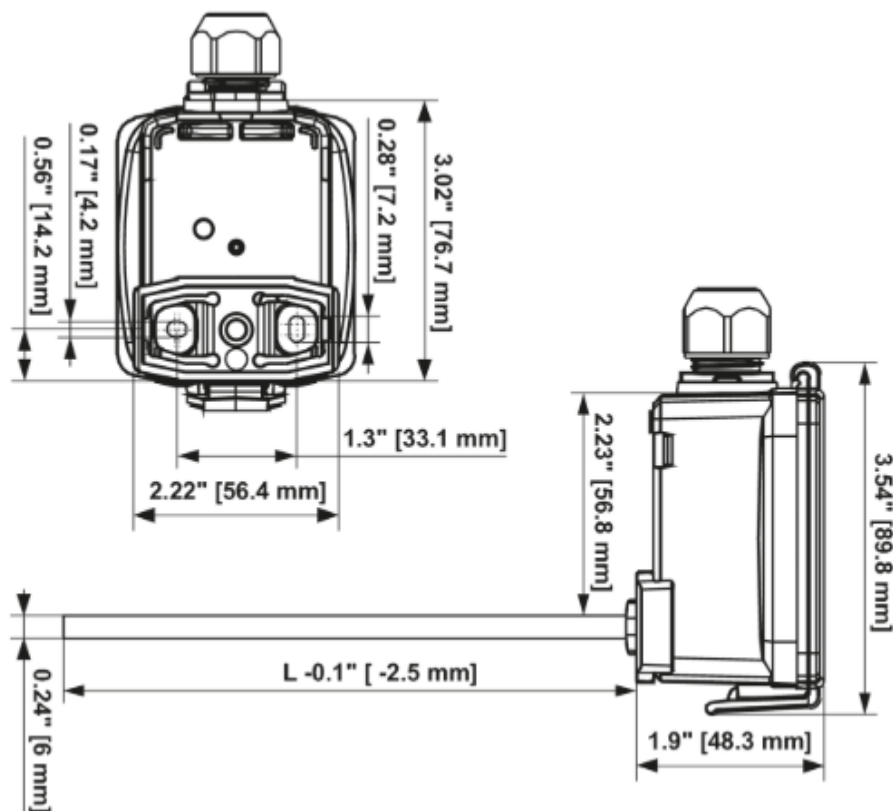


Рисунок 2.3 – розміри датчика BELIMO 01DT-1LR

До складу постачання накладного температурного датчика BELIMO 01НТ-1L входить стандартний хомут, призначений для фіксації на трубопроводах із діаметром від 40 до 110 мм. Під час монтажу додатково можуть застосовуватись монтажні хомути із термоконтakтним елементом для забезпечення кращої теплопередачі та підвищення точності вимірювання [4] (рисунок 2.4)

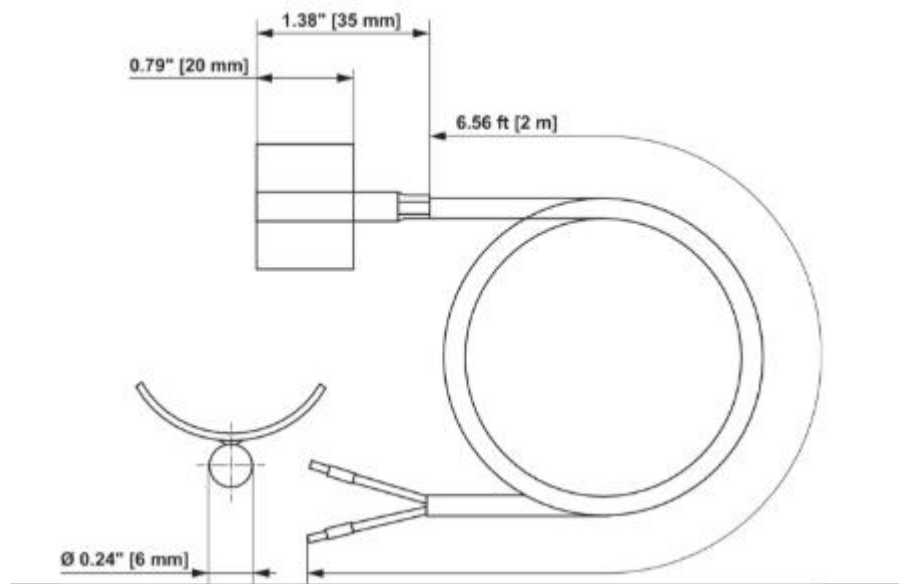


Рисунок 2.4 – Габаритні розміри накладного датчика BELIMO 01HT- 1L

2.1.5 Захист технічних засобів вимірювальних каналів від перешкод

У сучасних автоматизованих системах управління, зокрема у вентиляційних системах лікарень, особливу увагу необхідно приділяти надійності та точності вимірювальної апаратури. Одним із основних факторів, що можуть негативно вплинути на роботу вимірювальних каналів, є різного роду електромагнітні перешкоди. Їхній вплив може призвести до спотворення сигналу, хибних показань або навіть відмови системи. Тому захист вимірювальних каналів від завад є обов'язковою умовою стабільної та безпечної експлуатації автоматизованих систем керування.

Захист технічних засобів вимірювання базується на кількох ключових принципах. Перш за все, важливим є електромагнітне екранування. Це фізичне ізолювання чутливих елементів від зовнішнього електромагнітного випромінювання за допомогою металевих корпусів або спеціальних екранів. Наприклад, корпуси контролерів і трансмітерів часто виконані з металу саме для цього.

Іншим поширеним методом є використання екранованих кабелів, які мають спеціальну металеву обплітку або фольговий екран, що знижує рівень наведеної напруги на провідниках. При цьому обов'язковим є правильне заземлення екрану тільки з одного боку, аби уникнути появи заземлювальної петлі.

Не менш важливим є використання фільтраційних елементів. До пасивних фільтрів відносяться резистори, конденсатори та індуктори, які можуть бути інтегровані в схеми живлення або входних ліній сигналу. Вони відсікають високочастотні компоненти завад. Активні фільтри, які реалізовані на основі операційних підсилювачів, дозволяють більш точно налаштовувати смугу пропускання і гнучко адаптувати захист до умов середовища.

У системах високої точності також застосовуються оптичні ізолятори (оптрони), які дозволяють фізично розділити входні та вихідні сигнали електронного пристрою. Це не тільки забезпечує захист від завад, а й покращує електробезпеку.

Диференціальні методи вимірювання також довели свою ефективність. У таких схемах сигнал зчитується не між «землею» та одним проводом, а між двома лініями, що мають однакову конфігурацію. Це дозволяє усунути симетричні перешкоди, що впливають однаково на обидва дроти.

Окрему увагу слід приділити заземленню. Воно повинне бути виконане відповідно до нормативних вимог, із урахуванням мінімізації заземлювальних петель, які можуть бути джерелом завад. Для підвищення якості живлення доцільно застосовувати стабілізовані та фільтровані блоки живлення, що запобігають проникненню мережевих перешкод до вимірювальної частини системи.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			31
Зм.	Арк.			Дата		

Крім апаратних методів, активно застосовуються програмні алгоритми обробки сигналу. Наприклад, фільтри Калмана, ковзне середнє та інші математичні методи дозволяють зменшити вплив шумів на обробку даних в системах автоматизації.

Також важливим елементом є планування розташування апаратури. Вимірювальні елементи слід розміщувати на відстані від джерел електромагнітного випромінювання, таких як перетворювачі частоти, трансформатори, пускові пристрої тощо.

Необхідно наголошувати на регулярному технічному обслуговуванні та перевірках, що дозволяє своєчасно виявляти та усувати джерела потенційних перешкод або деградації захисних елементів.

Таким чином, ефективний захист вимірювальних каналів вимагає комплексного підходу, що поєднує правильне проектування, монтаж, використання захисних елементів і програмних рішень. Лише сукупність цих заходів дозволяє забезпечити надійність, точність і довговічність роботи автоматизованих систем вентиляції, що є критично важливим у лікарняних установах.

2.1.6 Схеми структурні надійності вимірювальних каналів

На рисунку 2.5 представлена спрощена структурна схема, яка ілюструє послідовність передавання інформації в автоматизованій системі. Сигнал, сформований датчиком, надходить до програмованого логічного контролера (ПЛК), де здійснюється його обробка. Після цього дані у відповідному форматі передаються на персональний комп'ютер (ПК) для подальшого відображення або аналізу.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			32
Зм.	Арк.			Дата		

Цей принцип передачі сигналу забезпечує ефективну взаємодію між елементами системи керування та дозволяє оперативно реагувати на зміни у процесі.

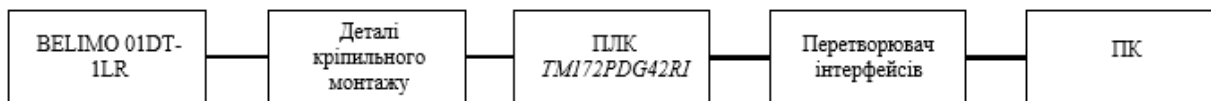


Рисунок 2.5 – Структурна схема інформаційної функції

На рисунку 2.6 наведена структурна схема, яка відображає реалізацію керуючої функції в автоматизованій системі. Сигнал, що надходить від датчика, спочатку обробляється програмованим логічним контролером (ПЛК). На основі цієї обробки формується керуючий вплив, який передається на виконавчий механізм (ВМ). В свою чергу, ВМ змінює положення або стан регулюючого органу, забезпечуючи досягнення заданих параметрів технологічного процесу.



Рисунок 2.6 – Структурна схема керуючої функції

На рисунку 2.7 представлено структурну схему, що реалізує інформаційну функцію в системі автоматизації. Сигнал від датчика надходить на програмований логічний контролер (ПЛК), який виконує аналіз отриманих даних. У випадку виявлення відхилення від норми або аварійної ситуації, ПЛК формує відповідне повідомлення та передає його на персональний комп'ютер (ПК). У результаті, на екрані ПК з'являється інформативне повідомлення, що сигналізує про виявлену проблему або несправність у системі.



Рисунок 2.7 – Структурна схема захисної функції

Структурні схеми надійності вимірювальних каналів відіграють ключову роль у процесі створення, аналізу та подальшої експлуатації автоматизованих систем. Вони слугують основою для обґрунтованого підходу до проектування таких систем, дозволяючи заздалегідь оцінити ступінь їх готовності до роботи в умовах, наближених до реальних. Особливо це актуально для об'єктів, де вимоги до безперебійного функціонування є критичними, зокрема в лікарнях, де відмова вимірювального каналу може безпосередньо вплинути на безпеку пацієнтів.

Завдяки структурним схемам надійності можна проводити кількісну оцінку ймовірності безвідмовної роботи кожного окремого елементу вимірювального каналу, а також системи в цілому. Це дозволяє інженерам виявляти потенційно вразливі місця та приймати рішення щодо необхідності резервування, дублювання або використання компонентів з підвищеним рівнем надійності.

Окрім того, аналіз структурної схеми надійності сприяє оптимізації витрат на технічне обслуговування. Визначивши ті вузли, які мають найнижчу надійність, можна завчасно спланувати профілактичні роботи, заміну обладнання чи налаштування систем сигналізації, тим самим мінімізуючи ризик несподіваних відмов.

Таким чином, структурні схеми надійності є не лише інструментом для теоретичного аналізу, а й практичним засобом, що дозволяє значно підвищити загальну ефективність та економічність функціонування вимірювальних каналів, що входять до складу автоматизованої системи керування.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			34
Зм.	Арк.			Дата		

2.1.7 Метрологічний розрахунок вимірювальних каналів

Проведемо розрахунок відносної похибки датчика температури BELIMO 01DT-1LR

$$\Delta_d = \pm 0.2^\circ, D = -50 \dots 150^\circ\text{C}$$

$$\delta_d = \frac{0.2}{150 - (-50)} * 100\% = 0.1\%$$

Розрахунок абсолютної похибки ПЛК *TM172PDG42RI*:

$$\delta_{\text{ПЛК}} = \frac{1}{2^n} = \frac{1}{2^{10}} = \pm 0.001\%$$

Де n – розрядність АЦП контролера.

$$D = (-50 \dots 150^\circ\text{C})$$

$$\Delta_{\text{ПЛК}} = \frac{0.001 * (150 - (-50))}{100} = 0.002^\circ\text{C}$$

$$\delta_{\text{ПЛК}} = \frac{1}{2^n} = \frac{1}{2^{10}} = \pm 0.001\%$$

Де n – розрядність АЦП контролера.

$$D = (-50 \dots 150^\circ\text{C})$$

$$\Delta_{\text{ПЛК}} = \frac{0.001 * (150 - (-50))}{100} = 0.002^\circ\text{C}$$

Розрахунок абсолютної похибки ВК:

$$\Delta_{\text{ВК}} = \sqrt{0.1^2 + 0.002^2} = 0.1^\circ\text{C}$$

Розрахунок відносної похибки ВК:

$$\delta_{\text{ВК}} = \frac{0.1}{150 - (-50)} * 100\% = 0.05\%$$

Відносна похибка вимірювального каналу температури припливного повітря становить 0,05%, що значно менше допустимого значення $\pm 0,5\%$, отже точність є прийнятною. Для витяжного та зовнішнього повітря застосовуються

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			
Зм.	Арк.			Дата		35

такі самі температурні давачі BELIMO, що забезпечує уніфікацію та спрощення обслуговування системи.

2.1.8 Розрахунок надійності вимірювальних каналів

Для оцінки надійності роботи вимірювальних каналів було враховано показники інтенсивності відмов та середній час безперервної роботи основних елементів. Всі необхідні числові характеристики наведені у таблиці 2.1, що дозволяє здійснити подальші розрахунки надійності системи загалом.

Таблиця 2.1 – Характеристики елементів

Назва елементу	$T_{\text{ср}}$, год	$\lambda * 10^{-6}$, 1/год
Давач, BELIMO 01DT-1LR	51600	19.38
Деталі монтажу кріпильного	$64,3 \cdot 10^{-6}$	0.015
ПЛК, <i>TM172PDG42RI</i>	26280	38.05
ПК оператора	45000	22.22
ВМ, Belimo LM24A-SR	36140	27.67
Регулюючий орган, Belimo R3040-16-B3	28500	35.09
Модуль інтерфейсний, tGW-725	84560	11.83

Інформаційна функція:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = (19.38 + 0.015 + 38.05 + 11.83 + 22.22) * 10^{-6} \\ = 91.495 * 10^{-6} \text{ 1/год}$$

$$\underline{T_{\text{ср}}} = \sum_{i=1}^n \underline{T_{\text{ср}}} = 51600 + 64300000 + 26280 + 84560 + 45000 \\ = 65\,507\,440 \text{ год}$$

Керуюча функція:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = (0.015 + 19.38 + 38.05 + 27.67 + 35.09) * 10^{-6} \\ = 120.205 * 10^{-6} \text{ 1/год}$$

$$\underline{T_{\text{ср}}} = \sum_{i=1}^n \underline{T_{\text{ср}}} = 64300000 + 51600 + 26280 + 36140 + 28500 \\ = 64\,442\,520 \text{ год}$$

Захисна функція:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = (19.38 + 0.015 + 38.05 + 11.83 + 22.22) * 10^{-6} \\ = 91.495 * 10^{-6} \text{ 1/год}$$

$$\underline{T_{\text{ср}}} = \sum_{i=1}^n \underline{T_{\text{ср}}} = 51600 + 64300000 + 26280 + 84560 + 45000 \\ = 65\,507\,440 \text{ год}$$

Для кожної з функцій було прийнято часовий інтервал тривалістю 1000 годин, на основі якого виконувалися розрахунки ймовірності їх безвідмовної роботи.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			37
Зм.	Арк.			Дата		

Інформація функція:

$$P_{\delta}(\tau) = 1 - \lambda\tau = 1 - 91.495 * 10^{-6} * 1000 = 0.91$$

Керуюча функція:

$$P_{\delta}(\tau) = 1 - \lambda\tau = 1 - 120.205 * 10^{-6} * 1000 = 0.88$$

Захисна функція:

$$P_{\delta}(r) = 1 - \lambda r = 1 - 91.495 * 10^{-6} * 1000 = 0.91$$

У подальших розрахунках для визначення ймовірності відновлення працездатності системи було задано такі параметри: середній час відновлення після відмови $2T_v = 2$ години та допустимий час роботи об'єкта без виконання керуючої функції $4T_{пр} = 4$ години.

$$P_v = 1 - e^{\frac{-T_{прип}}{T_v}} = 0.88$$

Для керуючої функції здійснюємо розрахунок ймовірності безвідмовної роботи на інтервалі 1000 годин, враховуючи можливість відмови елементів, що виконують цю функцію. Це дозволяє оцінити ступінь надійності керуючого каналу в умовах реальної експлуатації.

$$P_c(r) = P_{\delta}(r) + [1 - P_{\delta}(r)] * P_v(r) = 0.88 + [1 - 0.88] * 0.86 = 0.983$$

$$P_c(r) \geq P_{\delta}(r)$$

$$0.983 \geq 0.88$$

Таблиця 2.2 - отримані дані.

Функція	$\lambda * 10^{-6}, 1/\text{год}$	$T_{\text{ср}}, \text{год}$	$P(r)$
Інформаційна	91.495	65 507 440	0.91
Керуюча	120.205	64 442 520	0.88
Захисна	91.495	65 507 440	0.91

Після проведення розрахунків отримані значення порівнюються із заданими критеріями: середній час безвідмовної роботи має бути не менше

1000 годин, а коефіцієнт готовності – не менше 0.998. У разі, якщо ці умови не виконуються, необхідно підвищити надійність виконання функції. Для цього варто проаналізувати всі елементи та виявити найменш надійний – той, що має найбільше значення інтенсивності відмов (λ_i) або найменше значення середнього часу безвідмовної роботи ($T_{ср}$), і реалізувати його резервування.

Перевіримо нерівність за результатами розрахунків

$$P_{кер}(r) \leq P_{інф}(r) P_{зах}(r)$$

$$0.88 \leq 0.91 \leq 0.91$$

Можемо побачити, що нерівності виконуються тому ВК відповідають заданим вимогам.

2.1.9 Функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК

Первинна обробка сигналів у ПЛК відіграє важливу роль у забезпеченні коректної роботи вимірювальних каналів. Вона включає низку функцій, які дозволяють попередньо перевірити, відфільтрувати та підготувати сигнали до подальшої обробки або керування.

Одне з головних завдань – це перевірка справності каналів, щоб виявити повну або часткову відмову давачів. Це підвищує точність і надійність отриманих даних.

Ще одна важлива функція – фільтрація сигналів. У ПЛК можуть використовуватись прості фільтри, наприклад, фільтр ковзного середнього, експоненціальний або статистичний. Вони допомагають зменшити вплив перешкод, згладити сигнали та зробити інформацію більш стабільною. Завдяки цьому система краще реагує на зміну параметрів, і знижується ймовірність помилкового реагування через шум у сигналі.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			39
Зм.	Арк.			Дата		

Загалом, така первинна обробка необхідна для того, щоб система працювала стабільно, а значення з датчиків були точними та придатними до аналізу або подальшого регулювання.

2.1.10 Висновок щодо роботоздатності вимірювальних каналів САР

Розраховані параметри вимірювальних каналів у складі системи автоматичного регулювання повністю відповідають технічним вимогам щодо точності вимірювання та загальної надійності функціонування. Сигнал, що надходить від датчика, спочатку обробляється контролером (ПЛК), де виконується перевірка на достовірність — тобто виключається можливість передачі помилкових або нестабільних значень. Окрім цього, дані можуть проходити етап фільтрації, під час якого відсікаються випадкові шумові коливання або короткочасні збої. Завдяки цьому забезпечується висока якість інформації, що надходить на подальшу обробку, а також стабільна робота регулювального контуру системи загалом. Такий підхід дозволяє досягти надійного контролю за параметрами мікроклімату в приміщенні та своєчасного реагування на зміну умов.

2.2 Інженерний розрахунок регулювально-виконавчих каналів САР

2.2.1 Перелік систем автоматичного регулювання

У даній автоматизованій системі керування вентиляцією для забезпечення стабільного мікроклімату в палатах лікарні застосовано комбінацію двох типів систем автоматичного регулювання (САР) — одноконтурної та каскадної. Такий підхід дає змогу оптимально реалізувати управління як у зонах з помірними вимогами до точності (наприклад, палатах), так і в умовах підвищених вимог (наприклад, при регулюванні температури теплоносія, що йде на нагрівач або гліколевий рекуператор).

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			40
Зм.	Арк.		Дата			

Одноконтурна САР застосовується для прямого регулювання температури припливного повітря на основі сигналу від одного датчика. Сигнал із температурного датчика надходить на ПЛК, який виконує обробку та формує аналоговий керуючий сигнал (0...10 В) для виконавчого механізму. Це дозволяє точно підтримувати задану температуру в приміщенні за умови відносно стабільного теплового навантаження.

Каскадна САР використовується в тих ділянках системи, де важливо враховувати проміжні впливи — зокрема, для точного регулювання температури води в теплообміннику, яка в подальшому впливає на температуру припливного повітря. Каскадна структура складається з двох регуляторів: зовнішній (основний) регулює температуру повітря, а внутрішній — температуру теплоносія, підвищуючи швидкодію та точність системи.

Переваги комбінованого застосування:

- Підвищення точності та стійкості керування в критичних вузлах системи.
- Енергоефективне керування з можливістю гнучкого реагування на збурення.
- Оптимальне використання обчислювальних ресурсів ПЛК та простота реалізації для зони з меншими вимогами.
- Забезпечення надійної роботи у випадку зміни умов експлуатації (зміна теплового навантаження, обмерзання тощо).

Результати моделювання в середовищі MATLAB/Simulink підтвердили доцільність комбінованого використання САР. Така система забезпечує високу точність підтримання параметрів, відповідає вимогам надійності, простоти обслуговування та дозволяє реалізувати адаптивне управління температурою повітря і теплоносія.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			41
Зм.	Арк.			Дата		

2.2.2 Ідентифікація об'єкта управління

У рамках проходження виробничої практики було виконано ідентифікацію об'єкта автоматизованої системи керування вентиляцією. Метою ідентифікації є визначення передавальних функцій, які адекватно описують динамічну поведінку системи вентиляції, що дає змогу подальше моделювання та налаштування регуляторів.

Для цього було проведено аналіз експериментальних або розрахункових даних із функціонування об'єкта, після чого отримано передавальні функції у вигляді:

$$W_{об}(p) = \frac{0.145e^{-170p}}{1400p+1};$$

$$W_{вип}(p) = \frac{0.15e^{-5p}}{19p+1};$$

2.2.3 Розрахунок регуляторів САР

В Simulink створимо схеми об'єкта та випереджуючого контура.

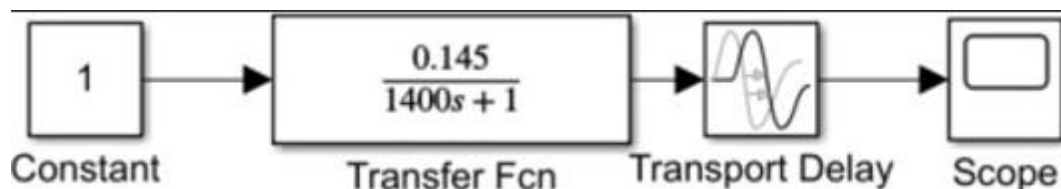


Рисунок 2.8 Структурна схема об'єкта

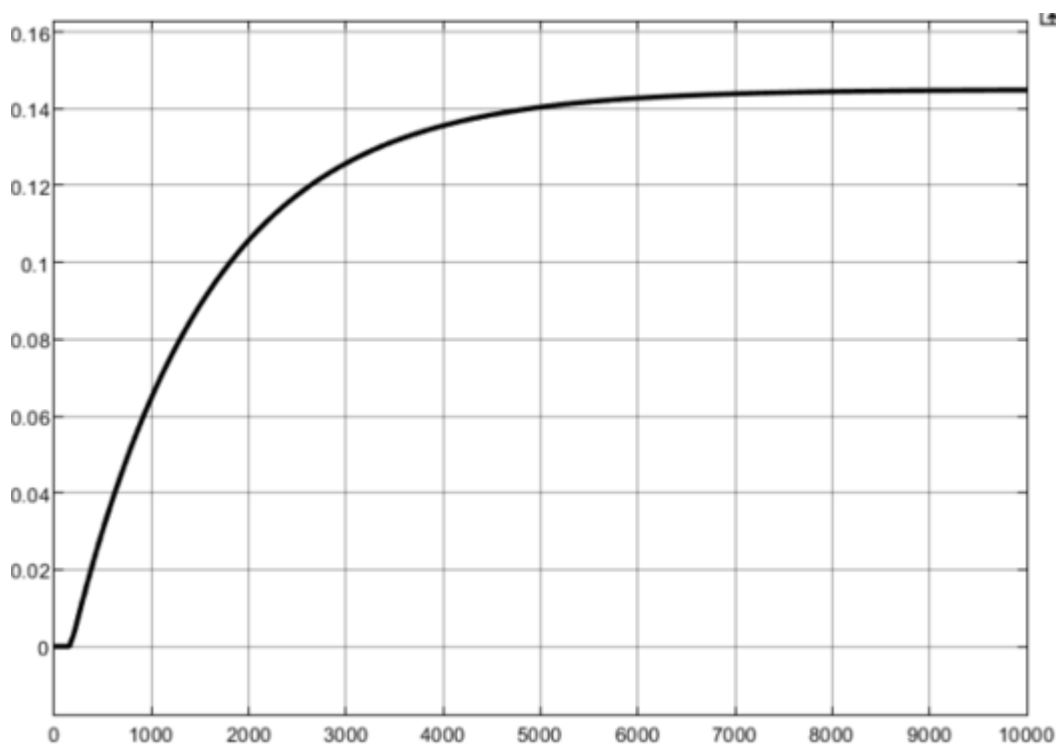


Рисунок 2.9 Перехідна характеристика об'єкта

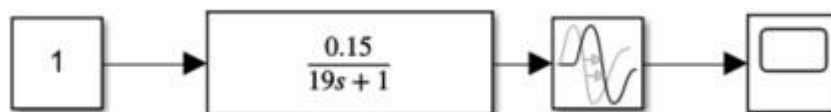


Рисунок 2.10 Структурна схема випереджувального контура

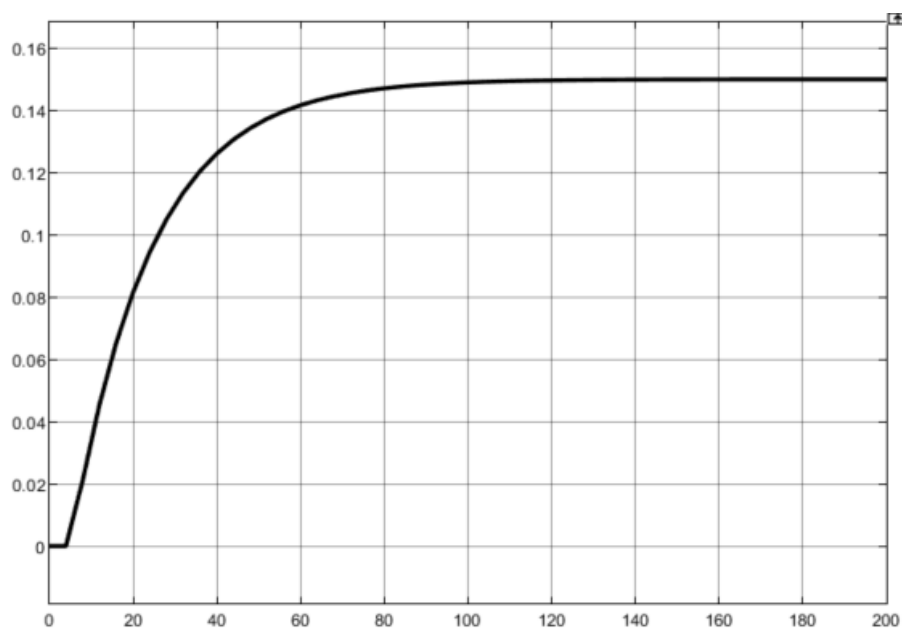


Рисунок 2.11 Перехідна характеристика випереджувального контура

Сталі часу, запізнення об'єкта та випереджуючого контура становлять відповідно: $T_{об} = 1400$; $\tau_{об} = 145$; $T_{вип} = 19$; $\tau_{вип} = 5$.

Виходить, що $T_{об} > T_{вип}$, $\tau_{об} > \tau_{вип}$ розрахуємо стабілізуючий регулятор за формулою $W_{ст} \rightarrow W_{екв} = W_{вип} = \frac{0.15e^{-5p}}{19p+1}$.

Програма для побудови графіку РАФХ

```
RW_T_OPCUA.m  kryv_reg.m  +
- figure;
- w = 0:0.001:0.45;
- m=0.4;
- p=(1i-m).*w;
- Wekv=(0.15*exp(-5.*p))./(19.*p+1);
- A=imag(Wekv).^2+real(Wekv).^2;
- Ki=(-w*(m^2+1).*imag(Wekv))./A;
- K=(-(real(Wekv)+imag(Wekv).*m))./A;
- plot(K,Ki,'k');
- ha=gca;
- ha.XAxisLocation = 'origin';
- ha.YAxisLocation = 'origin'; grid on;
- xlabel('\bf\fontsize{12} K');
- ylabel('\bf\fontsize{12} Ki');
```

Рисунок 2.12 Код m-файла для РАФХ

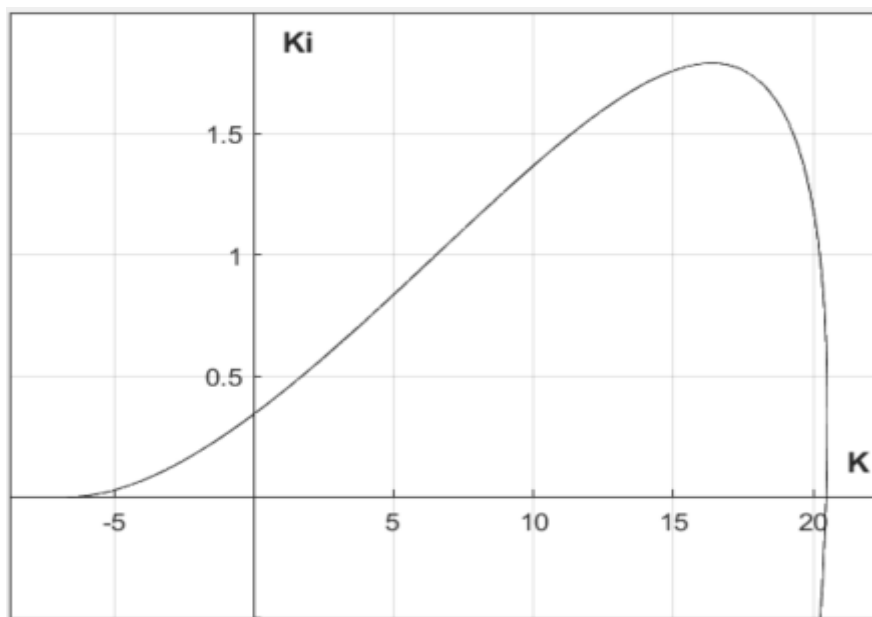


Рисунок 2.13 РАФХ з П-регулятором

Для П-регулятора, візьмемо перетин графіка з віссю K , $K = 20,5$.

Передавальна функція коригуючого регулятора

$$W_{\text{кор}} \rightarrow W_{\text{екв}} = \frac{W_{\text{об}}}{W_{\text{вип}}}$$

Програма для П-регулятора

```
RW_T_OPCUA.m x kryv_reg.m x +
17
18 - figure;
19 - w = 0:0.0001:0.012;
20 - m=0.4;
21 - p=w.*(1i-m);
22 - Wob = (0.145.*exp(-170.*p))./((1400.*p+1));
23 - Wvip = (0.15*exp(-5.*p))./(19.*p+1);
24 - Wekv = (Wob)./(Wvip); A=real(Wekv).^2+imag(Wekv).^2;
25 - Ki=(-w.*(m^2+1).*imag(Wekv))./A;
26 - K=(-(real(Wekv)+imag(Wekv).*m))./A; plot(K,Ki,'k');
27 - ha=gca;
28 - ha.XAxisLocation = 'origin';
29 - ha.YAxisLocation = 'origin';
30
31 - grid on;
32 - xlabel('\bf\fontsize{12} K');
33 - ylabel('\bf\fontsize{12} Ki');
```

Рисунок 2.14 Код m-файла для РАФХ

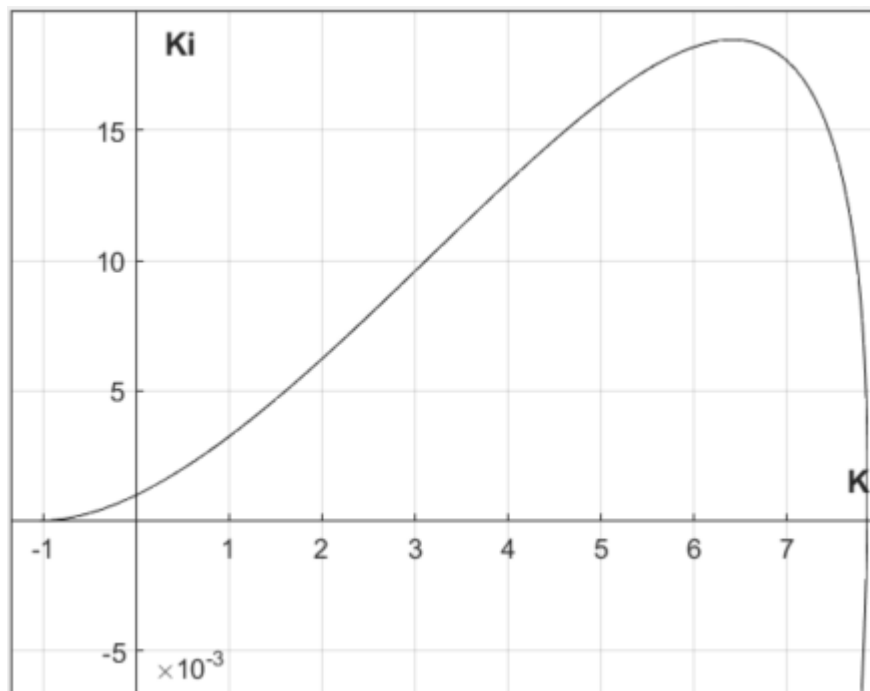


Рисунок 2.15 П-регулятор РАФХ

Обираємо оптимальне налаштування ПІ-регулятора

$$K_{i_{\text{опт}}} = 0,95 \cdot K_{i_{\text{max}}} = 0,95 \cdot 0,0185 = 0,018.$$

Обравши значення К біля максимального $K = 6,8$.

Зробимо перехідні характеристики системи по каналам:

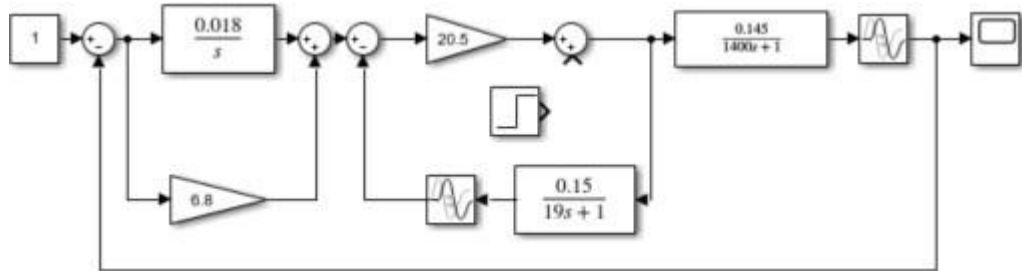


Рисунок 2.15 Контур керування температурою припливного повітря по каналу завдання-вихід

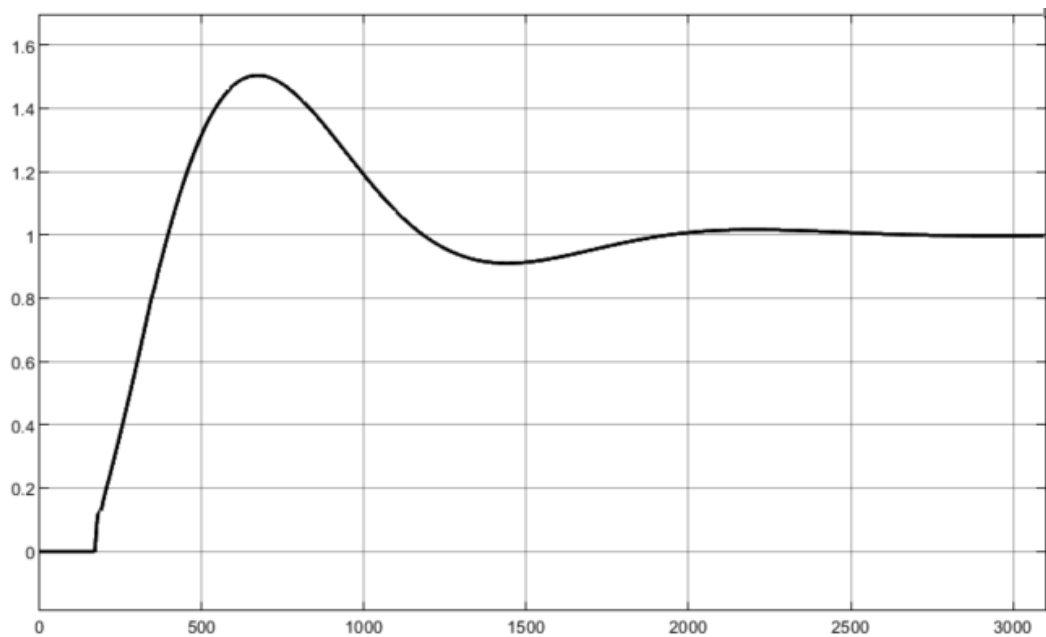


Рисунок 2.16 Перехідний процес контуру керування температурі припливу по каналу завдання-вихід

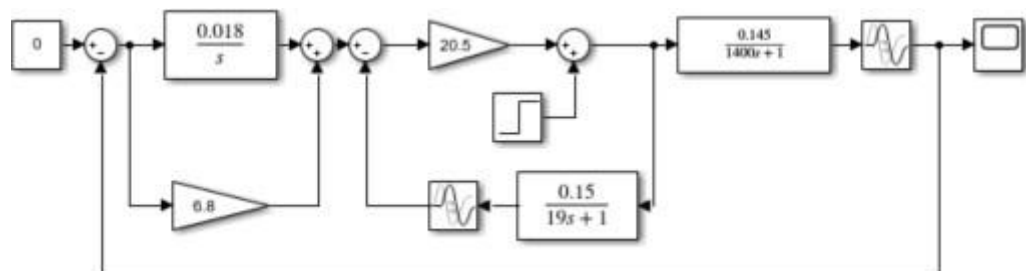


Рисунок 2.17 Контур керування температурою припливного повітря по каналу збурення-вихід

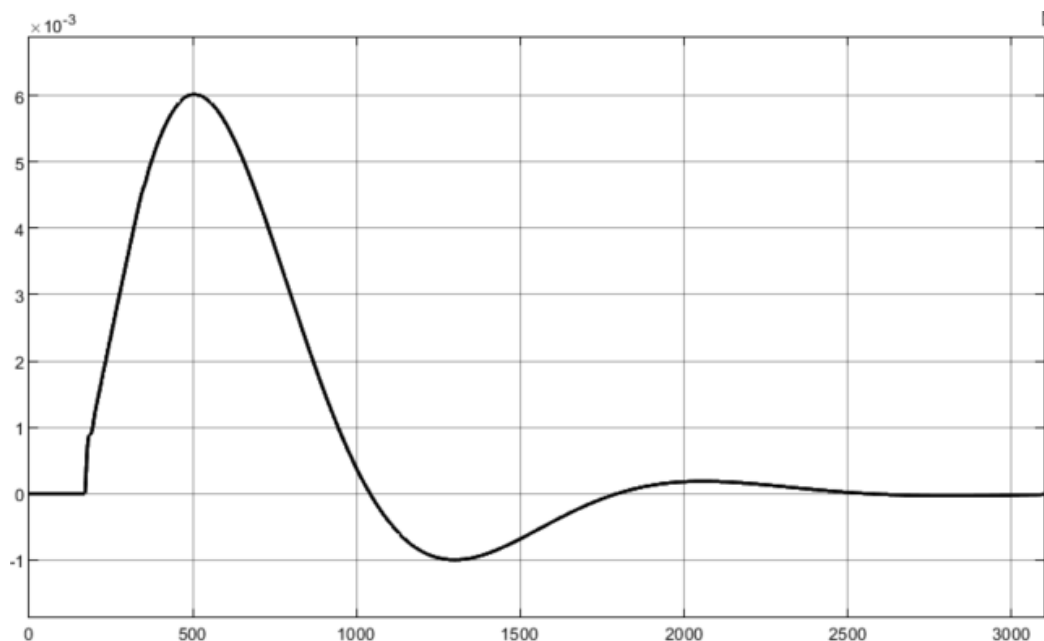


Рисунок 2.18 Перехідний процес контуру керування температури припливу по каналу збурення-вихід

Далі розрахуємо показник якості при зміні Коб.

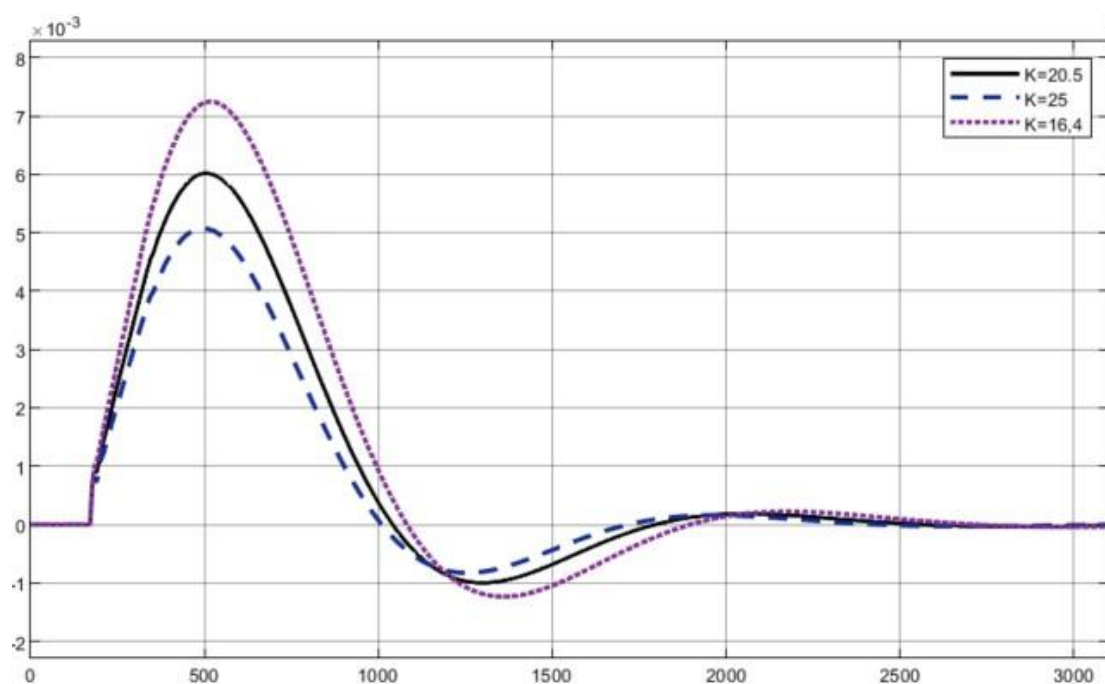


Рисунок 2.19 Перехідні характеристики в стабілізуючому регуляторі по каналу збурення- вихід зі зміною параметра

За допомогою перехідних характеристик визначили показник якості для каналу збурення-вихід:

- динамічна похибка: $\Delta y = y_{\max} - y(\infty) = y_1$
- статична похибка $y_{\text{ст.}} = y_{\text{зад}} - y(\infty)$
- час перехідного процесу $t_{\text{пп}}$
- ступінь затухання $\Psi = \frac{y_1 - y_3}{y_1} = 1 - \frac{y_3}{y_1}$
- перерегулювання $\sigma = \frac{y_{\max} - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100\% = \frac{y_1}{y(\infty)} \cdot 100\%$

Таблиця 2.3 - Показники якості по каналу збурення – вихід за параметром K

Показники якості	Параметр K		
	$K = 20,5$	$K = 25$	$K = 16,4$
Δy	0,00592	0,00491	0,00689
$y_{\text{ст}}$	0	0	0
$t_{\text{пп}}, \text{с}$	1000	958	1148
$\sigma, \%$	16,67	16,57	17,59
Ψ	0,96	0,96	0,96

Стабілізуючий регулятор по каналу збурення-вихід зміна параметру K

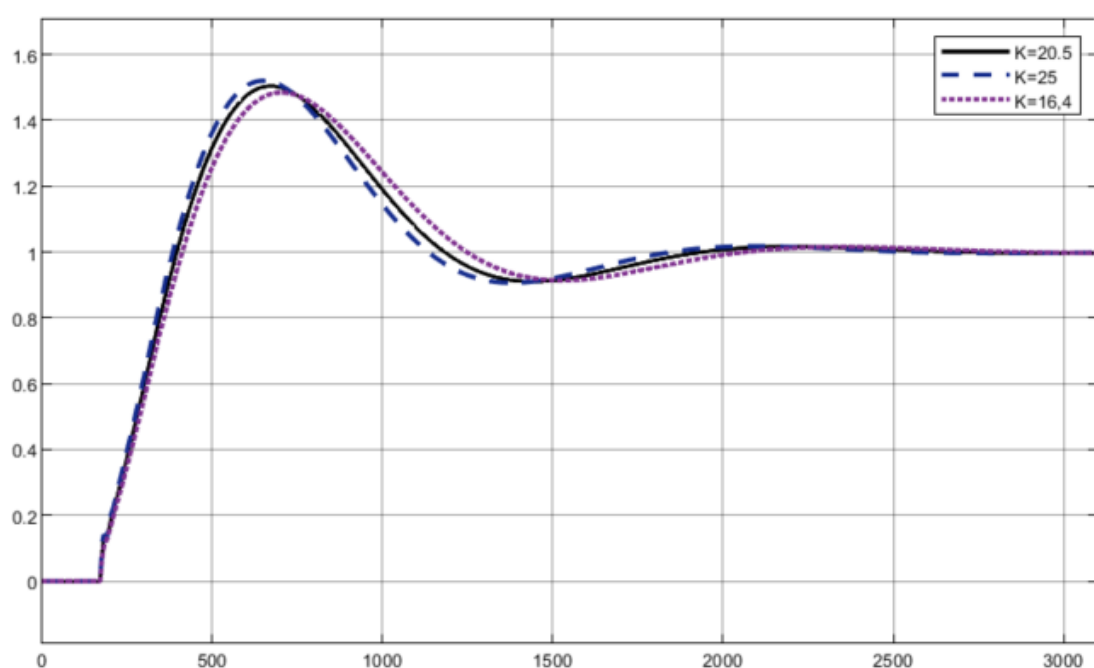


Рисунок 2.20 Перехідні характеристики в стабілізуючому регуляторі по каналу завдання- вихід зі зміною параметра

Таблиця 2. 4 - Показники якості по каналу завдання-вихід після зміни K

Прямі показники якості	Параметр K		
	$K = 20,5$	$K = 25$	$K = 16,4$
Δy	0,454	0,507	0,486
$u_{ст}$	0	0	0
$t_{пп}, c$	1167	1139	1216
$\sigma, \%$	49.65	51,87	48,7
ψ	0,96	0,96	0,96

Виконаємо розрахунки показників при зміні параметра K_p ПІ-регулятора.

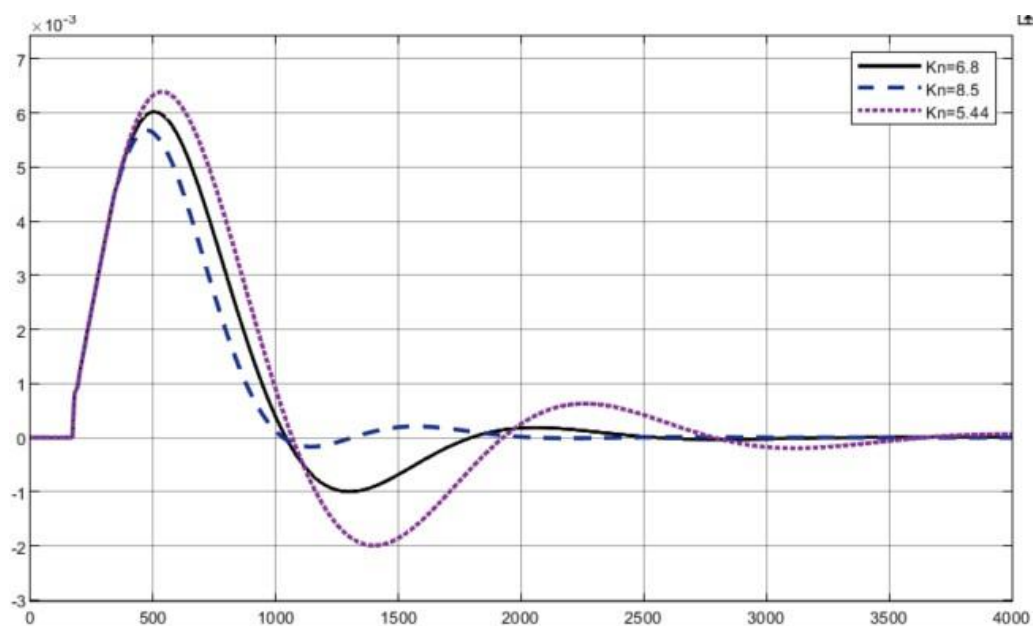


Рисунок 2. 21 Перехідні процеси при зміні K_{Π} в коригуючому регуляторі
по каналу збурення- вихід

Таблиця 2. 5 - Критерії якості для каналу збурення-вихід при зміні параметру K_{Π}

Показники якості	Параметр K_{Π}		
	$K_{\Pi} = 6,8$	$K_{\Pi} = 8,5$	$K_{\Pi} = 5,44$
Δy	0,006	0,0058	0,0064
уст	0	0	0
$t_{пп}, c$	1000	970	2570
$\sigma, \%$	16,7	2,83	31,25
ψ	0,97	0,97	0,9

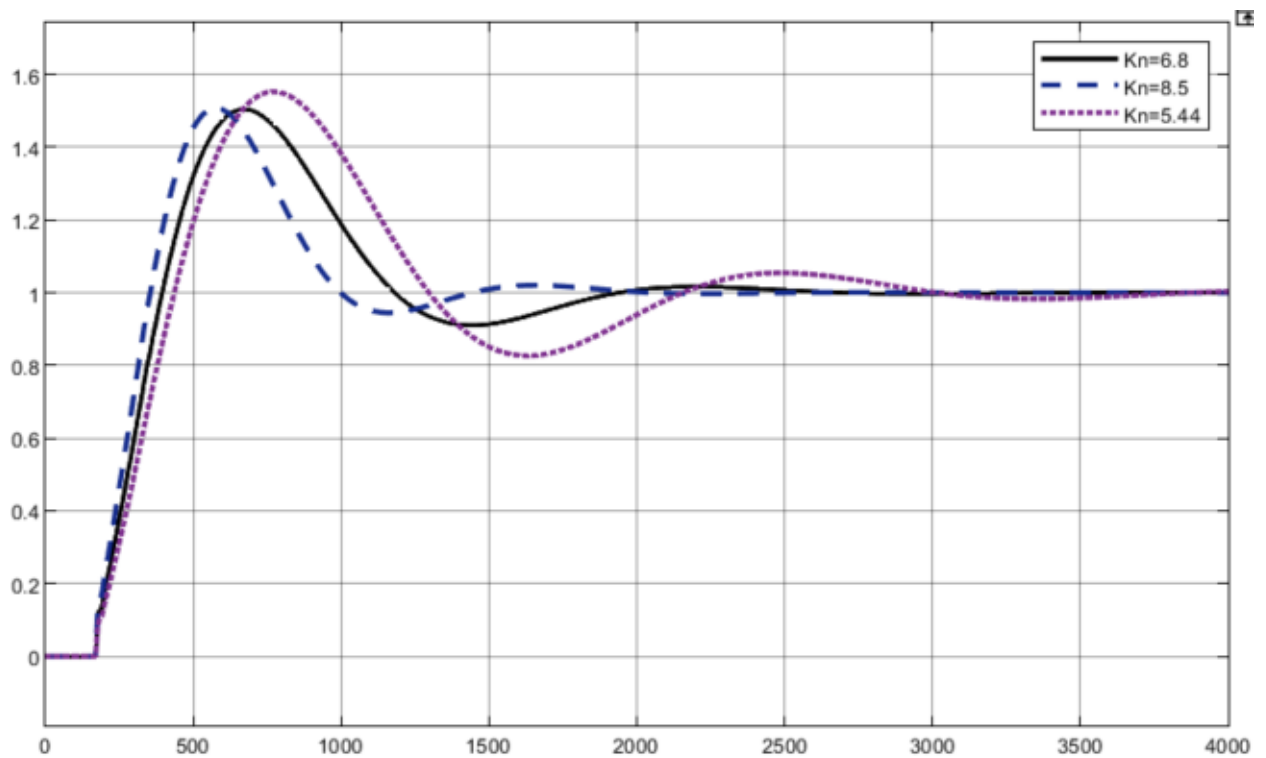


Рисунок 2.22 Перехідні процеси при зміні K_{Π} в коригуючому регуляторі по каналу завдання-вихід

Таблиця 2. 6 - Показники якості по каналу завдання-вихід при зміні K_{Π}

Прямі показники якості	Параметр K_{Π}		
	$K_{\Pi} = 6,8$	$K_{\Pi} = 8,5$	$K_{\Pi} = 5,44$
Δy	0,485	0,493	0,51
уст	0	0	0
$t_{пп}, c$	1167	979	2700
$\sigma, \%$	51	51	55
ψ	0,97	0,96	0,9

Проведемо варіацію параметру K_{Π} коригуючого ПІ-регулятора

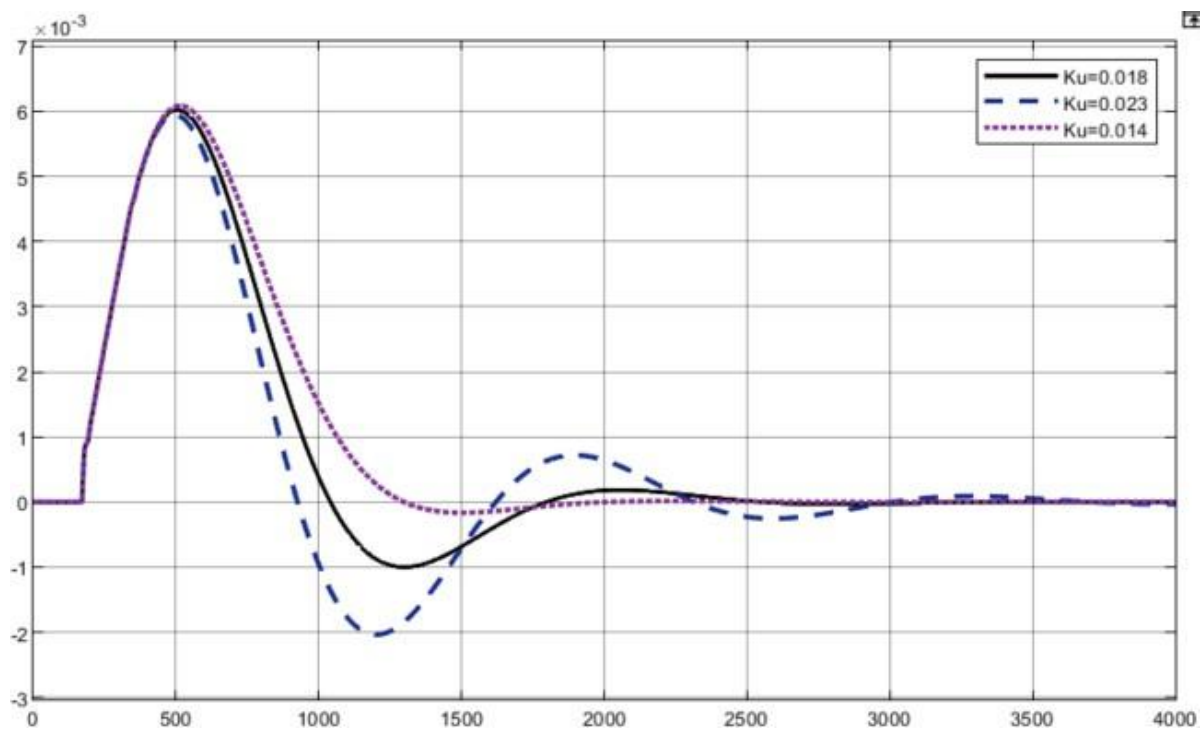


Рисунок 2.23 Перехідні процеси в коригуючому регуляторі по каналу збурення- вихід

Таблиця 2. 7 - Показники якості по каналу «збурення-вихід» після варіювання $K_{\text{и}}$

Прямі показники якості	Параметр $K_{\text{и}}$		
	$K_{\text{и}} = 0,018$	$K_{\text{и}} = 0,023$	$K_{\text{и}} = 0,014$
Δy	0,0056	0,00585	0,00608
уст	0	0	0
$t_{\text{пп}}, \text{с}$	1000	2200	1190
$\sigma, \%$	16,7	34,6	2,7
ψ	0,97	0,88	1

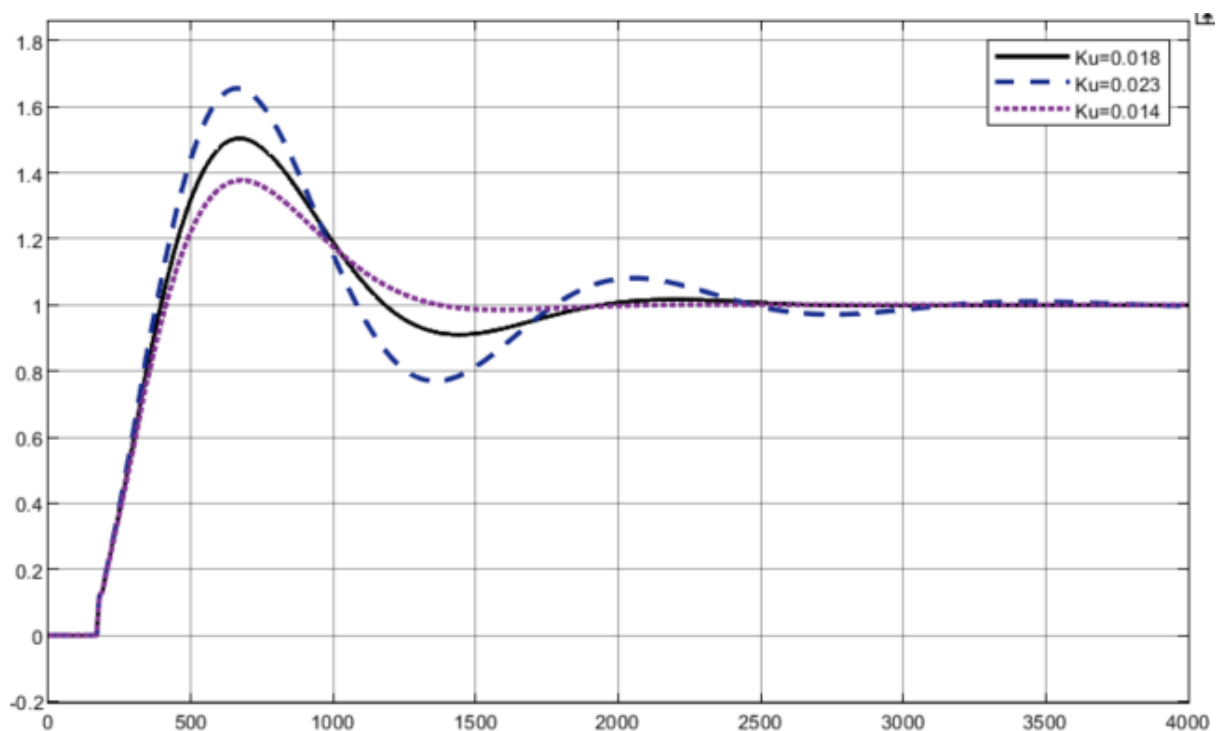


Рисунок 2.24 Перехідні процеси в коригуючому регуляторі по каналу
завдання- вихід

Таблиця 2. 8 - Показники якості по каналу завдання-вихід після зміни K_u

Показники якості	Параметр K_u		
	$K_u = 0,018$	$K_u = 0,023$	$K_u = 0,014$
Δy	0,5	0,66	0,38
$уст$	0	0	0
$t_{пп}, c$	1170	2300	1250
$\sigma, \%$	50	66	38
ψ	0,97	0,88	1

Після проведення моделювання та аналізу динаміки системи керування, було прийнято рішення щодо вибору оптимальних налаштувань для регуляторів. За результатами розрахунків та порівняльного аналізу критеріїв якості, були визначені такі параметри: $K_u = 0,014$, $K_p = 6,8$, $K = 20,5$.

Далі порівняємо каскадну систему керування з одноконтурною.

$$W_{об}(p) = \frac{0.145e^{-170p}}{1400p+1};$$

Після налаштування регулятора методом РАФХ

Для налаштування параметрів ПІ-регулятора було використано аналітичні залежності, які дозволяють розрахувати коефіцієнти регулятора на основі частотної характеристики об'єкта:

$$K_p = -\frac{mQ(m, i\omega) + P(m, i\omega)}{A^2(m, i\omega)};$$

$$K_u = \frac{-\omega(m^2 + 1) \cdot Q(m, i\omega)}{A^2(m, i\omega)},$$

$$A(m, i\omega) = \sqrt{P^2(m, i\omega) + Q^2(m, i\omega)}.$$

Після визначення передавальних функцій об'єкта управління та випереджуючого контуру, для подальшого налаштування ПІ-регулятора було обрано значення ступеня коливальної стійкості $m_{зад}=1,3$. Побудуємо в Matlab лінії m у координатах $K_p; K_u$ рисунки 2.25 та 2.26

```
w = 0:0.0001:0.01;|
m=1.3;
p=(1i-m).*w;
W=(0.145*exp(-170.*p))./(1400.*p+1);
A=imag(W).^2+real(W).^2;
Ku=(-w*(m^2+1).*imag(W))./A;
Kp=(-(real(W)+imag(W).*m))./A;
plot(Kp,Ku,'k');
ha=gca;
ha.XAxisLocation = 'origin';
ha.YAxisLocation = 'origin';
grid on;
xlabel('\bf\fontsize{12} Kp');
ylabel('\bf\fontsize{12} Ku');
```

Рисунок 2.25 Код побудови кривої

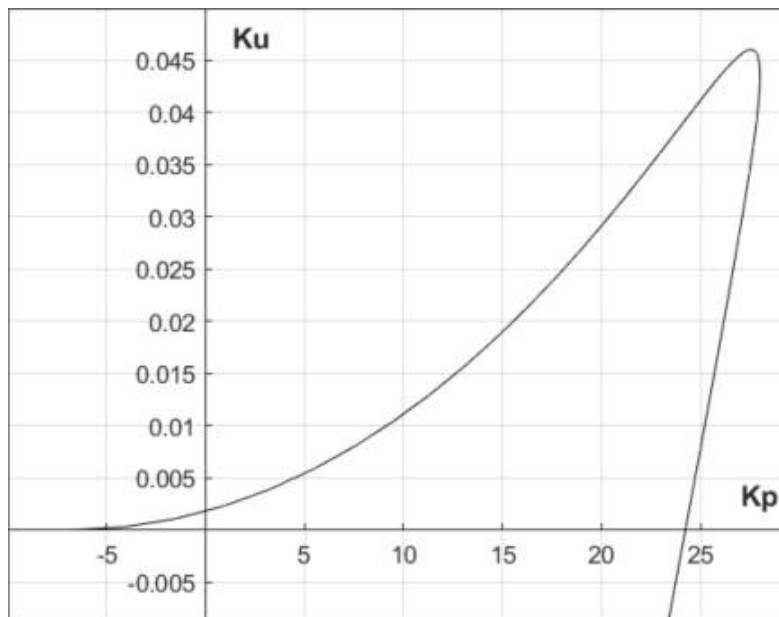


Рисунок 2.26 Крива ступеня стійкості

Для подальшого налаштування ПІ-регулятора було визначено оптимальне значення інтегральної складової регулятора. Згідно з методикою, приймаємо $K_{u_{\text{опт}}} = 0,95 \cdot K_{u_{\text{max}}} = 0,95 \cdot 0,046 = 0,044$. Відповідне значення коефіцієнта пропорційної дії було вибрано праворуч від максимуму на кривій стійкості, отриманій у MATLAB, і становить $K_p = 27,8$ тоді $T_u = 631,82$.

З урахуванням отриманих параметрів було побудовано одноконтурну систему регулювання в середовищі Simulink. Модель реалізує зв'язок за каналом збурення – вихід і дає змогу проаналізувати динамічну поведінку системи з налаштованим ПІ-регулятором.

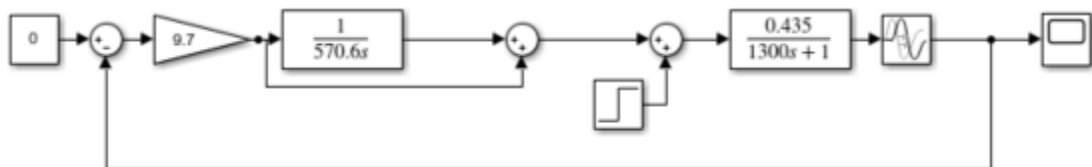


Рисунок 2.27 Структурна схема одноконтурної АСР по каналу збурення-вихід

Проведемо порівняння перехідних процесів одноконтурної системи за каналом збурення-вихід з каскадною.

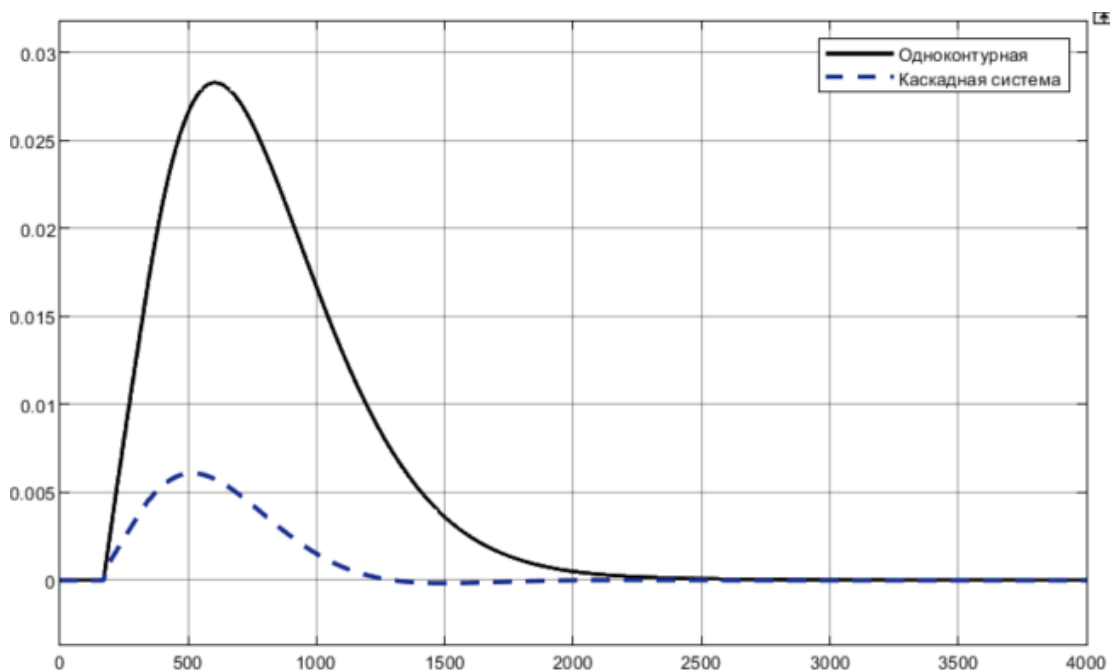


Рисунок 2.28 Перехідні процеси за каналом збурення-вихід для одноконтурної та каскадної систем регулювання

Таблица 2. 9 Порівняння показників якості систем регулювання

Показники якості	Одноконтурна система	Каскадна система
Δy	0,0287	0,0056
$u_{ст}$	0	0
$t_{пп}, c$	1098	1178
$\sigma, \%$	0	0
ψ	1	1

2.2.4 Висновки щодо роботоздатності РВК САР

У ході виконання аналізу та моделювання регулювального контуру автоматизованої системи вентиляції для лікарняного приміщення було проведено ідентифікацію об'єкта керування, що дозволило описати його динаміку за допомогою передавальної функції. Такий підхід забезпечив можливість побудови моделі в середовищі Simulink та подальшого налаштування параметрів регулятора.

Для досягнення стабільної та точної роботи було застосовано ПІ-регулятор, параметри якого визначались з використанням частотного методу. У процесі моделювання розглянуто як одноконтурну, так і каскадну структуру системи автоматичного регулювання. Проведене порівняння показало, що каскадна система має кращі показники якості перехідного процесу, однак у межах проєкту обґрунтовано прийнято рішення реалізувати саме одноконтурну САР, як більш економічно доцільну та технічно достатню для умов лікарняного середовища.

Змодельована система показала надійність, стабільність та відповідність вимогам до якості регулювання температури припливного повітря. Отримані результати підтвердили доцільність обраного підходу для підтримання мікроклімату в лікарняному приміщенні.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			57
Зм.	Арк.			Дата		

РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЕКТУ

3.1 Схема функціональна автоматизації ТОВ

Схема була описана й розглянута в підрозділі 1.5 ПЗ ДПБ.

3.2 Схема структурна ПТК

Схема була описана й розглянута в підрозділі 1.6 ПЗ ДПБ.

3.3 Схема електрична принципова АСР

Система автоматизації вентиляції працює від трифазної мережі змінного струму. Живлення подається через автоматичні вимикачі, після чого керується за допомогою контакторів та виконавчих пристроїв. Центральним елементом є програмований логічний контролер, який забезпечує управління вентиляторами, насосами, приводами клапанів, а також обробку сигналів від датчиків.

У схемі передбачено три контактори (КМ1–КМ2), які комутують живлення на електродвигуни вентилятора та насосів. Кожен контактор вмикається відповідним дискретним сигналом з ПЛК.

До аналогових входів ПЛК підключаються сигнали з температурних та перепадних датчиків тиску, які забезпечують моніторинг параметрів повітря та контролюють роботу теплообмінників. Контролер аналізує ці сигнали, формує команди на виконавчі елементи — електроприводи клапанів — і виконує логіку регулювання температури й витрати повітря.

Система також має дискретні входи для сигналів про аварії, пуски, стан приводів, а також дискретні виходи для індикації режимів роботи та керування. Усі з'єднання реалізовані через клемні блоки, що забезпечує зручність монтажу та обслуговування.

Таким чином, електрична схема забезпечує повну автоматизацію вентиляційної системи, включаючи збирання даних, аналіз сигналів,

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			58
Зм.	Арк.			Дата		

прийняття рішень і керування електромеханічними пристроями відповідно до алгоритмів роботи системи.

3.4 Схема зовнішніх з'єднань

Схема зовнішніх з'єднань відображає підключення всіх виконавчих механізмів, сенсорів та елементів керування до розподільчого щита автоматизованої системи вентиляції палати лікарні.

Силова частина схеми побудована на основі трифазного живлення 3×380 В, яке надходить через автоматичний вимикач QM1 та розподіляється на клемник X1. До даного клемника підключені три асинхронні електродвигуни – 1M1, 1M2 та 2M1 – кожен з яких живиться через окремі кабелі типу ВВГ з відповідним перерізом. Вказано тип та кількість жил для кожного двигуна. Розведення фаз виконується окремо для кожного двигуна, а також передбачене окреме заземлення (РЕ).

Сигнальна частина реалізована через клемник X2. До нього підключаються сигнали від:

- перепадних реле тиску,
- термостатів
- температурних сенсорів,
- датчиків витрати повітря,
- виконавчих механізмів клапанів.

Усі сигнальні лінії реалізовані через кабелі типу $\times 0.75$ мм², з урахуванням кількості ліній та типу сигналу. Для більшості приладів застосовано двожильні або трьojiльні кабелі, а для клапанів та датчиків витрати – кабелі з більшою кількістю жил.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			59
Зм.	Арк.			Дата		

Управління вентиляторами також реалізовано через клемник X2. Для кожного двигуна передбачено окремий 7-жильний сигнальний кабель, через який подаються команди керування (наприклад, запуск, аварія, зворотний зв'язок).

Таким чином, схема зовнішніх з'єднань забезпечує повноцінне підключення всієї зовнішньої автоматики: виконавчих механізмів, сенсорів, пристроїв захисту та контролю.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			60
Зм.	Арк.			Дата		

РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА

4.1 Програмування ПЛК

Програмування контролера здійснювалося у середовищі розробки EcoStruxure Machine Expert, яке є офіційною платформою компанії Schneider Electric для програмування ПЛК серії Modicon[5]. У цьому середовищі реалізовано повну логіку роботи автоматизованої системи вентиляції, включаючи обробку сигналів від датчиків, формування керуючих дій та реалізацію алгоритмів регулювання в режимі каскадного та одноконтурного керування.



Рисунок 4.1 Середовище розробки EcoStruxure Machine Expert

Програмне забезпечення контролера було реалізовано в середовищі EcoStruxure Machine Expert, яке використовується для розробки програм керування пристроями серії Modicon.

Логіка роботи системи створювалась у вигляді схеми функціональних блоків (FBD), де кожен блок відповідав за окремий функціональний елемент.

На початковому етапі було сформовано таблицю змінних, у якій задали основні параметри сигналів, а також виконано конфігурацію аналогових виходів програмованого логічного контролера рисунок 4.2.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			61
Зм.	Арк.		Дата			

LOWER BOARD						
Address	Name	Value	Um	Default	Min	Max
15725	Temp_UM	0=°C	num	0=°C	0	1
15726	Cfg_AI1	2=NTC(103AT)	num	2=NTC(103AT)	0	11
15727	Cfg_AI2	2=NTC(103AT)	num	2=NTC(103AT)	0	11
15728	Cfg_AI3	2=NTC(103AT)	num	2=NTC(103AT)	0	11
15729	Cfg_AI4	2=NTC(103AT)	num	2=NTC(103AT)	0	11
15730	Cfg_AI5	2=NTC(103AT)	num	2=NTC(103AT)	0	11
15731	Cfg_AI6	0=NTC(NK103)	num	2=NTC(103AT)	0	11
16100	Cfg_AI7	1=DI	num	2=NTC(103AT)	0	11
16101	Cfg_AI8	2=NTC(103AT)	num	2=NTC(103AT)	0	11
15748	Calibration_AI1	3=4-20mA	digit	0	-1000	1000
15749	Calibration_AI2	4=0-10V	digit	0	-1000	1000
15750	Calibration_AI3	5=0-5V(Ratiometric)	digit	0	-1000	1000
15751	Calibration_AI4	6=PT1000	digit	0	-1000	1000
15752	Calibration_AI5	7=hO(NTC)	digit	0	-1000	1000
15753	Calibration_AI6	8=daO(PT1000)	digit	0	-1000	1000
16118	Calibration_AI7	9=PTC	digit	0	-1000	1000
16119	Calibration_AI8	10=0-5V	digit	0	-1000	1000
15736	FullScaleMin_AI1	11=0-20mA	digit	0	-1000	1000
15737	FullScaleMax_AI1	0	digit	0	-1000	1000
15738	FullScaleMin_AI2	0	digit	0	-9999	9999
15739	FullScaleMax_AI2	1000	digit	1000	-9999	9999
15740	FullScaleMin_AI3	0	digit	0	-9999	9999

Рисунок 4.2 Таблиця змінних

Сигнали з датчиків отримуються за допомогою спеціальних функціональних блоків, які реалізовані в середовищі програмування у вигляді FBD-схем рисунок 4.3. Обробка аналогових сигналів відбувається через відповідні входи ПЛК, після чого дані передаються до логіки керування для подальшого використання в алгоритмах регулювання та контролю.

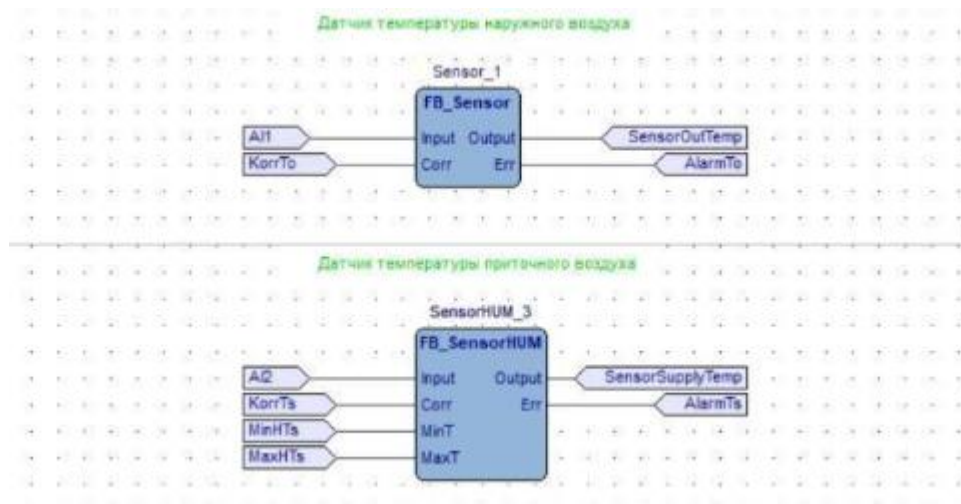


Рисунок 4.3 Реалізація датчиків температури

З метою підвищення надійності системи передбачено алгоритм контролю цілісності аналогового сигналу. На рисунку 4.4 представлена схема, яка реалізує перевірку показників з аналогового входу для виявлення можливого обриву або некоректної роботи датчика.

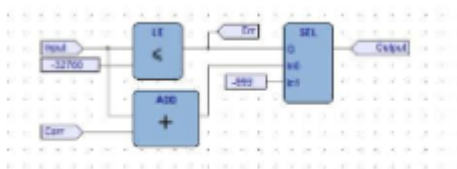


Рисунок 4.4 Блок обробки сигналу з терморезистора NTC 10k

На рисунку 4.5 наведено приклад обробки аналогового сигналу напругою 0–10 В, який надходить від зовнішнього сенсора або виконавчого пристрою на аналоговий вхід ПЛК.

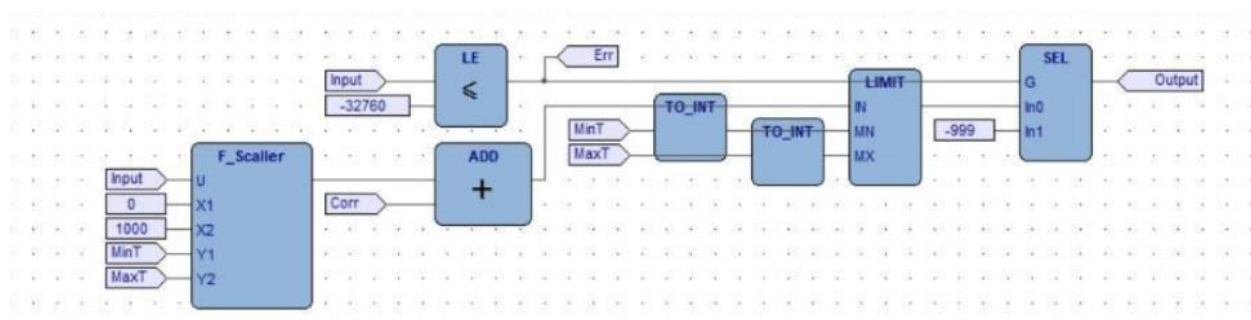


Рисунок 4.5 – Функціональний блок обробки аналогового сигналу 0–10 В

На рисунку 4.6 зображено фрагмент програми, що відповідає за формування, обробку та збереження аварійних станів у системі вентиляції. Основними джерелами аварій є обриви датчиків, критичні значення температури або тиску, а також сигнали про забруднення повітряних фільтрів.

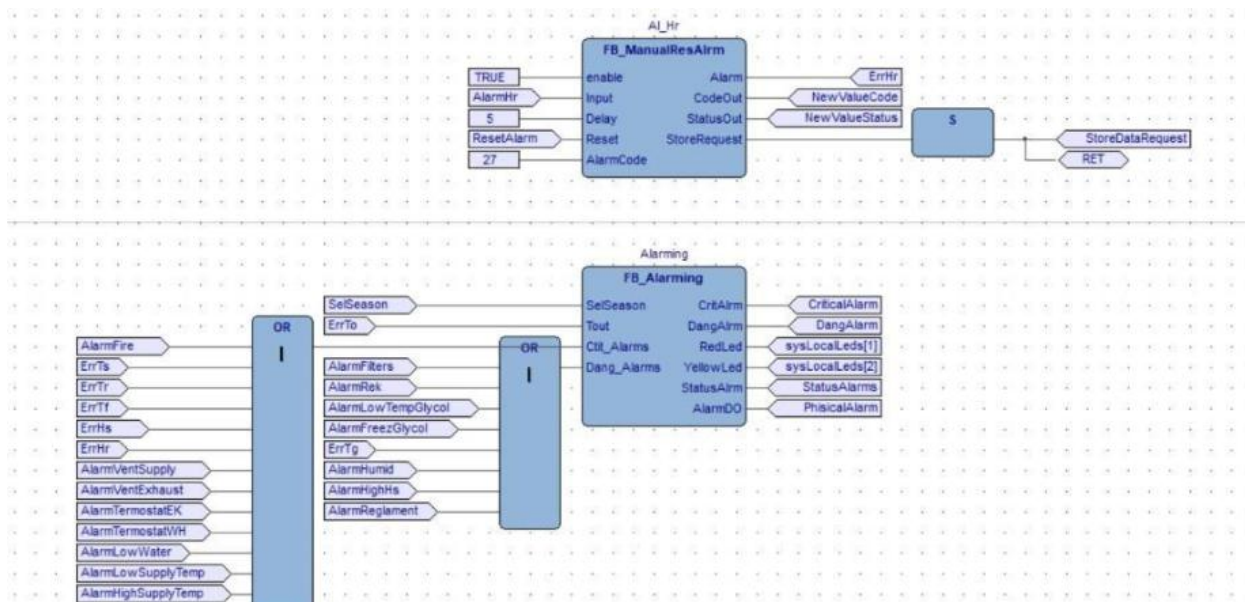


Рисунок 4.6 – Блоки аварій фільтрів та датчиків

На рисунку 4.7 зображено фрагмент програми, що відповідає за виявлення та обробку локальних аварій системи вентиляції. Зокрема, реалізовано алгоритми контролю спрацювання термостата водяного калорифера та відмови припливного вентилятора.

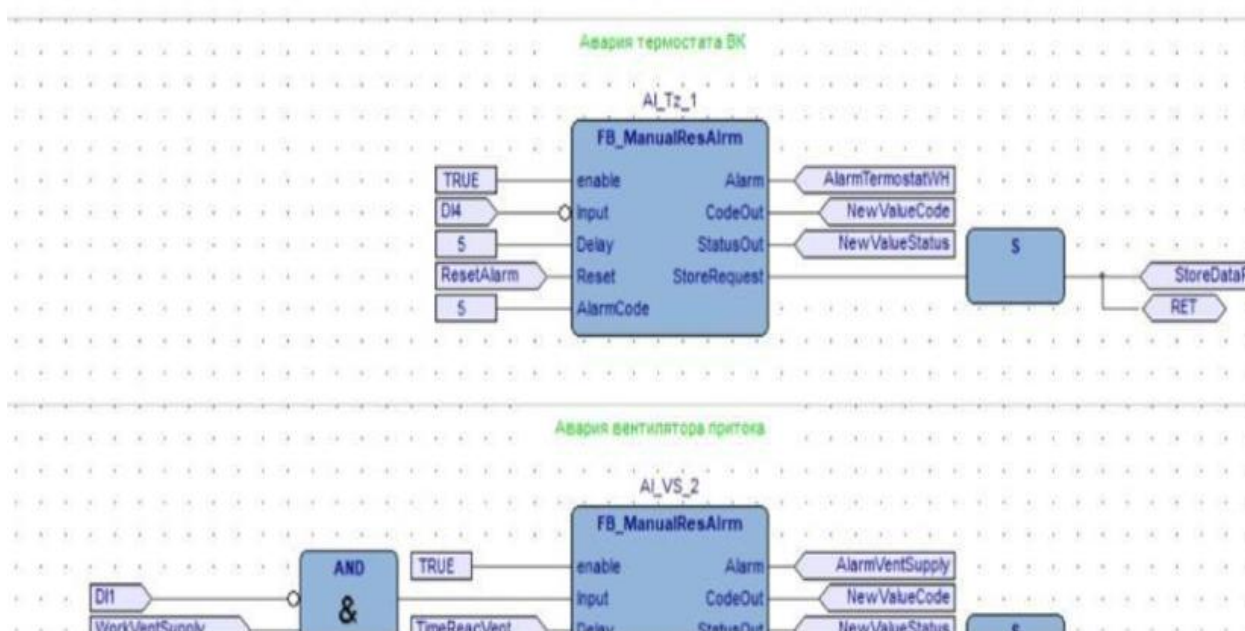


Рисунок 4.7 – Блоки аварій нагрівача та вентилятора

Вибір режиму роботи в залежності від температури навколишнього середовища. На рисунках 4.8 та 4.9 представлено фрагменти програми, які реалізують автоматичний вибір режиму роботи системи вентиляції відповідно до температури зовнішнього повітря.

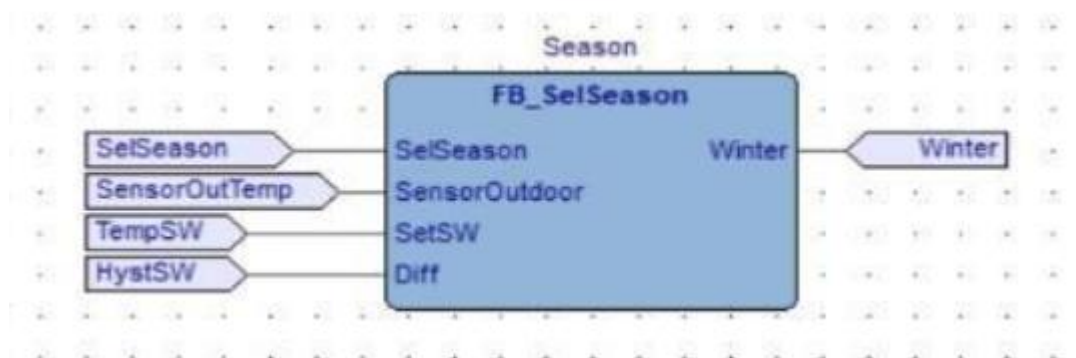


Рисунок 4.8 – Визначення режиму на основі навколишньої температури

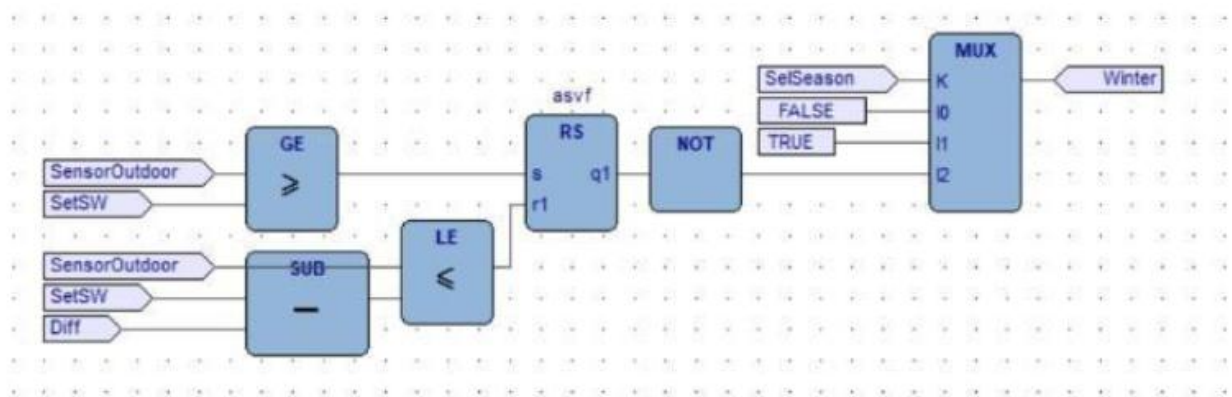


Рисунок 4.9 - Вибір сезонного стану

На рисунку 4.10 наведено реалізацію логіки керування вентиляційною установкою в залежності від обраного режиму роботи. Вибір між дистанційним керуванням, запуском за розкладом або ручним режимом.

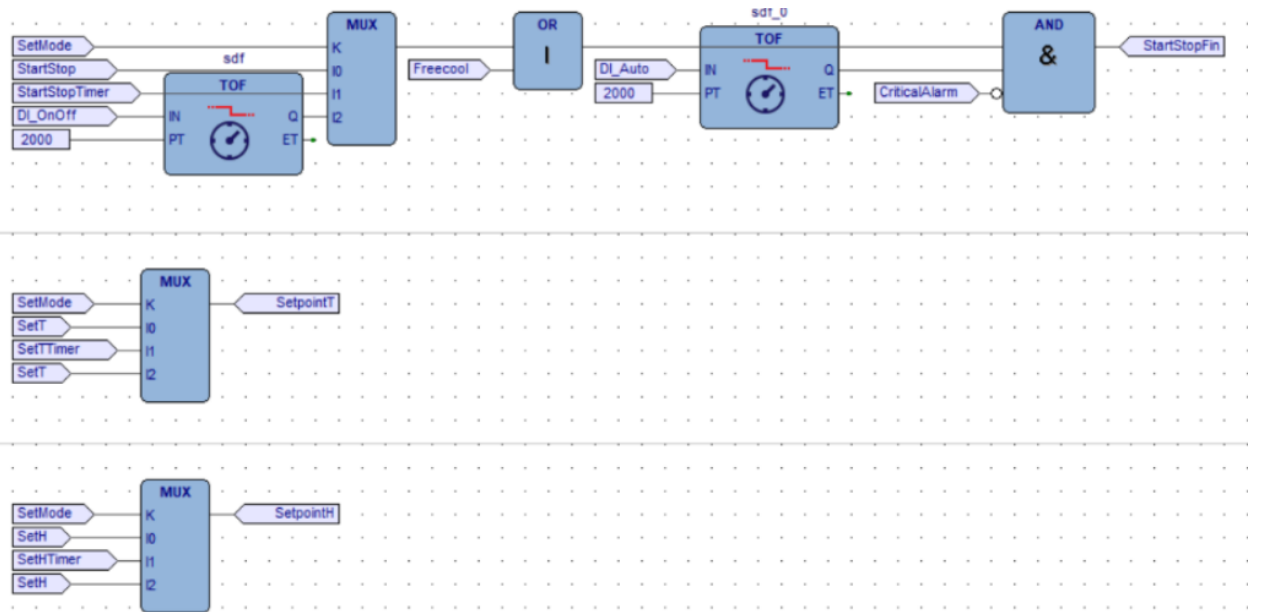


Рисунок 4.10 - Вибір режиму управління установки

На рисунку 4.11 представлено логіку керування виконавчими механізмами припливної та витяжної заслінок із забезпеченням послідовного запуску вентиляційних агрегатів.

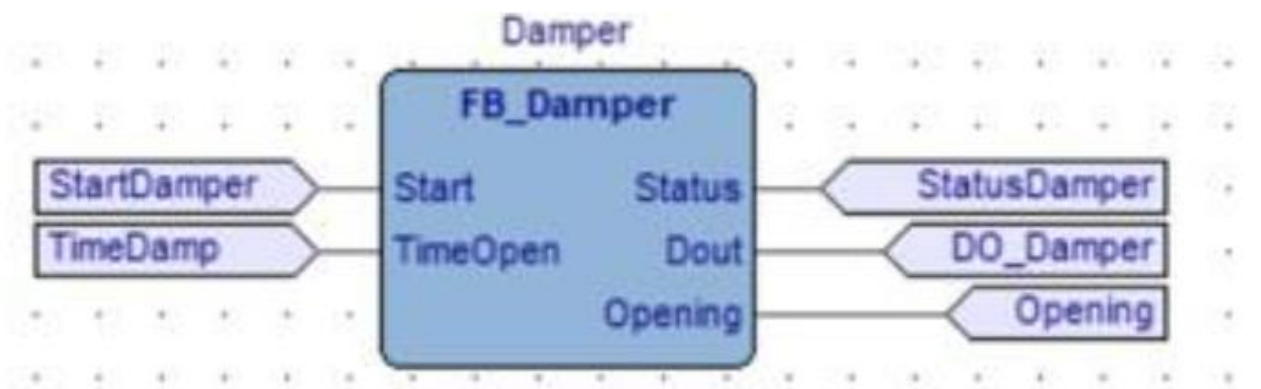


Рисунок 4.11 - Керування повітряними заслінками

Далі будут наведено узагальнену логіку функціонування ключових елементів припливно-витяжної вентиляційної установки рисунок 4.12

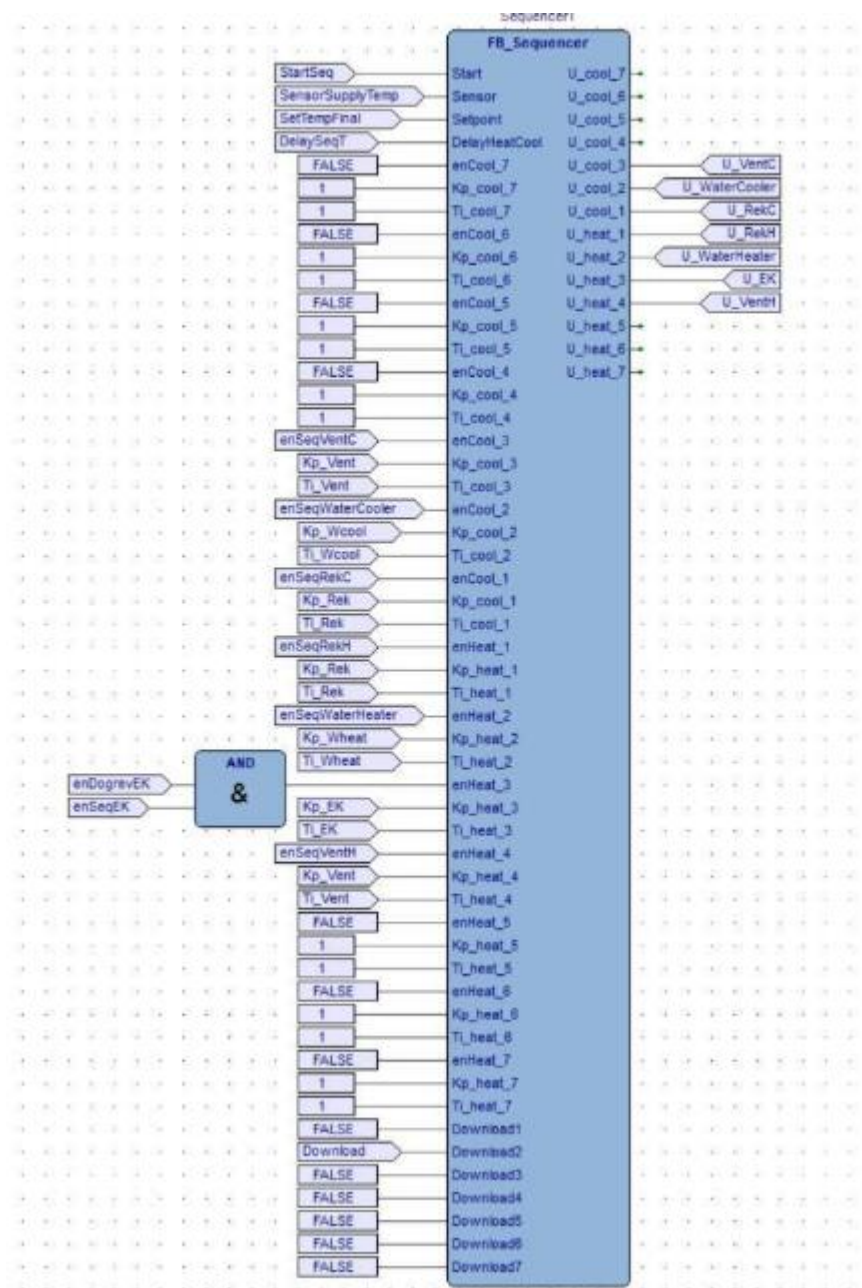


Рисунок 4.12 - Блок організації роботи елементів вентиляційної установки

На рисунку 4.12 представлено функціональний блок, що виконує загальну координацію роботи всіх основних елементів припливно-витяжної вентиляційної системи. Зокрема, реалізовано логіку увімкнення нагрівальних і охолоджувальних етапів, а також допоміжного обладнання, такого як рекуператор, водяний охолоджувач і нагрівач. В основі блоку використано модуль FB_Sequencer, який здійснює поетапне керування згідно з температурною уставкою, сигналами від датчиків, станом заслінок і

дозволами на роботу. Для кожного рівня охолодження та нагрівання передбачено окремі умови активації з можливістю налаштування пріоритету та затримок. Такий підхід дозволяє забезпечити стабільну та енергоефективну роботу системи вентиляції відповідно до поточного температурного режиму приміщення та зовнішнього середовища, уникати одночасного запуску всіх споживачів потужності та дотримуватись логіки технологічного запуску обладнання.

Розглянемо ФБ для гліколевого рекуператора рисунок 4.13.

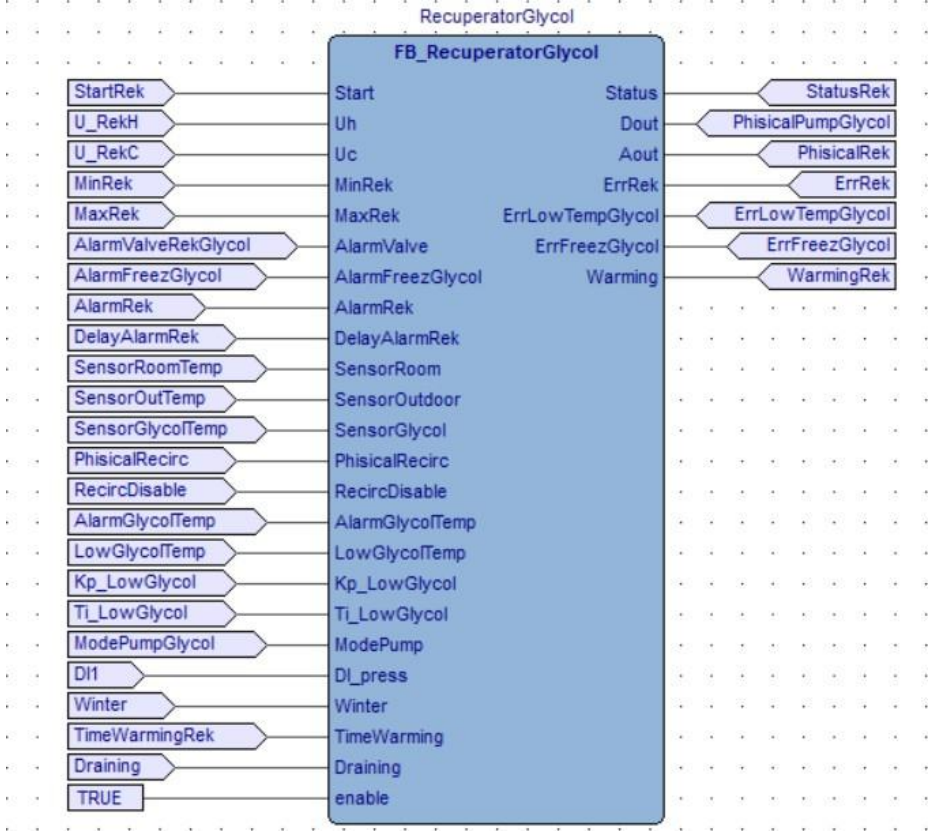


Рисунок 4.13 – Функціональний блок керування гліколевого рекуператора

Представлено програмну реалізацію алгоритму керування гліколевим рекуператором у системі вентиляції. Робота рекуператора активується автоматично у разі, якщо різниця температур між зовнішнім та витяжним повітрям перевищує 2 °С. Це дозволяє забезпечити доцільне використання рекупераційного теплообміну лише тоді, коли це справді енергетично виправдано.

У режимі охолодження, якщо температура витяжного повітря є нижчою за припливну уставку, контролер поступово збільшує сигнал на виконавчий механізм, що керує трьохходовим клапаном. Це призводить до збільшення подачі теплоносія через рекуператор, що відповідно підвищує ефективність охолодження.

У режимі нагрівання, коли уставка температури припливного повітря перевищує його поточне значення, алгоритм також поступово відкриває трьохходовий клапан, збільшуючи теплопередачу через рекуператор для попереднього підігріву повітря.

Циркуляційний насос рекуператора працює постійно у зимовий період, забезпечуючи безперервну подачу теплоносія. У режимі охолодження насос активується лише за наявності температурної різниці, що перевищує заданий поріг, що дозволяє зменшити енергоспоживання та продовжити ресурс насосного обладнання. Також передбачені сигнали тривоги, зокрема щодо низької температури теплоносія або аварійного стану виконавчих механізмів, які дозволяють вчасно реагувати на нестандартні ситуації та забезпечити безпечну експлуатацію установки.

Далі розглянемо на рисунку 4.14 ФБ керування водяним калорифером.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			69
Зм.	Арк.			Дата		



Рисунок 4.14 – Функціональний блок керування водяного калорифера

Функціональний блок FB_WaterHeater, який реалізує алгоритм керування водяним калорифером у складі припливно-витяжної вентиляційної установки. Основним завданням цього блоку є підтримання температури припливного повітря відповідно до уставки, що задається користувачем. Регулювання температури здійснюється за допомогою трьохходового клапана, відсоткове відкриття якого контролюється програмно.

У складі системи передбачено встановлення захисного термостата, що реагує на можливі аномалії температури, а також датчик температури води,

який дозволяє контролеру підтримувати необхідну температуру зворотного теплоносія. У режимі нагріву циркуляційний насос працює постійно, забезпечуючи безперервну циркуляцію води через теплообмінник.

Для запобігання аваріям, пов'язаним з обмерзанням теплообмінника, реалізовано захисну логіку, яка спрацьовує при надмірному охолодженні повітря або води. У таких випадках система примусово відкриває трьохходовий клапан на максимум, зупиняє роботу вентиляторів та переводить установку у безпечний режим.

Блок FB_Pump відповідає за активацію насосного обладнання. Усі параметри та температурні уставки можуть бути налаштовані окремо для зимового та міжсезонного режимів, що дозволяє точно адаптувати роботу калорифера до реальних умов експлуатації.

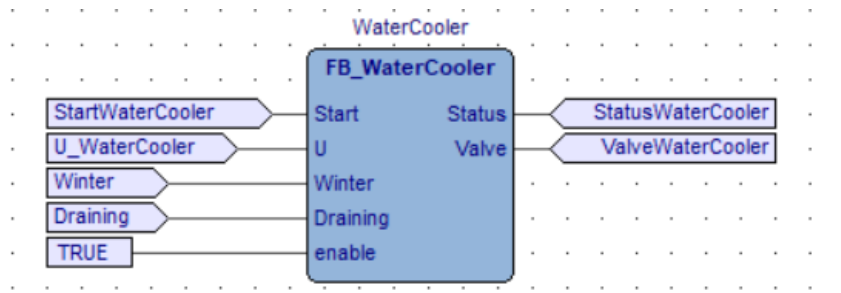


Рисунок 4.15 – Функціональний блок керування водяного охолоджувача

На рисунку 4.15 представлено функціональний блок FB_WaterCooler, який відповідає за роботу водяного охолоджувача шляхом керування трьохходовим клапаном. Блок активується лише у разі, якщо температура зовнішнього повітря перевищує температуру витяжного, що робить охолодження припливного повітря доцільним з точки зору енергоефективності.

Рівень відкриття клапана залежить від значення, сформованого регулятором у складі загальної логіки керування, з урахуванням температури, заданої уставки та зовнішніх умов. Блок також враховує сезонний режим: у

зимовий період або під час дренажу водяного контуру (наприклад, на технічному обслуговуванні) охолоджувач не активується.

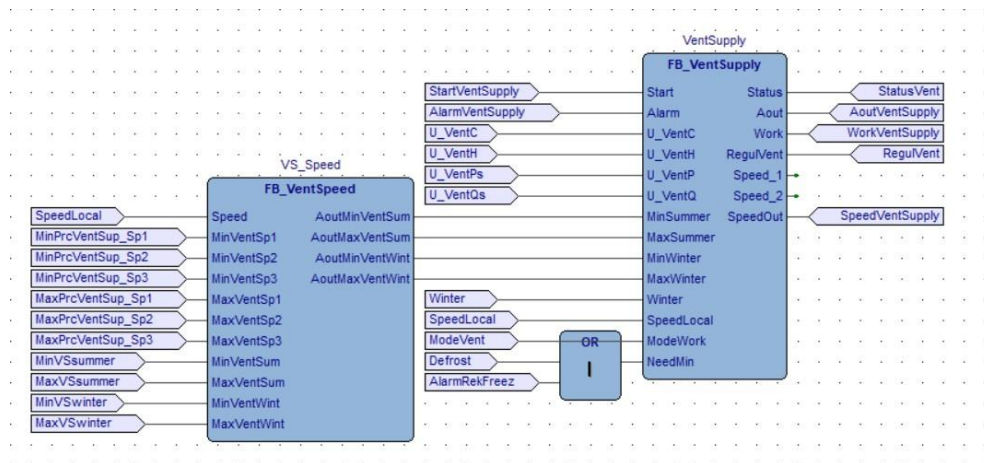


Рисунок 4.16 – ФБ керування вентиляторами

На рисунку 4.16 зображено структуру керування роботою вентилятора припливного повітря у температурозалежному режимі. В основі реалізації використано функціональні блоки FB_VentSpeed та FB_VentSupply, які відповідають відповідно за формування сигналу швидкості вентилятора та керування його станом.

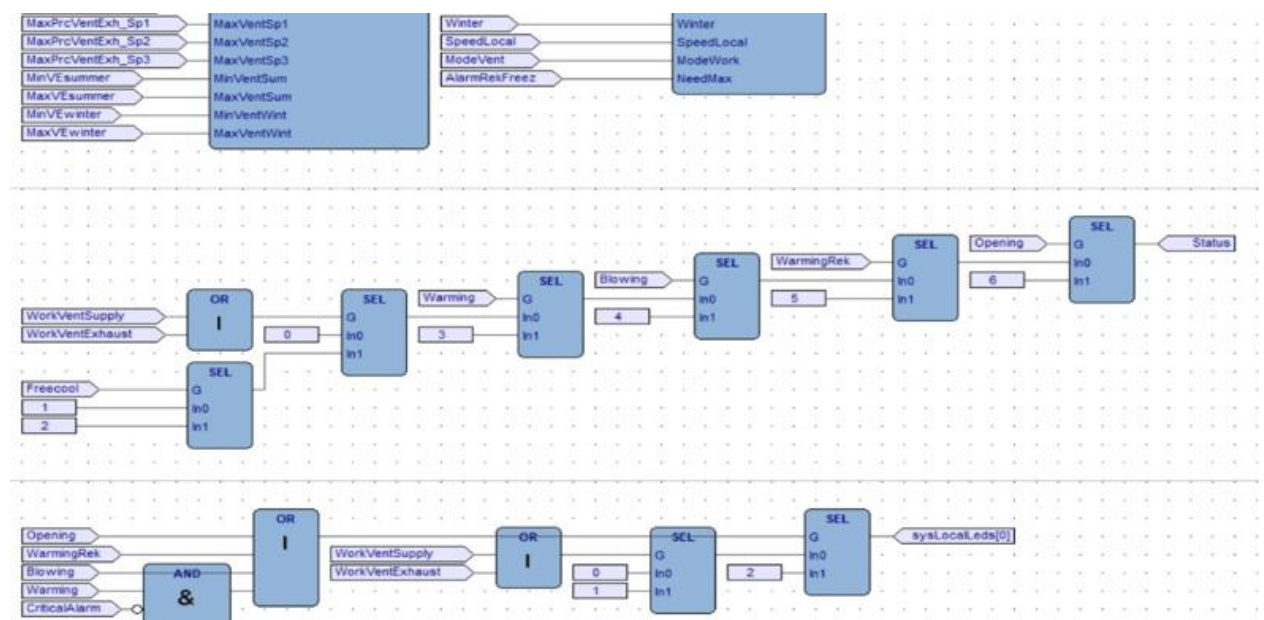


Рисунок 4.17 – Формування змінної загального стану системи та індикація на локальному світлодіоді

На рисунку 4.17 зображено логіку формування змінної, яка відображає загальний стан вентиляційної системи. Ця змінна надалі використовується для керування індикацією на локальному світлодіоді (sysLocalLeds). Алгоритм обробки станів базується на комбінації логічних умов та сигналів про активність основних функціональних блоків.

Рішення про поточний стан формується послідовно, з використанням блоків SEL, OR і AND, які поетапно аналізують такі умови, як: подача сигналу на роботу вентиляторів (WorkVentSupply, WorkVentExhaust), наявність аварій (CriticalAlarm), перебування системи в режимі нагріву або продувки (Warming, Blowing), а також статус рекуператора (WarmingRek) і сигналів відкриття заслінок (Opening).

Кінцевий результат індикації кодується числовими значеннями та передається до виходу через каскад селекторів SEL, формуючи відповідну команду на світлодіодну індикацію. Це дозволяє оператору швидко отримувати зворотний зв'язок про поточний стан системи – від нормальної роботи до попереджень або аварій. Такий підхід підвищує зручність обслуговування та діагностики, забезпечуючи візуальний контроль за функціонуванням вентиляційної установки без потреби у використанні НМІ або зовнішніх систем диспетчеризації.

4.2 Імітаційне програмування системи

У середовищі розробки передбачено можливість проведення симуляції, що дозволяє виконати попередню перевірку розробленого алгоритму керування припливно-витяжною установкою без підключення до реального обладнання. Це дає змогу виявити логічні помилки, перевірити реакцію системи на змінні вхідні сигнали та забезпечити базову валідацію програмного забезпечення ще на етапі розробки.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			73
Зм.	Арк.			Дата		

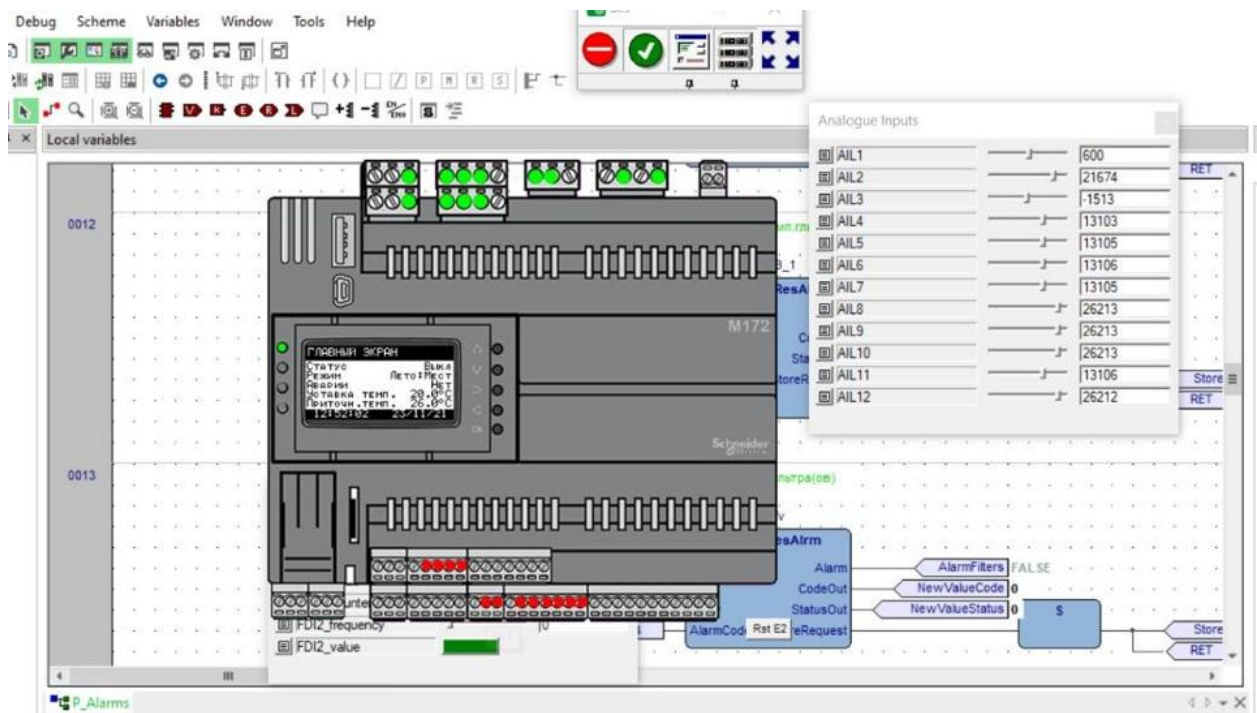


Рисунок 4.18 – Симуляція роботи контролера

Під час симуляції в середовищі розробки передбачено можливість вручну задавати значення аналогових датчиків, а також моделювати стани дискретних входів. Зокрема, це дозволяє імітувати отримання дозволу на запуск установки, виникнення аварійних ситуацій або зміну зовнішніх умов. Такий підхід забезпечує повноцінне моделювання роботи системи у різних сценаріях і дозволяє верифікувати поведінку програмної логіки ще до її впровадження на реальному об'єкті.

У процесі симуляції також передбачено можливість використання кнопок, що віртуально відображають фізичні кнопки, наявні безпосередньо на контролері. За їх допомогою реалізується навігація по меню контролера, що дозволяє перевірити логіку роботи інтерфейсу користувача, перемикання режимів, а також взаємодію з локальним меню без потреби підключення фізичного обладнання рисунок 4.19, 4.20.

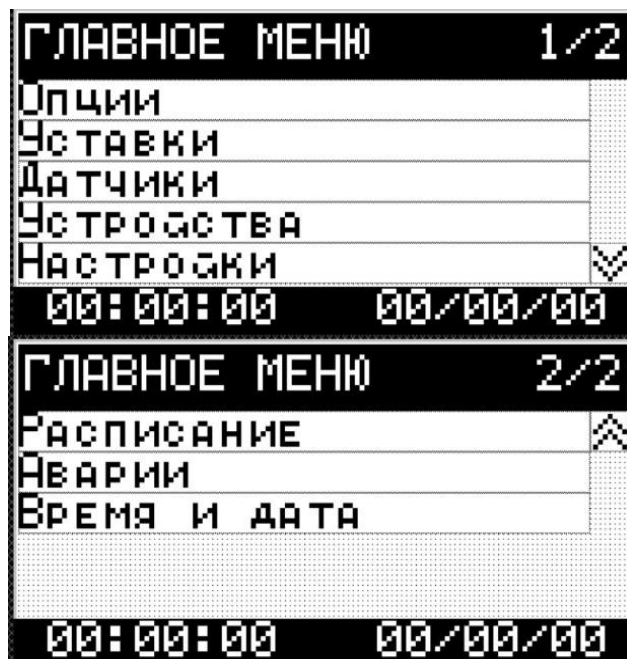


Рисунок 4.19 – Интерфейс головного меню

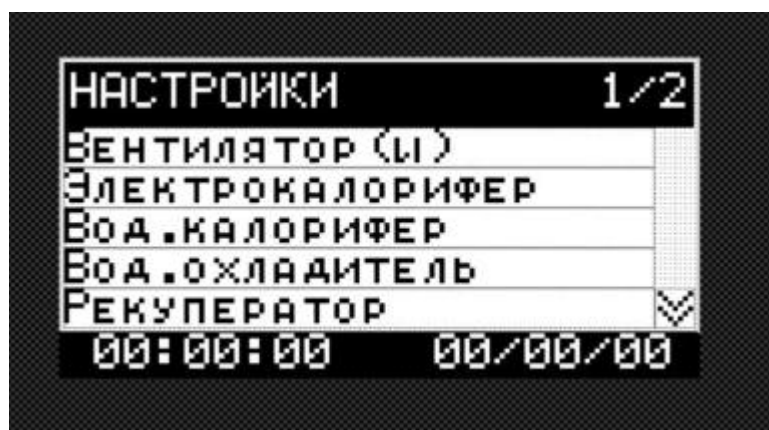


Рисунок 4.20 – Интерфейс головного меню наладки

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Вступна частина

Охорона праці — це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності людини в процесі трудової діяльності.

У межах дипломного проєкту, що стосується автоматизованої системи вентиляції в палаті лікарні, безпечна експлуатація устаткування, а також забезпечення нормативів мікроклімату є критично важливими. Особливістю даного проєкту є те, що система автоматизації обслуговує життєво важливі приміщення — пацієнтські палати лікарні, де порушення параметрів мікроклімату може призвести до негативного впливу на стан здоров'я осіб із зниженим імунітетом, тяжкими захворюваннями, післяопераційними ускладненнями. Тому необхідно враховувати не лише технічну надійність, а й чинники санітарно-гігієнічного та психофізіологічного впливу.

У даному розділі наведено технічні рішення та організаційні заходи, що забезпечують виконання нормативних вимог з безпеки експлуатації засобів автоматизації і технологічного устаткування, а також визначено основні заходи з гігієни праці, виробничої санітарії та пожежної безпеки і профілактики.

5.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації технологічного устаткування та засобів автоматизації

У дипломному проєкті реалізовано комплекс технічних рішень і організаційних заходів, спрямованих на забезпечення безпечної експлуатації автоматизованої системи вентиляції у палаті лікарні. Система складається з вентиляційної шафи, оснащеної контролером, датчиками температури, вологості, електроприводами заслінок, та аварійною сигналізацією.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			76
Зм.	Арк.			Дата		

Обладнання монтується у закриту металеву шафу типу ЩА зі ступенем захисту IP54, розміщену поза межами палати. Доступ до неї має лише кваліфікований персонал з відповідною групою електробезпеки. Управління вентиляційними агрегатами здійснюється дистанційно, що виключає необхідність ручного втручання в роботу обладнання.

Прийняті рішення базуються на нормативних документах:

- **ПУЕ-2017** — Правила улаштування електроустановок;
- **НПАОП 0.00-1.28-10** — Правила охорони праці під час експлуатації електроустановок;
- **ДСТУ Б В.2.5-82:2016** — Електробезпека в будівлях і спорудах;
- **ДБН В.2.5-67:2013** — Системи вентиляції та кондиціонування повітря;
- **ДБН В.1.1-7:2016** — Пожежна безпека об'єктів будівництва.

5.1.1 Електробезпека

Забезпечення електробезпеки є критично важливим аспектом при проєктуванні та експлуатації автоматизованих систем, особливо у медичних закладах, де йдеться про захист не лише персоналу, а й пацієнтів. У рамках даного проєкту — АСК вентиляції в палаті лікарні — усі компоненти системи працюють на електричній енергії, що потребує суворого дотримання вимог чинних нормативних актів з електробезпеки.

Основні документи, на яких ґрунтуються рішення щодо електробезпеки:

- **ПУЕ-2017** — Правила улаштування електроустановок;
- **НПАОП 40.1-1.21-98** — Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів;
- **НПАОП 40.1-1.01-97** — Загальні правила з охорони праці;
- **НПАОП 40.1-1.32-01** — Правила безпеки при виконанні робіт в електроустановках;

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			77
Зм.	Арк.			Дата		

- **ДСТУ ІЕС 61140:2015** — Захист від ураження електричним струмом;
- **ДСТУ Б В.2.5-82:2016** — Інженерне обладнання. Захисні заходи електробезпеки;
- **ДСТУ 7237:2011** — Безпека праці. Електротехнічні установки;
- **Постанова КМУ №1149 від 23.10.2009 р.** — Технічний регламент з безпеки низьковольтного електрообладнання.

Для живлення вентиляційного устаткування, засобів автоматизації, виконавчих механізмів (електроприводів), а також елементів керування використовується **трифазна електромережа 230/400 В з частотою 50 Гц**, з системою захисного заземлення **TN-C-S**. Розподільчі щити обладнані ввідними автоматичними вимикачами та пристроями захисного відключення.

Всі компоненти системи класифіковано за електробезпекою:

- Електродвигуни (при потребі), клапани та блок живлення засобів автоматизації — **I клас за електрозахистом**;
- ПЛК, давачі, операторські панелі — **II–III класи захисту** (залежно від типу і середовища експлуатації).

Усі технологічні пристрої повинні експлуатуватися у межах номінальних значень напруги та струму, вказаних у технічній документації виробника. З метою забезпечення безпеки передбачено комплекс технічних рішень:

- **Встановлено автомати максимального струмового захисту** з характеристиками відключення при перевантаженнях і коротких замиканнях;
- **ПЗВ (пристрої захисного вимкнення)** з номінальним струмом спрацювання до 30 мА (струм витоку) для захисту персоналу;
- **Усі металеві корпуси** електрообладнання з'єднані з контуром заземлення;

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			78
Зм.	Арк.		Дата			

- Корпуси ЕУ мають клас захисту не нижче **IP54**, враховуючи медичне призначення приміщення;
- Проводка виконана із **вогнестійким кабелем**, прокладеним у захисних трубах та лотках;
- Передбачено **контроль опору ізоляції** перед введенням в експлуатацію (ПТЕЕС);
- У розподільчому щиті **встановлено реле контролю фаз в електромережі**;
- На дверцятах щита встановлений **кінцевий вимикач**, який знеструмлює щит при відкритті;
- Робоче місце обслуговуючого персоналу обладнане **засобами індивідуального захисту**: діелектричними рукавичками, килимками, інструментом з ізоляцією;
- Освітлення БЩУ виконано згідно з **ДБН В.2.5-28:2018**, з урахуванням безпечного рівня освітленості в технічному приміщенні.

Для забезпечення безперервності функціонування контролера ПЛК та SCADA-системи передбачено **резервне живлення від UPS** (джерела безперебійного живлення), що гарантує безпечне завершення роботи при знеструмленні.

Таким чином, електробезпека в автоматизованій системі керування вентиляцією палати лікарні реалізована відповідно до чинного законодавства, галузевих стандартів і нормативних документів, що дозволяє забезпечити надійність і безпечність експлуатації в умовах медичного закладу.

5.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії

Завдяки використанню цифрових датчиків температури та вологості система реагує на відхилення параметрів у режимі реального часу. Це особливо важливо для пацієнтів із хронічними захворюваннями дихальних шляхів або після хірургічних

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			79
Зм.	Арк.			Дата		

втручань, для яких перегрів або переохолодження повітря може викликати ускладнення. Крім того, реалізовано функцію нічного режиму з пониженням інтенсивності вентиляції для зменшення шумового навантаження.

5.2.1 Мікроклімат робочої зони

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99, для приміщень палат лікарень у холодний період року температура повітря має знаходитись у межах 20–24°C, відносна вологість — 40–60%, швидкість руху повітря — не більше 0,2 м/с. Автоматизована система вентиляції дозволяє дотримуватися цих нормативів за допомогою встановлених датчиків температури, вологості та регулюючих елементів системи подачі повітря.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Згідно з вимогами ДСТУ EN 16798-3:2020 та ДБН В.2.5-67:2013, у палатах лікарень дозволяє досягтися подача очищеного повітря через припливно-витяжну вентиляцію. Використовуються фільтри класу F7 або вище. Максимально допустимий рівень CO₂ — не більше 1000 ppm згідно з ДСН 3.3.6.042-99.

5.2.3 Виробниче освітлення

Згідно з ДБН В.2.5-28:2018, рівень штучного освітлення в технічних приміщеннях (де розташоване технічні засоби) має бути не менше 300 лк. У палатах – 200 лк при люмінесцентному освітленні. Джерела світла захищені плафонами, розміщення світильників дозволяє досягти рівномірність освітлення.

5.2.4 Виробничий шум

Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99, рівень звуку в палатах не повинен перевищувати 35 дБА. Для зниження шуму вентиляційна установка змонтована в шумопоглинаючому кожусі, а самі повітроводи обладнані глушниками. Обладнання змонтовано на вібропоглинаючих опорах.

Також до заходів зі зниження шуму відноситься прокладання повітропроводів через гнучкі шумопоглинаючі вставки, використання вентиляторів з регульованими обертами та встановлення вентиляційних

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			80
Зм.	Арк.		Дата			

блоків у технічному приміщенні за звукоізолюючими стінами. Усі ці заходи дозволяють уникати збудження пацієнтів та сприяють нормалізації сну і відпочинку.

5.2.5 Виробничі вібрації

У системі автоматизованої вентиляції, встановленій у палаті лікарні, відсутні постійні джерела вібрації високої інтенсивності. Проте, для насосного або приводного обладнання, яке може бути використане у складі вентиляційного устаткування (наприклад, припливно-витяжні установки), передбачається установка на віброізолюючі подушки згідно з вимогами ДСН 3.3.6-039-99. Це дозволяє значно знизити передачу механічних коливань на будівельні конструкції, що важливо для забезпечення акустичного комфорту в палатах лікарні, особливо при лікуванні пацієнтів у важкому стані.

5.2.6 Електромагнітна сумісність та ЕМВ

У складі системи автоматизації використовуються пристрої з низьким рівнем електромагнітного випромінювання, зокрема ПЛК, кабелі, цифрові давачі та релейне обладнання. Усі елементи відповідають вимогам електромагнітної сумісності згідно ДСТУ EN 61000-6-2:2017.

У разі потреби реалізується екранування чутливих сигналів (наприклад, аналогових входів контролера) або встановлюються **фільтри ЕМС**.

Негативний вплив на персонал ЕМВ відсутній, оскільки рівні випромінювання не перевищують норм, установлених ДСНіП №239 та ДСНіП №476, і залишаються значно нижчими за гранично допустимі рівні (ГДР). Це гарантує безпеку для персоналу, що обслуговує систему, і виключає негативний вплив на медичне обладнання, розташоване поруч.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			81
Зм.	Арк.			Дата		

5.3 Пожежна безпека та профілактика

Евакуаційний план розміщено на вході до приміщення. Обслуговуючий персонал проходить щорічні інструктажі з пожежної безпеки, відповідно до вимог **НПАОП 0.00-4.12-05**. Також розглядається можливість встановлення протипожежних клапанів у вентиляційних каналах, що автоматично перекривають подачу повітря при задимленні.

6.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Згідно з вимогами ДБН В.1.1-7:2016 та НПАОП 0.00-1.28-10, усі вузли електричних мереж виконано із використанням негорючих або важкогорючих матеріалів. Всі проводи прокладено у вогнестійких кабель-каналах. Електричні пристрої мають захист від короткого замикання та перевантаження (автоматичні вимикачі типу C/D).

6.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Приміщення оснащено порошковим вогнегасником ВП-5, встановленим згідно з вимогами НАПБ Б.01.008-2018. Згідно вимог ДБН В.2.5-56-2014 передбачено застосування системи автоматичної пожежної сигналізації, яка у разі виникнення пожежі вимикає електроживлення системи вентиляції. Вентиляційні канали виготовлені з матеріалів з межею вогнестійкості EI60 згідно з **ДБН В.1.1-7:2016**.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			82
Зм.	Арк.			Дата		

РОЗДІЛ 6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

№ п/п	Назва обладнання	Од. виміру	К-ть	Ціна од./грн	Загальна вартість, грн
1	Датчик температури канальний, Belimo BELIMO 01DT-1LR	шт.	3	1500	4500
2	Датчик температури накладний 01HT- 1L	шт.	2	1500	3000
3	Диференціальний пресостат Sentera PS500 B	шт.	7	950	6650
4	Контактор, 2P, 25A, 220V	шт.	1	1500	1500
5	Контактор, LC1E0901M5	шт.	1	900	900
6	Вимикач автоматичний, R9F02106 1p B 6A	шт.	2	250	500
7	Автоматичний вимикач захисту двигуна MS25-2.5	шт.	1	1300	1300
8	Автоматичний вимикач R9F12106 1p C 6A	шт.	1	250	250
9	ПЛК, TM172PDG42R	шт.	1	10000	10000
10	Щит ЩШМ 700x600x300, Schneider	шт.	1	3000	3000
11	Вимикач навантаження ETI	шт.	1	200	200

12	Сервопривід повітряної заслонки GPC321.1A	шт.	2	10000	20000
13	Привід для шарового крана, Belimo LR24A-SR	шт.	2	6500	13000
14	Привід для шарового крана, Belimo TR24-SR	шт.	1	5200	5200
16	Вентилятор середнього тиску, ХВЗ ВЦ14-46	шт.	2	6000	18000
17	Частотний перетворювач, Altivar 212	шт.	2	12000	24000
18	Насос циркуляційний, TP 40-240/2 A-F-A-BQQE-IX1	шт.	1	7500	7500
19	DIN-рейка, IEK Ukraine YDN10-0060	шт.	3	35	105
20	Короб пластиковий, Укрем 40х40	м.	3	60	180
21	Колодка клемна захищена, IEK Ukraine БЗН ТС-604	шт.	1	100	100
22	Клемник, Phoenix Contact 3210567	шт.	1	200	200
23	Кабель силовий, Gal-Kat ВВГ 4х2.5	м.	70	21,51	1 626,5
24	Кабель контрольний, AGART KBВВГ 4х2.5	м.	150	24,67	3 701
25	Кабель контрольний, J-Y(St)Y 4х2х0.8	м.	100	17,88	1788

26	Кабель контрольний, J-Y(St)Y 2x2x0.8	м.	100	24,12	2 412
27	Кабель контрольний, J-Y(St)Y 1x2x0.8	м.	150	17,24	2586

Враховуючи специфіку об'єкта автоматизації, а саме – припливно-витяжну вентиляційну систему для приміщення медичного призначення, доцільно задатися допустимим терміном окупності інвестицій у межах 3 років. Такий термін вважається обґрунтованим для об'єктів соціальної інфраструктури, де важливими є не лише економічні показники, а й енергозбереження, надійність та забезпечення нормативних умов мікроклімату. Окупність у цьому діапазоні дозволяє поєднати ефективність витрат з досягненням стратегічних цілей закладу охорони здоров'я.

$$T_{\text{ок}} = 3 \text{ роки}$$

Загальна сума вартості всіх технічних засобів становить:

$$B_o = 132\,199 \text{ грн}$$

Витрати на встановлення компонентів системи:

$$B_m = B_o * 20\% = 132\,199 * 20\% = 26\,440 \text{ грн}$$

Витрати на проектні роботи, розроблення алгоритмів керування та програмування системи верхнього рівня:

$$B_{\text{пр}} = B_o * 5\% = 132\,199 * 5\% = 6\,610 \text{ грн}$$

Витрати на упаковку та доставку:

$$B_t = B_o * 3\% = 132\,199 * 3\% = 3\,966 \text{ грн}$$

Витрати на проведення пусконаладжувальних заходів:

$$B_{\text{пн}} = B_o * 10\% = 132\,199 * 10\% = 13\,220 \text{ грн}$$

Сукупність усіх витрат формує загальну вартість проекту:

$$\Delta K_{\text{авт}} = B_o + B_m + B_{\text{пр}} + B_t + B_{\text{пн}} = 182\,435 \text{ грн}$$

					Арк.
		№ докум.	Підпис		
Зм.	Арк.		Дата	ТА-12417.013.001.АТХ.П	85

Річні витрати на заробітну плату персоналу, грн/рік:

$$B_{\text{зп}} = B_{\text{п}} * T * N = 10\,000 * 12 * 2 = 240\,000 \text{ грн/рік}$$

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

T - кількість робочих місяців;

N - кількість працівників;

Витрати на оновлення обладнання (амортизаційні відрахування):

$$B_{\text{а}} = \Delta K_{\text{авт}} * 20\% = 182\,425 * 20\% = 36\,485 \text{ грн/рік}$$

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт системи:

$$B_{\text{р}} = \Delta K_{\text{авт}} * 50\% = 181\,425 * 50\% = 91\,213 \text{ грн/рік}$$

Витрати на споживання електричної енергії:

$$B_{\text{ел}} = T * N * C_{\text{е}} = 8760 * 1,5 * 1,34 = 17\,608 \text{ грн/рік}$$

Визначимо загальну суму додаткових витрат на експлуатаційне обслуговування системи:

$$\Delta B_{\text{авт}} = B_{\text{зп}} + B_{\text{ам}} + B_{\text{р}} + B_{\text{ел}} = 385\,306 \text{ грн}$$

Наступним кроком є розрахунок економії витрат після впровадження АСК за такою формулою:

$$\Delta U = E_{\text{к}} - \Delta B_{\text{авт}} = 450\,000 - 385\,306 = 64\,694 \text{ грн/рік}$$

Вирахуємо час окупності АСК:

$$T_{\text{ок}} = \frac{\Delta K_{\text{авт}}}{\Delta U} = \frac{182\,435}{64\,694} \approx 2 \text{ роки } 8 \text{ місяців}$$

У підсумку отриманий термін окупності є меншим за встановлене допустиме значення, що підтверджує економічну доцільність впровадження автоматизованої системи керування вентиляцією з рекуперацією тепла. Реалізація АСК дозволяє знизити експлуатаційні витрати, підвищити енергоефективність системи та забезпечити стабільні параметри мікроклімату у приміщеннях лікувального закладу.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			86
Зм.	Арк.		Дата			

ВИСНОВКИ

У межах дипломного проєкту було розроблено автоматизовану систему керування вентиляцією для лікарняної палати, що відповідає сучасним вимогам до забезпечення стабільного мікроклімату у приміщеннях медичного призначення.

У роботі здійснено повний цикл проєктування: від аналізу об'єкта до оцінки економічної ефективності впровадження. Сформульовано технічні вимоги до системи та обґрунтовано вибір обладнання, серед якого передбачено застосування припливно-витяжної установки з водяним калорифером, охолоджувачем і гліколевим рекуператором для підвищення енергоефективності.

На основі аналізу особливостей процесів тепломасообміну в системі вентиляції здійснено вибір типів САР – каскадних і одноконтурних – залежно від необхідного ступеня точності підтримання параметрів повітря. Для автоматизації обрано програмований логічний контролер Schneider Electric серії TM172PDG, а також відповідні датчики температури, тиску та виконавчі механізми для керування трьохходовими клапанами.

Розроблено електричну схему керування установкою, включаючи функціональні зв'язки між усіма пристроями. У середовищі програмування EcoStruxure Machine Expert реалізовано алгоритм керування на основі мови FBD, що охоплює всі логічні ланки системи: обробку аналогових і дискретних сигналів, контроль аварійних ситуацій, організацію запуску та зупинки елементів установки, вибір режимів роботи (ручний, автоматичний, за розкладом), керування заслінками, вентиляторами, рекуператором, а також індикацію загального стану системи. Для перевірки роботи розробленої логіки було використано вбудовану функцію симуляції, яка дозволила протестувати поведінку системи без реального обладнання, що є важливим на етапі налагодження.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			87
Зм.	Арк.			Дата		

Крім того, проведено техніко-економічний аналіз впровадження системи. Визначено вартість обладнання, монтажу, програмування, пусконаладжувальних робіт та подальшого обслуговування. Розраховано загальні експлуатаційні витрати та річну економію, яка досягає понад 65 тисяч гривень. Термін окупності впровадження системи становить менше трьох років, що підтверджує економічну доцільність автоматизації вентиляційного процесу у лікувальних приміщеннях.

Отримані результати свідчать про ефективність застосування автоматизованих систем вентиляції з рекуперацією тепла, що дозволяє не лише забезпечити комфортні умови для пацієнтів і медичного персоналу, але й знизити витрати на енергоспоживання та покращити екологічну стійкість системи. Таким чином, розроблена система має перспективу для подальшого впровадження як у лікарнях, так і в інших закладах з підвищеними вимогами до мікроклімату.

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			88
Зм.	Арк.			Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Climhouse. URL: <https://climhouse.com/blog/pritochno-vytyazhnye-ustanovki.-sostavlyajushhie-oborudovaniya.-filtraciya-vozduha.-preimushhestva.html>
2. Автоматизація технологічних процесів і систем автоматичного керування / Барало О. В., Самойленко П. Г., Гранат С. Є., Ковальов В. О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
3. Теорія автоматичного управління: Навчальний посібник [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»; уклад.: О. Й. Штрифан, П. В. Новіков, В. П. Бунь. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 144 с.
4. Belimo Automation AG. Temperature Sensor Type 01DT-1LR URL: https://www.belimo.com/lv/shop/ru_RU/%D0%94%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA%D0%B8-%D1%81%D1%87%D0%B5%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA%D0%B8/%D0%9A%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5-%D0%B4%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA%D0%B8-%28%D0%B2%D0%BE%D0%B7%D0%B4%D1%83%D1%85%D0%B0%29/01DT-1LR/p?code=01DT-1LR
5. ПЛК. URL : <https://www.se.com/ua/uk/product/TM172ODM42R/%D0%BA%D0%BE%D0%B%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%80-%D0%BC172-%D0%BE%D0%BF%D1%82-%D0%B7-%D0%B4%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D1%94%D0%BC-42-%D0%B2%D1%85-%D0%B2%D0%B8%D1%85-2-rs485-%D0%B7-%D1%96%D0%B7%D0%BE%D0%BB%D1%8F%D1%86%D1%96%D1%94%D1%8E/>

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			89
Зм.	Арк.			Дата		

6. ДСТУ EN ISO 12100:2014 Безпека машин. Загальні принципи проектування. Оцінювання ризику та зменшення ризику. <https://online.budstandart.com>
7. ДБН А.3.2-2-2009 Охорона праці і промислова безпека в будівництві. Основні положення. URL: [https://dbn.co.ua/load/normativ/dbn/dbn_a_3_2_2_2009/1-1-0-528\[6\]](https://dbn.co.ua/load/normativ/dbn/dbn_a_3_2_2_2009/1-1-0-528[6])
8. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартів безпеки праці. Шум. Загальні вимоги безпеки. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012216>
9. Наказ МОЗ України №400 від 10.12.93 Про затвердження державних санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0400282-93#Text>
10. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. Проектування інженерних систем. URL: https://dbn.co.ua/load/normativ/dbn/dbn_v_2_5_67_2013/1-1-0-117

					ТА-12417.013.001.АТХ.П	Арк.
		№ докум.	Підпис			90
Зм.	Арк.			Дата		