

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматичної, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## **Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему Автоматизація установки Aerostar ПВ2 в лабораторії

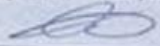
Національного університету імені Юрія Кондратюка

Виконав: студент 4 курсу, групи 401-МЕ

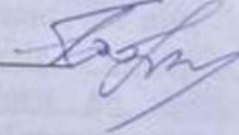
спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Слинько М.О. 

(прізвище та ініціали)

Керівник: Бороздін М.К. 

(прізвище та ініціали)

Рецензент: Зелиб М.В.

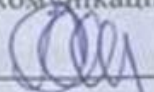
(прізвище та ініціали)

Полтава - 2024 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
 Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та  
 робототехніки  
 Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій  
 Ступінь вищої освіти Бакалавр  
 Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та  
 електромеханіка»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри  
 автоматки, електроніки та  
 телекомунікацій

 О.В.Шефер

«01» квітня 2024 р.

### ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРУ СТУДЕНТУ

**Слинько Максим Олександрович**

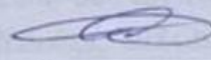
- Тема роботи «Автоматизація установки Aerostar ПВ2 в лабораторії  
 Національного університету імені Юрія Кондратюка»  
 керівник роботи Бороздін Микола Кирилович, к.т.н., доцент  
 затверджена наказом вищого навчального закладу від 08.12.2024  
 року  
 № 1421/1-фа
- Строк подання студентом проекту (роботи) 10.06.2024 р.
- Вихідні дані до проекту (роботи) Вихідними даними є зарубіжна  
 література про теплообмінники та електричних кіл.
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно  
 розробити). Вступ. Аналітичний огляд видів теплообмінників та принцип їх  
 роботи Переваги та недоліки теплообмінників. Вимоги до системи  
 автоматизації. Надійність та енергоефективність САК. Вивчення сигналу  
 кнопки установки. Висновки до розділів.
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових  
 плакатів):  
 Загально функціональна схема пульта управління установки рекуперації;  
 Монтажна схема пульта управління установки рекуператора; Електрична

схема Arduino UNO R3 Електрична схема реле модуля; Принципова схема роботи рекуператора; Технологічні потоки рекуператора; Електрична схема автоматизування; Монтажна схема САК;  
6. Дата видачі завдання 01.04.2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		Дата	Кв.	Відсоток	
1	Вступ. Аналітичний огляд видів теплообмінників та принцип їх роботи.	25.04.24	I	20%	Пл. 1
2	Особливості використання та підключення датчиків. Принципи проектування системи автоматизації. Види та інформація датчика. Висновки за розділом та постановка завдань кваліфікаційної роботи.	08.05.24		40%	Пл. 2,3
3	Розрахунок та вибір обладнання САК	23.05.24	II	60%	Пл. 4,5
4	Підключення всієї установки та висновок до 2 розділу.	30.05.24		80 %	Пл. 6
5	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	10.06.24	III	100%	Пл. 7,8

Студент



Слинько М.О.

( підпис )

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



Бороздін М.К.

( підпис )

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи бакалавра

### **"Автоматизація установки Aerostar ПВ2 в лабораторії Національного університету імені Юрія Кондратюка "**

Робота містить 59 сторінок, 5 ілюстрацій, 13 використаних джерел.

Предметом дослідження кваліфікаційної роботи є рекуперації на установка Aerostar . Об'єктом дослідження є розроблення системи автоматичного управління установки .

Розроблена система автоматичного управління рекуперації повітря дозволяє не тільки забезпечити потрібні параметри, а також якісно підвищити надійність функціонування як окремих елементів системи управління, так і одного елемента в цілому.

Використання в схемі управління простих та надійних компонентів ми досягнемо зменшенню загазованості в приміщеннях, що збільшить людську корисну дію .

Робота має практичну цінність і її результати після більш детальної доробки можуть бути розглянуті для використання у даній аудиторії .

## ABSTRACT

bachelor's qualification work

### **"Automation of the Aerostar PV2 installation in the laboratory of the Yuriy Kondratyuk National University"**

The work contains 59 pages, 5 illustrations, 13 used sources.

The subject of the study of the qualification work is recuperation on the Aerostar installation. The object of the research is the development of the system of automatic control of the installation.

The developed system of automatic control of air recovery allows not only to provide the required parameters, but also to qualitatively increase the reliability of the functioning of both individual elements of the control system and one element as a whole.

By using simple and reliable components in the control scheme, we will achieve a reduction in gas emissions in the premises, which will increase the human beneficial effect.

The work has practical value and its results after more detailed refinement can be considered for use in this audience.

## Зміст

Вступ.....	7
1 Аналітична частин.....	10
1.1 Аналітичний огляд видів теплообмінників та принцип їх роботи.....	10
1.2 Особливості використання та підключення датчиків.....	18
1.3 Принципи проектування системи автоматизації.....	22
1.4 Види та інформація датчиків.....	24
1.5 Висновки за розділом та постановка завдань кваліфікаційної роботи.....	27
2 Розрахункова частина.....	29
2.1 Розрахункові навантаження рекуператора.....	29
2.2 Зональне регулювання.....	31
2.3 Вимоги до системи автоматизації.....	33
2.4 Надійність та енергоефективність САК.....	34
2.5 Моніторинг та діагностика стану установки.....	35
2.6 Аспекти оцінки економічної ефективності установки.....	37
2.7 Повітряний обмін відносно кількості людей.....	38
2.8 Визначення оптимальної кількості датчиків.....	40
2.9 Розрахункові дані установки.....	43
2.10 Розрахунок кількості газу, яка може накопичитися в приміщенні.....	44
2.11 Розрахунок витрати повітря для розведення газу до безпечного рівня.....	47
2.12 Розрахунок енергоспоживання системи.....	48
2.13 Витрати на компоненти.....	48
2.14 Ефективність використання ресурсів.....	50
2.15 Вивчення сигналу кнопки.....	51
2.16 Підключення САК.....	54
2.17 Висновок до 2 частини.....	59
Висновок.....	61
Список використаної літератури.....	63
Додатки.....	64

## ВСТУП

Рекуперація є одним із ключових процесів, що використовується для підвищення ефективності використання теплової енергії в різних галузях промисловості та енергетики. Цей процес базується на відновленні і використанні тепла, яке раніше витрачалось безповоротно або відводилося в атмосферу. Рекуперація дозволяє економити значні обсяги палива та зменшує викиди шкідливих речовин, що робить його надзвичайно важливим у сучасних умовах підвищених енергетичних потреб та вимог до екологічно чистого виробництва.

На сьогоднішній день питання збереження енергії та покращення енергоефективності стають все більш актуальними, особливо у зв'язку з підвищенням вартості енергоресурсів та зростанням обсягів викидів парникових газів. Використання рекуперації дозволяє значно зменшити споживання палива та викиди CO<sub>2</sub> та інших шкідливих речовин, що стає важливим екологічним аспектом сучасних технологічних процесів.

Метою даної дипломної роботи є аналіз та систематизація інформації про рекуперацію як метод підвищення енергоефективності, визначення основних переваг та недоліків цього процесу, а також вивчення практичних аспектів його впровадження в різних галузях. Серед завдань дослідження можна виділити

- аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку рекуперації в світі та в Україні;

- визначення основних типів та принципів роботи рекупераційного обладнання

- аналіз плюсів та мінусів використання рекуперації у порівнянні з іншими методами збереження енергії;

- вивчення практичних аспектів впровадження рекуперації в промисловість та енергетику.

Робота має наукову новизну та внесе важливий внесок у розвиток теорії та практики використання рекуперації в умовах сучасної промисловості. Отримані результати можуть бути корисними для підприємств та організацій, які прагнуть підвищити свою конкурентоспроможність та зменшити негативний вплив на довкілля.

На сьогоднішній день питання збереження енергії та покращення енергоефективності стають все більш актуальними, особливо у зв'язку з підвищенням вартості енергоресурсів та зростанням обсягів викидів парникових газів. Використання рекуперації дозволяє значно зменшити споживання палива та викиди CO<sub>2</sub> та інших шкідливих речовин, що стає важливим екологічним аспектом сучасних технологічних процесів.

Україна, як і багато інших країн, стикається із проблемою енергоефективності та енергозалежності. Рекуперація може стати одним із ефективних інструментів для зменшення споживання енергії та зниження викидів, що відповідає стратегічним цілям української енергетичної політики.

Крім того, розвиток та впровадження енергоефективних технологій, зокрема рекуперації, сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємств та забезпеченню сталого економічного зростання країни в цілому.

Таким чином, дослідження проблеми рекуперації теплової енергії має важливе значення як для науково-технічної спільноти, так і для практичного впровадження енергоефективних рішень в різних галузях економіки.

Історія рекуперації повітря сягає коріння у XIX столітті, коли винахідник Вільям Хедлі створив перші теплообмінні пристрої для використання у системах вентиляції та кондиціонування повітря. У 1849 році він опублікував свою роботу про теплообмінник, який використовувався для нагріву або охолодження повітря, що поступало у будівлю.

Протягом наступних десятиліть технологія рекуперації повітря постійно розвивалася. У 1930-х роках були винайдені перші ротарні теплообмінники, які дозволяли ефективно передавати тепло між вихідним та вихідним потоками повітря. Ці технології стали широко використовуватися у системах вентиляції та кондиціонування приміщень.

У 1970-80-х роках з появою проблеми з енергозбереженням та зростанням уваги до екології, рекуперація повітря стала особливо актуальною. Сучасні технології дозволяють досягти високої ефективності рекуперації тепла, зменшуючи споживання енергії та викиди шкідливих речовин у атмосферу.

Сьогодні рекуператори використовують різні типи теплообмінників, такі як пластинчасті, ротарні або теплообмінні блоки з керамічним покриттям, для ефективного передавання тепла між повітряними потоками. Це дозволяє підвищити енергоефективність систем вентиляції та кондиціонування та створити комфортні та здорові умови у приміщеннях.

## 1 Аналітична частина

### 1.1 Аналітичний огляд видів теплообмінників та принцип їх роботи

У рекуперації повітря можуть використовуватися різні типи теплообмінників, або "начинки", для ефективного передавання тепла відпрацьованого повітря свіжому повітрю. Ось деякі з найпоширеніших типів "начинки" у рекуператорах.

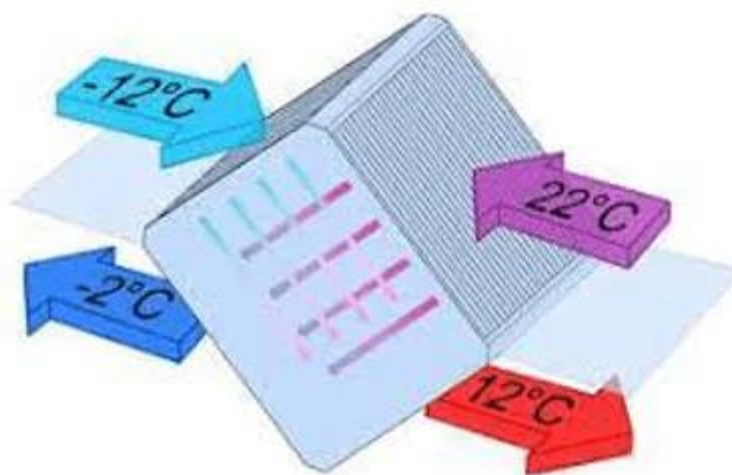


Рисунок 1- Робота Пластинчастого Теплообмінника

Пластинчаті теплообмінники. Цей тип теплообмінника складається з плоских пластин, які забезпечують велику поверхню контакту між відпрацьованим та свіжим повітрям. Повітряні потоки проходять по різних сторонах пластин, де відбувається теплообмін. Пластинчасті рекуператори використовуються для ефективного обміну тепла між двома різними потоками повітря або рідини. Вони можуть мати різні конструкції, в залежності від потреб застосування. Основні форми і види пластинчастих рекуператорів включають.

Пластинчасті теплообмінники з перехресним потоком. У цих рекуператорах потоки повітря або рідини рухаються перпендикулярно один

до одного, що дозволяє ефективно обмінювати тепло. Ця конструкція забезпечує високу теплопередачу при компактних розмірах.

Пластинчасті теплообмінники з паралельним потоком. Потоки рідини або повітря рухаються паралельно один до одного, що також дозволяє ефективно обмінювати тепло. Вони можуть бути менш компактними, але зазвичай менш ефективними, ніж рекуператори з перехресним потоком.

Пластинчасті рекуператори з зігнутими каналами. У цій конструкції кожна пластина має зігнуті краї, що створює канали для руху повітря або рідини. Це дозволяє збільшити поверхню теплообміну і підвищити ефективність рекуператора.

У конструкції канали можуть змінювати свою форму або ширину, що дозволяє регулювати обсяг теплообміну в залежності від умов.

Пластинчасті рекуператори з додатковими пластинами. До основних пластин додаються додаткові пластини, що збільшує поверхню теплообміну і підвищує ефективність рекуператора.

Кожен тип має свої переваги та недоліки, і вибір конкретної конструкції залежить від конкретних вимог застосування.

Отже, розглянемо основні види пластинчастих рекуператорів разом з їх перевагами і недоліками

Пластинчасті теплообмінники з перехресним потоком

Переваги:

- Висока ефективність теплообміну.
- Компактні розміри.
- Можливість використання в широкому діапазоні температур і тисків.

Недоліки:

- Висока вартість.
- Потреба в регулярному обслуговуванні та чищенні.

Пластинчасті теплообмінники з паралельним потоком

Переваги:

-Простота конструкції.

-Можливість використання в системах з великими об'ємами рідини або повітря.

Недоліки:

-Низьша ефективність теплообміну порівняно з перехресним потоком.

-Більші розміри порівняно з перехресним потоком.

Пластинчасті рекуператори з зігнутими каналами

Переваги:

-Збільшена поверхня теплообміну.

-Висока теплопередача при великих об'ємах.

Недоліки:

-Складність конструкції та виготовлення.

-Підвищені втрати тиску.

Пластинчасті рекуператори зі змінними каналами

Переваги:

-Можливість регулювати ефективність теплообміну в залежності від умов.

-Економія енергії.

Недоліки:

-Складність конструкції та виготовлення.

-Вища вартість.

Пластинчасті рекуператори з додатковими пластинами

Переваги:

-Підвищена ефективність теплообміну.

-Зменшення розмірів установки.

Недоліки:

-Потреба в обслуговуванні та чищенні.

-Збільшені втрати тиску.

Кожен тип рекуператора має свої унікальні характеристики, і вибір варіанту повинен базуватися на конкретних потребах і умовах експлуатації.

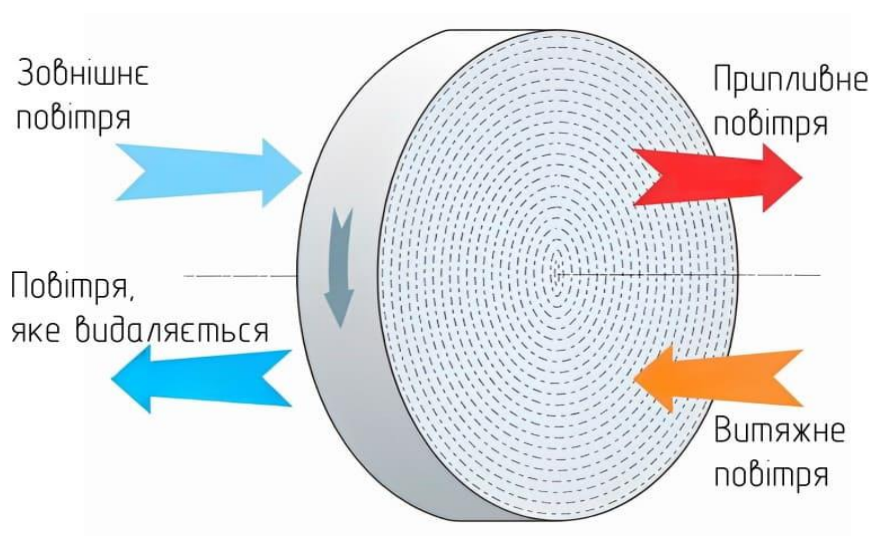


Рисунок 2- Роторний Теплообмінник

Роторні теплообмінники складаються з ротора або колеса, яке обертається між двома потоками повітря. Ротор містить матеріал із високою теплоємністю, наприклад, керамічні пластини, які дозволяють ефективно передавати тепло відпрацьованого повітря свіжому.

Трубчасті теплообмінники складаються з внутрішніх трубок, через які прокладається відпрацьоване повітря, і зовнішніх трубок, через які прокладається свіже повітря. Тепло передається через стінки трубок.

Комбіновані теплообмінники можуть використовувати комбінацію різних типів теплообмінників, таких як пластинчаті теплообмінники для одного потоку повітря і трубчасті для іншого, для оптимального теплообміну.

Ці типи "начинки" можуть бути використані в різних конфігураціях для досягнення бажаного рівня теплообміну та енергоефективності в рекупераційних системах.

Ось переваги та недоліки різних видів рекуператорів

### Теплообмінні (проточні) рекуператори

#### Переваги:

- Висока ефективність теплообміну.
- Можливість використання для вентиляційних систем будь-якої потужності.
- Низька вартість в порівнянні з іншими типами рекуператорів.

#### Недоліки:

- Потребують регулярного технічного обслуговування та очищення теплообмінника.
- Можливість перехоплення запахів, якщо не використовується фільтрація повітря.

### Рекуператори зі змішаним потоком

#### Переваги:

- Підвищена ефективність теплообміну через змішування потоків повітря.
- Зменшення ризику перехоплення запахів.

#### Недоліки:

- Вища вартість порівняно з проточними рекуператорами.
- Підвищений рівень шуму через змішування повітряних потоків.

### Пластинчаті рекуператори

#### Переваги:

- Велика площа теплообміну у невеликому об'ємі.
- Висока теплообмінна ефективність.
- Можливість легкої регулювання ефективності шляхом зміни кількості пластин.

#### Недоліки:

- Вимагають регулярного очищення та обслуговування.
- Вища вартість порівняно з іншими типами.

### Трубчасті рекуператори

Переваги:

- Довговічність та надійність.
- Можливість використання у високотемпературних умовах.

Недоліки:

-Обмежена ефективність теплообміну через обмежену площу поверхні теплообміну.

-Підвищений ризик замерзання теплообмінника при низьких температурах.

Автоматичні рекуператори

Переваги:

-Автоматичне регулювання роботи для забезпечення оптимальних умов комфорту та енергоефективності.

-Можливість економії енергії через оптимізацію роботи.

Недоліки:

-Вища вартість через наявність додаткових електронних компонентів.

-Потреба у регулярному технічному обслуговуванні та можливість виникнення поломок в електронних компонентах.

Роторні рекуператори - це тип рекуператорів, які використовуються для ефективного теплообміну між потоками повітря. Основним елементом роторних рекуператорів є ротор або колесо, яке обертається і містить в собі матеріал із високою теплоємністю, наприклад, керамічні або полімерні пластини.

Переваги:

-Висока ефективність теплообміну завдяки великій площі контакту між потоками повітря.

-Можливість регенерації тепла, що дозволяє використовувати тепло, яке втрачається при видаленні витратного повітря, для нагріву свіжого повітря.

-Можливість застосування в системах з високими температурами або умовах з високою вологістю.

Недоліки:

-Потреба у регулярному обслуговуванні та очищенні ротора для підтримання ефективності.

-Вища вартість порівняно з іншими типами рекуператорів.

-Потреба у додатковому просторі для встановлення роторного рекуператора через його розміри.

Водяний рекуператор - це термін, який може бути застосований до різних систем, проте, як він використовується в контексті вентиляції та теплообміну, це може вказувати на використання водяного або глікольного розчину як теплоносія у теплообмінному процесі. Такі системи зазвичай використовуються для теплообміну вентиляційного повітря, де тепло передається з витяжного потоку до свіжого повітря, яке поступає в приміщення.

Переваги водних рекуператорів можуть включати:

-Висока теплообмінна ефективність завдяки високій теплоємності води чи гліколю.

-Можливість використання для контролю вологості повітря, оскільки вологість може бути також передана від витяжного потоку до свіжого повітря.

-Можливість використання у системах з низькими температурами, де вода або гліколь можуть залишатися у рідкому стані.

Недоліки можуть включати:

-Підвищену складність системи через наявність теплообмінника та системи циркуляції теплоносія.

-Потребу в регулярному обслуговуванні та контролі рівня та якості теплоносія.

-Вищі витрати енергії на циркуляцію теплоносія порівняно з повітряними рекуператорами.

Загалом, водні рекуператори можуть бути ефективними у відновленні тепла та вологи, але вимагають додаткових систем та обслуговування.

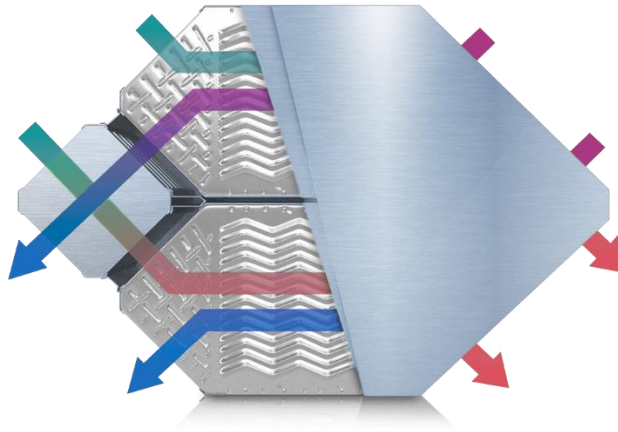


Рисунок 3- Комбінований Теплообмінник

Комбіновані теплообмінники поєднують у собі різні типи теплообмінників (наприклад, пластинчаті і трубчасті) для досягнення оптимального теплообміну. Вони мають свої переваги і недоліки

Переваги комбінованих теплообмінників:

-Висока ефективність теплообміну

-Комбінація різних типів теплообмінників дозволяє досягти високої ефективності теплообміну.

-Можливість налаштування різних компонентів теплообмінника для досягнення оптимальних параметрів теплообміну.

-Зменшення втрат енергії завдяки ефективному теплообміну, що дозволяє знизити витрати на опалення або кондиціонування повітря.

Недоліки:

-Складність конструкції.

-Вартість.

-Потенційні проблеми з обслуговуванням.

Незважаючи на це, комбіновані теплообмінники залишаються дуже ефективними рішеннями для систем рекуперації тепла, особливо у вимогливих умовах енергоефективності [2].

Установка EcoStar 500 EC X використовує пластинчатий теплообмінник. Цей тип теплообмінника вважається дуже ефективним у рекуперації тепла, оскільки він забезпечує велику поверхню контакту для теплообміну між вихідним та вхідним повітряним потоками. Це дозволяє ефективно передавати тепло від одного потоку до іншого, зменшуючи втрати енергії [3].

Установка може бути досить автоматизованою, особливо якщо вона використовується у комбінації з контрольно-управлінською системою (КУС). КУС дозволяє автоматично керувати параметрами роботи установки, такими як швидкість вентилятора, температура повітря, рівень вологості та інші параметри, забезпечуючи оптимальний рівень комфорту та енергоефективності.

## **1.2 Особливості використання та підключення датчиків**

Щодо датчиків, які можуть використовуватися в установці, це можуть бути, наприклад:

-Датчики температури для вимірювання температури вихідного та вхідного повітря.

-Датчики вологості для вимірювання рівня вологості повітря.

Датчики тиску для контролю роботи вентиляторів та системи циркуляції повітря.

-Датчики газів або диму для виявлення можливих проблем з газовими або іншими викидами.

Ці датчики можуть бути підключені до КУС або контрольно-управляючого пристрою, що дозволяє автоматично реагувати на зміни у середовищі та оптимізувати роботу установки для забезпечення комфорту та безпеки.

Для налаштування програмного забезпечення КУС (контрольно-управляючої системи) у вентиляційній. Зазвичай, програмне забезпечення постачається разом з установкою на диску або доступне для завантаження з веб-сайту виробника. Встановіть програму на комп'ютер, який буде використовуватися для керування установкою. Підключіть комп'ютер до установки за допомогою кабелю Ethernet або за допомогою бездротового з'єднання, якщо це підтримується. Запустіть програмне забезпечення на комп'ютері. Після запуску ви побачите головне вікно програми з можливістю вибору параметрів управління. Встановіть необхідні параметри управління, такі як режими роботи, температурні умови, швидкість вентилятора та інші параметри, які можуть бути доступні згідно з можливостями установки та програмного забезпечення. Після налаштування збережіть параметри, щоб вони застосовувалися під час роботи установки.

Переконайтесь, що програмне забезпечення працює коректно та установка реагує на зміни параметрів. Це загальні кроки для налаштування програмного забезпечення КУС для установки EcoStar 500 EC X

Для підключення знадобиться мати доступ до управління. Зазвичай для цього використовуються програмні засоби, які дозволяють керувати параметрами та налаштуваннями установки. Інтерфейс для керування може бути доступний через локальну мережу або безпосередньо через спеціальний екран або пульт управління, якщо такий є в установці.

Для підключення до установки через локальну мережу знадобиться знати IP-адресу або ім'я хоста установки, а також можливо логін та пароль для доступу. Після цього зможу використовувати програмне забезпечення для керування установкою, змінювати параметри та відстежувати її роботу.

Якщо програмне забезпечення установки не підтримує додаткові датчики, можна розглянути декілька можливих рішень для їх підключення. [4]

Можу встановити зовнішній контролер, такий як Arduino або Raspberry Pi, який підтримує підключення датчиків різних типів. Потім програмувати цей контролер для збирання даних від датчиків та передачі їх до установки через доступний інтерфейс, наприклад, через мережу або порт USB.

Спробувати модифікувати програмне забезпечення установки для підтримки нових датчиків. Це може бути складним завданням і вимагатиме ретельного аналізу коду та можливої підтримки від виробника.

Використати проміжний пристрій, який може обробляти дані від датчиків та передавати їх до установки через доступний інтерфейс. Цей пристрій може бути сервером або хмарним сервісом.

Перед вибором будь-якого рішення важливо переконатися, що воно відповідає моїм потребам та можливостям, а також враховує всі безпекові аспекти та вимоги до роботи установки. [5]

Україна має стратегічні цілі щодо зменшення енергозалежності та підвищення енергоефективності своєї економіки. Впровадження рекуперативних технологій може стати одним із ключових напрямів реалізації цих цілей. Заходи з енергозбереження та використання відновлюваних джерел енергії є пріоритетними завданнями української енергетичної політики. В цьому контексті дослідження рекуперації теплової енергії є актуальним та важливим.

На міжнародному рівні спостерігається зростаючий інтерес до рекуперації як ефективного інструменту збереження енергії. Багато країн вже успішно впроваджують рекуперативні технології в різних галузях, що свідчить про великий потенціал цього процесу. Вивчення міжнародного досвіду дозволить врахувати найкращі практики та застосувати їх українській практиці. Рекуперація теплової енергії може сприяти не лише збереженню ресурсів та зменшенню викидів, але й створенню нових робочих

місце та стимулюванню інноваційного розвитку. Впровадження енергоефективних технологій може забезпечити стале економічне зростання та підвищити конкурентоспроможність українських підприємств на світовому ринку.[6]

Переваги :

-EcoStar 500EC X використовує передові технології для ефективного відновлення теплової енергії, забезпечуючи значні економії на опаленні та кондиціонуванні повітря.

-Зменшення витрат. Ця установка дозволяє значно зменшити витрати на опалення та кондиціонування, що дозволяє зекономити кошти власникам будівель.

-Покращення якості повітря. Рекупераційні установки підвищують якість повітря в приміщенні, фільтруючи його від шкідливих речовин і пилу.

Екологічність. Використання EcoStar 500EC X допомагає зменшити викиди CO<sub>2</sub> та інших шкідливих речовин, сприяючи покращенню екологічної ситуації.

-Легкість у використанні. Ця установка має просте управління та не потребує складних технічних знань для експлуатації.

Недоліки

-Висока вартість. Початкова вартість установки EcoStar 500EC X може бути високою, що може стати перешкодою для деяких бюджетів.

-Потреба в регулярному обслуговуванні. Рекупераційні установки потребують регулярного технічного обслуговування та заміни фільтрів, що може збільшити витрати на їх утримання.

-Потреба в достатньому доступі до зовнішнього повітря. Для ефективної роботи установки потрібен достатній доступ до свіжого зовнішнього повітря, що може бути проблематичним для деяких типів будівель.

-Потреба у додатковому просторі. Встановлення рекупераційної установки може вимагати додаткового простору у будівлі для розміщення обладнання.

-Обмежена ефективність в екстремальних умовах.У дуже холодні або дуже гарячі дні, ефективність рекуперації тепла може бути обмеженою.

Це загальний огляд плюсів і мінусів установок рекуперації EcoStar 500ES X, який може варіюватися залежно від конкретних умов використання та налаштувань обладнання. [7]

### **1.3 Принципи проектування системи автоматизації**

Розроблення алгоритму автоматизації, який би враховував усі вимоги та особливості установки, а також визначення необхідного обладнання.

Монтаж датчиків загазованості та іншого обладнання, необхідного для автоматизації установки.

Підключення всіх компонентів до установки та програмування системи автоматизації.

Проведення тестів для перевірки роботи системи та внесення необхідних коригувань для оптимальної ефективності.

Підготовка документації зі схемами та інструкціями щодо експлуатації системи, а також навчання персоналу її використанню.

Після успішного впровадження системи необхідно забезпечити постійну підтримку та обслуговування для забезпечення її надійної та ефективної роботи. Цей процес вимагає детального планування, технічної експертизи та співпраці зі спеціалістами з автоматизації та енергетики. Необхідно також дотримуватися всіх вимог технічної безпеки та нормативних вимог при виконанні робіт.

Перший етап реалізації проекту - аналіз системи та вимог - є критичним для успішної автоматизації рекупераційної установки EcoStar

500ЕС Х та встановлення датчиків загазованості. Нижче наведено загальний план аналізу

Ретельне вивчення технічних характеристик та принципів роботи установки.

Визначення потреб та очікувань користувачів стосовно автоматизації та безпеки експлуатації.

Аналіз технічних вимог до системи автоматизації та датчиків, включаючи сумісність з існуючим обладнанням.

Визначення потенційних загроз безпеці та ефективності, пов'язаних з автоматизацією та встановленням датчиків.

Встановлення вимог до системи автоматизації та датчиків, щоб забезпечити безпеку користувачів та установки.

Визначення ключових показників ефективності для оцінки успішності проекту.

Встановлення вимог до інтеграції нової системи з існуючим обладнанням та інфраструктурою.

Оцінка очікуваних витрат та часу, необхідного для виконання проекту.

Визначення основних зацікавлених сторін проекту та їх очікувань.

Цей аналіз допоможе визначити ключові вимоги та завдання проекту, що є необхідними для успішної реалізації автоматизації та встановлення датчиків загазованості на установці EcoStar 500ЕС Х.

Другий етап проекту - проектування системи автоматизації - передбачає розробку концепції та технічного плану реалізації. Ось основні кроки цього етапу

-Вибір стратегії автоматизації та розробка загальної концепції роботи системи.

-Вибір датчиків загазованості та іншого обладнання відповідно до вимог та можливостей системи EcoStar 500ЕС Х.

-Розроблення схем підключення датчиків та системи автоматизації до установки.

-Розроблення алгоритму автоматизації, який би враховував різні умови експлуатації та потреби користувачів.

-Вибір необхідного програмного забезпечення для управління системою та обробки даних від датчиків.

-Розроблення інтерфейсу для зручного управління та моніторингу системи.

-Розробка технічної документації, включаючи схеми, специфікації та плани реалізації.

-Проведення тестів для перевірки працездатності системи та внесення коригувань для оптимальної роботи.

-Підготовка документації зі схемами, інструкціями та технічними характеристиками для подальшої експлуатації та обслуговування.

#### **1.4 Види та інформація датчиків**

Цей етап є важливим для створення детального плану реалізації проекту та забезпечення успішного впровадження автоматизації та встановлення датчиків на установці.

Деякі з відомих виробників.

Honeywell виробляє широкий спектр датчиків CO<sub>2</sub> для промислового та комерційного використання, включаючи моделі з різними діапазонами вимірювань та можливістю підключення до систем автоматизації.

Siemens пропонує різноманітні датчики CO<sub>2</sub> з високою точністю вимірювань та швидким часом реакції, які підходять для використання в промислових установках.

Aeroqual виробляє компактні та точні датчики CO<sub>2</sub>, які можуть бути використані для моніторингу як в промислових, так і комерційних установках.

Senseair відомий своїми високоякісними датчиками CO<sub>2</sub> для різних застосувань, включаючи промислові установки.

Vaisala пропонує датчики CO<sub>2</sub> високої точності для вимірювання рівнів CO<sub>2</sub> в промислових установках.

Для підключення додаткових датчиків до моєї установки EcoStar 500 ES X потрібно врахувати кілька важливих вимог

Датчики повинні працювати з напругою живлення 230 Вт, яка є стандартною для моєї установки.

Повинні мати сумісний інтерфейс для підключення до установки. Для моєї установки можуть підходити датчики з аналоговим або цифровим виводом, які можна підключити до входних або вихідних портів установки.

Діапазон, який відповідає потребам моєї установки. Наприклад, якщо мені потрібно вимірювати температуру, діапазон вимірювань може бути від -10°C до +50°C.

Датчики повинні бути сумісні з програмним забезпеченням та апаратурою моєї установки. Важливо перевірити, чи підтримує програмне забезпечення установки підключення додаткових датчиків.

Розміри, які дозволяють їх встановити в потрібному місці установки без перешкод.

Повинні бути стійкими до впливу вологості, температурних змін та інших зовнішніх факторів, що можуть впливати на їхню роботу.

Перед підключенням додаткових датчиків до моєї установки, я переконуюся, що вони відповідають усім цим вимогам. Докладну інформацію можна знайти в технічній документації моєї установки або консультиватися з фахівцями з обслуговування.

Дискретні датчики CO<sub>2</sub> виводять сигнал у вигляді двох станів увімкнено або вимкнено, що дозволяє їм передавати інформацію про наявність або відсутність певного рівня CO<sub>2</sub> в приміщенні. Цей тип датчиків

має кілька переваг, особливо для використання з платформами, такими як Arduino

Дискретні датчики мають простий протокол виведення сигналу, що дозволяє легко і швидко підключати їх до Arduino без складних операцій з аналоговим або цифровим сигналом.

Сигнал вимагає менше пам'яті для зберігання та обробки в порівнянні з аналоговим сигналом, що робить їх ідеальними для проектів з обмеженою кількістю пам'яті, як Arduino.

Через простоту виводу сигналу, легше програмувати для здійснення певних дій у випадку перевищення порогового значення  $\text{CO}_2$ , таких як включення вентиляції або відображення попереджувального повідомлення.

Для збереження енергії, оскільки датчик може бути у сплячому режимі, поки не виявить перевищення порогового рівня  $\text{CO}_2$ .

Отже, використання датчиків у поєднанні з Arduino може спростити розробку проектів контролю якості повітря та забезпечити ефективне використання ресурсів платформи.

Для того щоб Arduino відправляв сигнал на включення пуску установки рекуперації, знадобиться підключити Arduino до контрольного пристрою управління рекуперацією (наприклад, контролера логіки програми, PLC). Ось загальний підхід до цього підключення

PLC (програмовані контролери логіки) - це спеціалізовані комп'ютерні пристрої, які використовуються для автоматизації процесів у промисловості та інших галузях. Вони використовуються для керування різноманітними пристроями та системами, такими як різні типи механізмів, насоси, вентилятори, конвеєри, системи освітлення та інші.

PLC має входи і виходи, які дозволяють йому взаємодіяти з зовнішнім обладнанням. Вихід PLC - це інтерфейс, за допомогою якого PLC взаємодіє з підключеними пристроями. Вихід може бути використаний для керування

напругою, струмом або сигналами, що впливають на роботу підключеного обладнання.

Вихід PLC може бути програмований для виконання певних дій в залежності від умов або сигналів, що надходять від входів. Наприклад, може включати або вимикати пристрій відповідно до програми, що запрограмована в ньому.

### **1.5 Висновки за розділом та постановка завдань кваліфікаційної роботи**

У теоретичній частині розділу було розглянуто основні аспекти автоматизації установки EcoStar 500 EC X з метою підвищення її ефективності та безпеки. Проведений аналіз показав, що впровадження автоматизованої системи управління на основі газових датчиків може значно поліпшити експлуатаційні характеристики установки.

Автоматизація процесів управління дозволяє значно зменшити енергоспоживання установки за рахунок оптимізації її роботи. Впровадження системи автоматичного ввімкнення/вимкнення установки на основі рівня загазованості забезпечує економічне використання електроенергії.

Система автоматизації підвищує безпеку експлуатації установки. Датчики загазованості забезпечують своєчасне включення системи вентиляції у разі підвищення рівня газу в приміщенні, що знижує ризики, пов'язані з можливими витокami газу.

Автоматизована система дозволяє проводити постійний моніторинг стану установки та своєчасно діагностувати можливі несправності. Це забезпечує оперативне реагування на відхилення у роботі системи та попереджує можливі аварійні ситуації.

Автоматизована система управління сприяє підвищенню енергоефективності установки. Завдяки оптимізації роботи вентиляційної

системи зменшуються загальні витрати на електроенергію, що позитивно впливає на загальну економічну ефективність використання установки.

Постановка завдань для теоретичної частини кваліфікаційної роботи

Провести огляд сучасних технологій автоматизації, які використовуються в системах вентиляції та кондиціонування повітря. Вивчити основні принципи роботи автоматизованих систем, їх переваги та недоліки.

Розглянути різні типи датчиків загазованості та контролерів, які можуть бути використані для автоматизації установки EcoStar 500 EC X. Визначити найбільш підходящі компоненти з урахуванням технічних характеристик установки та умов експлуатації.

Створити алгоритми управління системою вентиляції на основі показників датчиків загазованості. Визначити умови, за яких система повинна вмикатися або вимикатися, а також передбачити сценарії роботи у випадку підвищеної загазованості.

Провести моделювання роботи автоматизованої системи з використанням спеціалізованого програмного забезпечення. Оцінити ефективність запропонованих рішень та їх вплив на енергоспоживання та безпеку роботи установки.

Здійснити розрахунки економічної доцільності впровадження автоматизованої системи. Визначити потенційні витрати та економію від зменшення енергоспоживання, а також оцінити термін окупності інвестицій у автоматизацію.

Ці завдання дозволять глибше зрозуміти принципи автоматизації вентиляційних систем та обґрунтувати доцільність впровадження автоматизованої системи управління для установки EcoStar 500 EC X.

## 2 РОЗРАХУКОВА ЧАСТИНА

### 2.1 Розрахункові навантаження рекуператора

Розрахункові навантаження на опалення та охолодження визначаються потребою в теплі та холоді для підтримки комфортних умов у приміщенні. Ці навантаження враховують тепловтрати та теплонадходження через стіни, вікна, дах, а також від людей та обладнання. Для кожного окремого приміщення і для будівлі в цілому потрібно розрахувати пікові навантаження, які враховують всі ці фактори. Розрахункові навантаження допомагають визначити необхідну потужність систем опалення та охолодження для забезпечення комфортних умов у будівлі. Формула для визначення навантаження на опалення або охолодження приміщення може бути виражена як

$$Q=U \times A \times \Delta T$$

(2.1)

на опалення або охолодження (кВт),

$U$ - коефіцієнт теплопередачі (Вт/м<sup>2</sup>·К),

$A$  - площа поверхні, через яку відбувається теплопередача (м<sup>2</sup>),

$\Delta T$  - різниця між зовнішньою та внутрішньою температурою (°С)[8].

Для розрахунку теплового навантаження вашого рекуператора EcoStar 500 ЕС Х за допомогою формули  $Q=U \times A \times \Delta T$ , необхідні наступні вихідні дані:

$U$  (коефіцієнт теплопередачі)

Цей показник характеризує теплопередачу через матеріали теплообмінника. Візьмемо типовий коефіцієнт для пластинчастих теплообмінників, який може становити від 2 до 4 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Для розрахунків використаємо середнє значення- 3 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

$A$  (площа поверхні теплообмінника)

Для точного розрахунку необхідна площа поверхні теплообмінника. Якщо точної інформації немає, можна використати типові значення. Наприклад, площа поверхні може бути приблизно  $10 \text{ м}^2$  для вашої моделі.

$\Delta T$  (різниця температур)

Це різниця температур між припливним і витяжним повітрям. Візьмемо типову різницю температур для зимового періоду, коли різниця може становити  $20^\circ\text{C}$  (наприклад,  $0^\circ\text{C}$  зовні та  $20^\circ\text{C}$  всередині приміщення).

Визначення параметрів:

$$U = 3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

$$A = 10 \text{ м}^2$$

$$\Delta T = 20^\circ\text{C}$$

Підстановка значень:

$$Q = 3 \times 10 \times 20$$

$$Q = 600$$

Отже, теплове навантаження рекуператора становить приблизно  $600 \text{ Вт}$  за цих умов.

Також, для оцінки нерівномірності розподілу теплових навантажень по приміщеннях можна використовувати формулу для розрахунку градієнту теплового навантаження

$$D_q = q_i / q_{cp} \quad (2.2)$$

де

$D_q$  - градієнт теплового навантаження,

$q_i$  - відносне теплове навантаження окремого приміщення,

$q_{cp}$  - середнє відносне теплове навантаження по всій площі будівлі. [9]

Для того, щоб розрахувати градієнт теплового навантаження ( $\overline{Dq}$ ) для моєї системи рекуперації, використовую формулу (2.2)

Параметри установки:

Продуктивність 500 куб.м/год

ККД рекуператора 80%

Потужність двигуна 2x0,17 кВт

Потужність переднагрівання 1,2 кВт

Визначаю теплове навантаження для окремих зон ( $q_i$ ). Для цього мені потрібно знати теплові втрати або теплопритоки в кожному окремому приміщенні.

Визначаю середнє теплове навантаження для всієї системи

$$q_{cp} = \sum q_i / n$$

(2.3)

де  $n$  — кількість зон або приміщень.

Припустимо, у мене є три приміщення з такими тепловими навантаженнями.

-Приміщення 1:  $q_1=500$  Вт

-Приміщення 2:  $q_2=700$  Вт

-Приміщення 3:  $q_3=800$  Вт

Середнє теплове навантаження  $q_{cp}=(q_1+q_2+q_3)/3=(500+700+800)/3=667$ Вт

Градiєнт теплового навантаження для кожного приміщення:

Приміщення 1:  $Dq_1=q_1/q_{cp}=500/667\approx 0.75$

Приміщення 2:  $Dq_2=q_2/q_{cp}=700/667\approx 1.05$

Приміщення 3:  $Dq_3=q_3/q_{cp}=800/667\approx 1.20$

Це допомагає оцінити, наскільки кожне приміщення відхиляється від середнього значення навантаження і де можуть бути необхідні додаткові заходи для забезпечення рівномірного розподілу тепла.

## 2.2 Зональне регулювання

Зональне регулювання передбачає можливість керувати температурним режимом окремих зон або приміщень незалежно від інших зон. Для цього

можна використовувати формули для розрахунку потужності системи опалення або охолодження для кожної зони.

Одним із підходів до зонального регулювання є використання формули для визначення потреби у теплі чи холоді для кожної зони

$$Q_{\text{зона}} = A_{\text{зона}} \times U_{\text{зовн}} \times \Delta T_{\text{зона}} \quad (2.4)$$

де

$Q_{\text{зона}}$  - потреба у теплі чи холоді для зони (кВт),

$A_{\text{зона}}$  - площа зони ( $\text{м}^2$ ),

$U_{\text{зовн}}$  - коефіцієнт теплопередачі через зовнішні стіни та покрівлю ( $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$ ),

$\Delta T_{\text{зона}}$  - різниця між внутрішньою та зовнішньою температурою для зони ( $^{\circ}\text{C}$ )[10].

Визначаю площу поверхні зони ( $A_{\text{зона}}$ )

Наприклад, якщо площа зовнішніх стін приміщення складає  $50 \text{ м}^2$ .

Визначаю коефіцієнт теплопередачі ( $U_{\text{зовн}}$ )

Припустимо, що коефіцієнт теплопередачі для стін приміщення становить  $0.3 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$ .

Визначаю різницю температур ( $\Delta T_{\text{зона}}$ )

Якщо зовнішня температура взимку складає  $-5^{\circ}\text{C}$ , а внутрішня —  $20^{\circ}\text{C}$ , тоді  $\Delta T_{\text{зона}} = 20 - (-5) = 25^{\circ}\text{C}$ .

Припустимо, у мене є приміщення з такими параметрами:

$$A_{\text{зона}} = 50 \text{ м}^2$$

$$U_{\text{зовн}} = 0.3 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$$

$$\Delta T_{\text{зона}} = 25^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{зона}} = A_{\text{зона}} \times U_{\text{зовн}} \times \Delta T_{\text{зона}} = 50 \times 0.3 \times 25 = 375 \text{ Вт}$$

Завдяки цьому розрахунку, я можу визначити необхідну потужність опалення для кожного окремого приміщення, що дозволяє більш ефективно налаштувати систему рекуперації та забезпечити комфортні умови у всій будівлі.

Для забезпечення зонального регулювання можна також використовувати систему змінної потужності, яка може автоматично регулювати потужність опалювального або охолоджувального обладнання для кожної зони.

Для розрахунку навантаження потрібно врахувати декілька факторів, включаючи розмір приміщення, його ізоляцію, витрати теплоти на опалення і виробничі потреби, а також потреби в гарячій воді. Також важливо врахувати пікові навантаження, які можуть виникати в залежності від зовнішніх умов та внутрішніх потреб користувачів.

Для розрахунку можна скористатися загальноприйнятими методиками, такими як методика ASHRAE (Американська спілка інженерів по опаленню, охолодженню та кондиціонуванню повітря), яка враховує різні фактори, що впливають на навантаження. Також важливо врахувати можливості установки та її ефективність для забезпечення потрібного рівня комфорту та енергоефективності.

Методика ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) використовує формули для розрахунку тепловтрат і теплонадходжень в приміщеннях згідно зі стандартом ASHRAE 90.1

### **2.3 Вимоги до системи автоматизації**

Вимоги до системи автоматизації можна розглядати з різних точок зору, таких як функціональність, надійність, енергоефективність та безпека. Ось деякі з них Функціональність системи автоматизації установки EcoStar 500 EC X повинна включати наступні можливості.

Система повинна забезпечувати автоматичний контроль та регулювання температури відповідно до заданих параметрів та змін зовнішніх умов. Система повинна мати можливість автоматичного

вимкнення установки у випадку виявлення несправностей, перевищення допустимих температур або інших параметрів безпеки. Система повинна забезпечувати моніторинг різних параметрів роботи установки (температура, тиск, витрата газу тощо) і надавати діагностичну інформацію для оператора. Система повинна дозволяти змінювати режими роботи установки відповідно до потреби (наприклад, зміна режиму з обігріву на охолодження). Система повинна мати можливість автоматичного включення установки при виявленні певного рівня газів у приміщенні для забезпечення безпеки користувачів. Система повинна зберігати налаштування та програми роботи установки для подальшого використання. Система повинна мати зручний інтерфейс для взаємодії з оператором, що дозволяє легко встановлювати параметри, перевіряти стан системи та отримувати повідомлення про події. Система повинна мати можливість відображати інформацію про стан установки та надавати сигналізацію у випадку виникнення проблем або аварій.

Ці функціональні можливості допоможуть забезпечити ефективну та безпечну роботу установки EcoStar 500 EC X.

## **2.4 Надійність та енергоефективність САК**

Надійність системи автоматизації установки є критичною для безперебійної та безпечної роботи пристрою. Для забезпечення високої надійності, слід враховувати наступні аспекти. Важливі компоненти системи (наприклад, контролери, датчики, клапани) можуть бути дубльовані для забезпечення продовження роботи у випадку відмови одного з них. Резервні блоки живлення також можуть бути використані для забезпечення неперервного живлення. Система автоматизації повинна мати вбудовані засоби тестування та діагностики для виявлення потенційних проблем інструментів та компонентів перед їх виявленням у реальних умовах роботи.

Використання компонентів, які відомі своєю високою надійністю та довговічністю, може допомогти уникнути відмов та знизити ймовірність непередбачених зупинок.

Проведення регулярного обслуговування та технічного обслідування системи може попередити виникнення проблем та забезпечити її нормальну роботу.

Врахування вимог до безпеки під час розробки та експлуатації системи може допомогти запобігти аваріям та негативним наслідкам для користувачів та навколишнього середовища. Система повинна мати вбудовані алгоритми для реагування на відмови та аварійні ситуації, щоб мінімізувати їх наслідки та швидко відновити роботу установки.

Загальна надійність системи автоматизації буде залежати від правильного проектування, вибору компонентів та реалізації заходів забезпечення надійності.

## **2.5 Моніторинг та діагностика стану установки**

Моніторинг та діагностика стану установки є важливою складовою системи автоматизації. Ці процеси дозволяють вчасно виявляти потенційні проблеми, уникати аварійних ситуацій та забезпечувати безперебійну роботу обладнання. Деякі ключові аспекти моніторингу та діагностики установки включають

Встановлення датчиків температури, тиску, вологості та інших параметрів дозволяє в реальному часі відслідковувати роботу установки та виявляти будь-які аномалії. Використання спеціальної системи для збору, аналізу та візуалізації даних з датчиків дозволяє оперативно реагувати на зміни у роботі установки. Налаштування системи на автоматичне відсилання сповіщень та алармів у разі виявлення неполадок або відхилень від норми.

Використання аналітики даних для прогнозування можливих відмов та запобігання їм шляхом запланованого обслуговування та ремонту. Можливість отримання доступу до системи моніторингу та діагностики віддалено дозволяє оперативно реагувати на події навіть поза робочим місцем. Забезпечення можливості інтеграції з системами управління та іншими додатками для більш ефективного контролю та управління установкою. Моніторинг та діагностика стану установки допомагають підтримувати високу ефективність та безперебійну роботу системи, зменшують ймовірність виникнення аварій та збільшують загальну надійність обладнання.

Енергоефективність є важливим аспектом автоматизації установки, оскільки дозволяє знижувати споживання електроенергії та забезпечувати оптимальне використання ресурсів. Для досягнення високої енергоефективності можна врахувати наступні аспекти

Використання систем автоматизації для оптимізації роботи установки з урахуванням поточних умов і вимог системи опалення та охолодження.

Встановлення енергоефективного обладнання, такого як насоси зі змінною швидкістю, енергоефективні двигуни тощо, що дозволяє знизити споживання електроенергії.

Передбачення та оптимізація режимів роботи установки в залежності від різних факторів, таких як погода, внутрішня температура тощо, для забезпечення оптимального споживання енергії.

Використання систем моніторингу та аналізу даних для виявлення можливостей зниження споживання енергії та впровадження заходів з енергоефективності.

Інтеграція системи автоматизації з системами управління енергією дозволяє автоматично керувати споживанням електроенергії в оптимальний спосіб.

Забезпечення високої енергоефективності установки дозволяє зменшити витрати на електроенергію та сприяє сталому експлуатації обладнання

## **2.6 Аспекти оцінки економічної ефективності установки**

Економічність автоматизації установки EcoStar 500 EC X включає в себе не лише витрати на впровадження системи автоматизації, але і потенційні економії, які можуть бути досягнуті завдяки її використанню. Для оцінки економічної доцільності можна врахувати наступні аспекти

Включають в себе вартість придбання та встановлення обладнання, програмного забезпечення, необхідного для автоматизації, а також витрати на розробку та впровадження системи.

Охоплюють витрати на обслуговування та підтримку системи автоматизації, включаючи зарплату персоналу, який відповідає за її роботу, витрати на електроенергію та інші витрати.

Потенційні економії, які можна досягти завдяки використанню системи автоматизації. Це можуть бути економії на енергоспоживанні, зменшення витрат на обслуговування обладнання, зниження витрат на відшкодування шкоди від аварій тощо.

Час, за який витрати на впровадження системи автоматизації повертаються завдяки досягнутим економіям. Також може бути важливим розрахунок чистого дисконтованого доходу (NPV) і внутрішньої норми прибутку (IRR) для оцінки ефективності інвестицій.

Важливо врахувати ризики, пов'язані з впровадженням та експлуатацією системи автоматизації, такі як можливість виникнення несправностей, зміни в законодавстві тощо, і оцінити їх вплив на економічні показники.

Важливо також порівняти витрати та ефективність впровадження системи автоматизації з альтернативними способами досягнення мети, наприклад, зі збільшенням кількості персоналу.

Крім прямих економічних вигод, важливо врахувати також стратегічні переваги, які може принести впровадження системи автоматизації, наприклад, підвищення конкурентоспроможності, покращення якості обслуговування тощо.

Загальний аналіз цих аспектів дозволить зробити висновок про економічну доцільність впровадження системи автоматизації установки

## **2.7 Повітряний обмін відносно кількості людей**

Розрахунок повітрообміну в приміщенні за кількістю людей може бути проведений на основі рекомендацій нормативних документів, які встановлюють мінімальну кількість свіжого повітря, яка повинна подаватися в приміщення на кожну людину. Для цього можна скористатися наступними кроками;

-Визначте кількість людей, які перебувають в приміщенні. Це може бути кількість осіб, які працюють або перебувають в приміщенні протягом певного часу.

-Використовуйте нормативні документи або стандарти, які визначають необхідну кількість свіжого повітря на людину. Наприклад, згідно з нормами ASHRAE (стандарт 62.1-2019), рекомендована кількість свіжого повітря для офісних приміщень складає 8,5 л/сек (18 CFM) на особу.

Помножте кількість людей в приміщенні на норматив кількості свіжого повітря на людину. Наприклад, якщо в офісному приміщенні перебуває 10 осіб, то загальний обсяг свіжого повітря складатиме 85 л/сек (180 CFM).

Для систем вентиляції може знадобитися перевести обсяг свіжого повітря у витрату повітря. Для цього використовуйте розрахунок питомої витрати повітря (л/сек на м<sup>2</sup>) для вашої системи вентиляції.

Переведимо витрату повітря на людину у витрату повітря на все приміщення. Наприклад, якщо площа приміщення складає 100 м<sup>2</sup>, і питома витрата повітря 1,5 л/сек на м<sup>2</sup>, то загальна витрата повітря на приміщення складатиме 150 л/сек.

Таким чином, розрахунок повітрообміну за кількістю людей полягає у визначенні необхідної кількості свіжого повітря на кожну людину і переведенні цього обсягу у загальну витрату повітря на приміщення.

Для розрахунку обсягу повітря, необхідного для вентиляції приміщення, можна скористатися наступною формулою

$$Q=N \times Q_{per}$$

(2.5)

де

 $Q$  - загальний обсяг повітря (л/сек), $N$  - кількість людей в приміщенні, $Q_{per}$  - питома витрата повітря на людину (л/сек на особу).

Наприклад, якщо у приміщенні перебуває 10 осіб, а питома витрата повітря на людину складає 8,5 л/с, то

$$Q=10 \times 8,5=85 \text{ л/с}$$

Також, для переведення обсягу повітря у витрату можна скористатися формулою

$$V = \frac{Q \times 3600}{A_v} \quad (2.6)$$

де

 $V$  - витрата повітря (м<sup>3</sup>/год), $Q$  - загальний обсяг повітря (л/с), $A_v$  - площа приміщення (м<sup>2</sup>).

Наприклад, якщо площа приміщення становить 100 м<sup>2</sup>, а загальний обсяг повітря складає 85 л/сек, то

$$V=85 \times 3600/100=3060 \text{ м}^3/\text{год}$$

Ці формули допоможуть визначити необхідний обсяг повітря для вентиляції приміщення на основі кількості людей, які в ньому перебувають.  
[11]

## 2.8 Визначення оптимальної кількості датчиків

Для розрахунку кількості датчиків загазованості у будівлі з системою рекуперації тепла потрібно врахувати кілька факторів

Розмір та об'єм будівлі

Визначте загальний об'єм приміщень, який буде обслуговуватися системою рекуперації.

Розрахую кількість зон або окремих приміщень, для яких потрібно встановити датчики.

Технічні характеристики системи рекуперації.

Враховую тип системи рекуперації (повітря-повітря, повітря-вода тощо) і її потужність.

Визначаю область покриття кожної системи рекуперації і потребу в додатковому контролі якості повітря.

Дотримуюсь місцевих будівельних стандартів та рекомендацій щодо кількості та розташування датчиків загазованості.

Розташування датчиків .

Розмістив датчики загазованості в зонах, де існує можливість накопичення шкідливих газів. Забезпечим рівномірне покриття всіх зон з урахуванням особливостей приміщень та потенційних джерел забруднення.

Рекомендується встановлювати датчики в кожній зоні або приміщенні для найефективнішого контролю.

Можливість встановлення додаткових датчиків в зонах з підвищеним ризиком загазованості. Можливість підключення датчиків до системи керування рекуперацією та інтеграцію з іншими системами безпеки та контролю.

Враховуючи ці аспекти, зможу правильно розрахувати кількість та розташування датчиків загазованості для ефективного контролю якості повітря у будівлі з системою рекуперації тепла

Для розрахунку кількості датчиків загазованості у будівлі з системою рекуперації тепла потрібно спочатку визначити загальний об'єм приміщень, які будуть обслуговуватися цією системою.

Виміряти довжину, ширину та висоту кожного поверху будівлі. Потім помножити ці значення, щоб отримати загальну площу кожного поверху.

Обчислити об'єм кожного приміщення, помноживши його площу на висоту стелі. Для кожного поверху підсумую об'єми всіх приміщень.

В залежності від розміру та конфігурації будівлі, а також від рекомендацій щодо кількості датчиків на кожному поверсі, визначив оптимальну кількість датчиків загазованості. Наприклад, для просторих приміщень може знадобитися більше датчиків, ніж для менших.

Розмістити датчики таким чином, щоб вони були розподілені рівномірно по всій площі будівлі і забезпечували надійний контроль за якістю повітря.

Ці кроки допоможуть правильно визначити кількість датчиків загазованості для ефективного контролю якості повітря у будівлі з системою рекуперації тепла. Для розрахунку кількості датчиків загазованості у будівлі для системи рекуперації тепла можна скористатися наступною формулою

$$\text{Кількість датчиків} = \frac{\text{Площа будівлі} \times \text{Коефіцієнт} \times \text{Коефіцієнт безпеки}}{\text{Площа, що обслуговується одним датчиком}} \quad (2.7)$$

Площа будівлі - загальна площа будівлі, яка обслуговується системою вентиляції (м<sup>2</sup>).

Коефіцієнт - коефіцієнт, який враховує специфіку будівлі, типи газів та їх концентрації, тип системи рекуперації тепла тощо. Коефіцієнт безпеки - додатковий коефіцієнт безпеки для урахування невизначеності вимірювань та безпеки. Площа, що обслуговується одним датчиком - приблизна площа, для

якої датчик загазованості є достатнім. Ця формула є загальною концепцією, і конкретні значення коефіцієнтів та параметрів повинні бути визначені залежно від конкретної ситуації та вимог. Важливо також дотримуватися місцевих нормативних вимог та стандартів з безпеки.

Наприклад, якщо загальний об'єм будівлі складає 5000 кубічних метрів, а один датчик може покривати об'єм 1000 кубічних метрів, то кількість датчиків буде

$$\text{Кількість датчиків} = 5000 / 1000 = 5 \text{ шт}$$

Отже, для цієї будівлі потрібно встановити 5 датчиків загазованості.

Чутливості датчика газу.

Розрахунок чутливості датчика газу може бути проведений за допомогою формули

$$S = (C_{\text{газ}} - C_{\text{реф}}) \times V_{\text{газ}}$$

(2.8)

де:

$S$  - об'єм речовини (у м<sup>3</sup>),

$C_{\text{газ}}$  - концентрація газу (у долях або у %),

$C_{\text{реф}}$  - початкова концентрація газу (у долях або у %),

$V_{\text{газ}}$  - об'єм газу (у м<sup>3</sup>).

Для нашого прикладу візьмемо  $C_{\text{газ}} = 0.1$ ,  $C_{\text{реф}} = 0.02$  і  $V_{\text{газ}} = 150 \text{ м}^3$

$$S = (0.1 - 0.02) \times 150$$

$$S = 0.08 \times 150$$

$$S = 12 \text{ м}^3$$

Отже, об'єм речовини становить 12 м<sup>3</sup>

Цей розрахунок допомагає визначити, наскільки добре датчик реагує на зміни концентрації газу у вимірюваному середовищі. Чутливість датчика газу вказує на його здатність реагувати на навколишні умови і вимірювати концентрацію газу з високою точністю.

## 2.9 Розрахункові дані установки

Потужність рекуперації тепла ( $Q$ ) може бути розрахована за допомогою формули

$$Q = m \cdot c \cdot (T_{\text{вх}} - T_{\text{вих}})$$

(2.9)

де :

$Q$  - потужність рекуперації тепла, Вт (ват),

$m$  - масовий потік повітря, кг/с,

$c$  - теплоємність повітря, кДж/(кг·°С) (кілоджоул на кілограм на градус Цельсія),

$T_{\text{вх}}$  - температура вхідного повітря, °С,

$T_{\text{вих}}$  - температура вихідного повітря, °С.

Нехай у нас є наступні дані:

$m = 1000$  кг/год (масовий потік повітря),

$c = 1.005$  кДж/кг·°С (теплоємність повітря),

$T_{\text{вх}} = 25$  °С (температура вхідного повітря),

$T_{\text{вих}} = 20$  °С (температура вихідного повітря).

Підставимо ці дані в формулу

$$Q = 1000 \cdot 1.005 \cdot (25 - 20)$$

$$Q = 5025 \text{ кДж/год}$$

Отже, теплова потужність установки для вашого прикладу становить 5025 кДж/год.

Масовий потік повітря ( $m$ ) може бути розрахований як

$$m = V \cdot \rho$$

(2.10)

де

$V$  - об'ємний потік повітря, м<sup>3</sup>/год,

$\rho$  - густина повітря, кг/м<sup>3</sup>[12].

Дано, що об'ємний потік повітря  $V$  становить 1000 м<sup>3</sup>/год, а густина повітря  $\rho$ -1.2 кг/м<sup>3</sup>. Підставивши ці значення у формулу, отримаємо:

$$m=1000 \cdot 1.2 = 1200 \text{ кг/год.}$$

Отже, масовий потік повітря для установки складає 1200 кг/год

Обсяг повітря, який може бути оброблений, залежить від продуктивності системи вентиляції та режиму її роботи.

Продуктивність системи вентиляції ( $Q$ ) - це кількість повітря, яку система може обробити протягом однієї години. Вона визначається за формулою

$$Q=V \cdot n \cdot 3600$$

(2.11)

де

$Q$  - продуктивність системи вентиляції, м<sup>3</sup>/год,

$V$  - об'єм приміщення, м<sup>3</sup>,

$n$  - кратність повітрообміну за годину.

Нехай у нас є такі дані

$V = 2$  м/с (швидкість руху робочого середовища),

$n = 4$  м<sup>2</sup> (площа перерізу потоку).

$$Q=2 \text{ м/с} \cdot 4 \text{ м}^2 \cdot 3600=28800 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Отже, об'ємний потік робочого середовища для вашого прикладу становить 28800 м<sup>3</sup>/год.

## **2.10 Розрахунок кількості газу, яка може накопичитися в приміщенні**

Для розрахунку кількості газу, яка може накопичитися в приміщенні, використовується формула для об'єму газу в закритому просторі. Ця формула

базується на відомостях про об'єм приміщення, концентрацію газу та інших параметрах. Основна мета цього розрахунку полягає в тому, щоб забезпечити безпеку приміщення і визначити можливість виникнення небезпеки для людей в разі викиду газу.

Формула для розрахунку об'єму газу в закритому просторі виглядає наступним чином

$$V=A \cdot h$$

(2.12)

де

$V$  - об'єм закритого простору ( $\text{м}^3$ ),

$A$  - площа підлоги приміщення ( $\text{м}^2$ ),

$h$  - висота приміщення (м).

Для прикладу, якщо площа приміщення

$$A = 50 \text{ м}^2,$$

$$h = 3 \text{ м},$$

то об'єм  $V$  приміщення буде

$$V=50 \text{ м}^2 \times 3 \text{ м}=150 \text{ м}^3$$

Отже, об'єм приміщення складає  $150 \text{ м}^3$ .

Додатково, для розрахунку кількості газу можна використовувати концентрацію газу в приміщенні ( $y$  %) та враховувати, що 1% газу в повітрі відповідає  $10\,000$  ррм. Таким чином, об'єм газу  $Q$  ( $\text{у м}^3$ ) можна розрахувати за формулою

$$Q = \frac{V \cdot C}{100} \tag{2.13}$$

де

$Q$  - об'єм газу ( $\text{м}^3$ ),

$V$  - об'єм закритого простору ( $\text{м}^3$ ),

$C$  - концентрація газу в приміщенні (%).

Якщо об'єм приміщення  $V = 150 \text{ м}^3$  і концентрація газу  $C = 0.02$  (або 2%), то кількість газу  $Q$  буде:

$$Q = (150 \times 0.02) / 3 \approx 0,03 \text{ м}^3$$

Отже, за цей час накопичиться  $0,03 \text{ м}^3$  газу в приміщенні

Ці розрахунки можуть допомогти визначити, наскільки швидко може накопичитися газ в приміщенні і як вчасно реагувати на таку ситуацію для забезпечення безпеки всіх присутніх.

Для розрахунку часу, за який концентрація газу досягне критичного рівня в приміщенні, можна скористатися формулою, що враховує об'єм приміщення, витрату газу та початкову концентрацію газу. Цей розрахунок допомагає визначити, скільки часу можна мати на вжиття заходів у разі негативної ситуації.

Формула для розрахунку часу  $t$  (у хвиликах), за який концентрація газу досягне критичного рівня, має вигляд

$$t = \frac{V \cdot (C_k - C_0)}{Q} \quad (2.14)$$

де

$t$  - час (хвилини),

$V$  - об'єм закритого простору ( $\text{м}^3$ ),

$C_k$  - критична концентрація газу (%),

$C_0$  - початкова концентрація газу (%),

$Q$  - витрата газу ( $\text{м}^3/\text{хв}$ ).

Для нашого прикладу:

$$V = 150 \text{ м}^3$$

$$C_{\text{поч}} = 0.02$$

$$C_{\text{кр}} = 0.1$$

$$Q = 3 \text{ м}^3$$

$$Q_{\text{дод}} = Q/t$$

Спочатку знайдемо  $Q_{\text{дод}}$

$$Q_{\text{дод}}=3 \text{ м}^3/\text{т}$$

Тепер підставимо значення у формулу і розрахуємо  $t$ :

$$t=(150 \times (0.1 - 0.02)) / (3/t)$$

$$t=(150 \times 0.08) / (3/t)$$

$$3t=12/3$$

$$t=4 \text{ хв}$$

Отже, за 4 хвилини концентрація газу досягне критичного рівня.

Цей розрахунок дозволяє оцінити, як швидко газ може накопичитися в приміщенні до критичного рівня, що є важливою інформацією для розробки плану заходів у разі аварійної ситуації.

### 2.11 Розрахунок витрати повітря для розведення газу до безпечного рівня

Для розрахунку витрати повітря, необхідної для розведення газу до безпечного рівня, спочатку визначимо об'єм газу, який ми хочемо розведення. Нехай  $V_{\text{газ}}$  - це об'єм газу у приміщенні, який хочемо розведення.

Далі, врахуємо, що для ефективного розведення газу необхідно замінювати повітря у приміщенні таким чином, щоб концентрація газу зменшилася до безпечного рівня. Нехай  $C_{\text{ініц}}$  - початкова концентрація газу,  $C_{\text{безп}}$  - безпечний рівень концентрації газу у повітрі,  $Q_{\text{пов}}$  - витрата повітря, необхідна для цього.

Тоді ми можемо використати наступну формулу

$$Q_{\text{пов}}=V_{\text{газ}} \times (C_{\text{ініційна}} - C_{\text{безпечна}}) \quad (2.15)$$

де:

$Q_{\text{пов}}$  - кількість газу для додавання (у  $\text{м}^3$ ),

$V_{\text{газ}}$  - об'єм приміщення (у  $\text{м}^3$ ),

$C_{\text{ініційна}}$  - початкова концентрація газу (у долях або у %),

$C_{\text{безпечна}}$  - безпечна концентрація газу (у долях або у %).

Для нашого прикладу візьмемо

$$V_{\text{газ}}=150 \text{ м}^3$$

$$C_{\text{ініційна}}=0.02$$

$$C_{\text{безпечна}}=0.1$$

$$Q_{\text{пов}}=150 \times (0.1 - 0.02)$$

$$Q_{\text{пов}}=12 \text{ м}^3$$

Отже, для досягнення безпечної концентрації газу потрібно додати 12 м<sup>3</sup> газу до приміщення.

## 2.12 Розрахунок енергоспоживання системи.

Для розрахунку енергоспоживання системи автоматизації потрібно врахувати споживану потужність кожного компонента системи, а також тривалість їх роботи. Основні компоненти, які можна врахувати в цьому розрахунку, це контролери, сенсори, актуатори, комунікаційні модулі та інші пристрої.

Для початку, потрібно знати споживану потужність кожного пристрою в системі. Наприклад, якщо контролер споживає 5 Вт, а сенсор - 1 Вт, а система працює 24 години на добу, то загальне споживання енергії за добу буде

$$E=(P_{\text{контролер}}+P_{\text{сенсор}}) \times t \quad (2.16)$$

де

$E$  - загальне споживання енергії за добу;

$P_{\text{контролер}}$  - споживана потужність контролера;

$P_{\text{сенсор}}$  - споживана потужність сенсора;

$t$  - тривалість роботи системи за добу.

Підставимо дані:  $P_{\text{контролер}}=5$   $P_{\text{сенсор}}=1$  Вт, і  $t=24$  години

$$E=(5 + 1) \times 24 \text{ години}$$

$$E=6 \times 24 \text{ години}$$

$$E=144 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

Отже, загальне споживання енергії за добу складає 144 Вт·год

З цими даними можна оцінити вплив системи автоматизації на енергоефективність установки і визначити, чи потрібні заходи з її оптимізації.

### 2.13 Витрати на компоненти

Для розрахунку витрат на компоненти для системи автоматизації з використанням датчика CO<sub>2</sub> та Arduino, спочатку потрібно скласти список всіх необхідних компонентів, таких як Arduino, датчик CO<sub>2</sub>, електронні компоненти, дроти та інше обладнання. Потім оцініть вартість кожного компонента та загальну вартість всієї системи. Наприклад

Arduino Uno - \$10

Датчик CO<sub>2</sub> - MH-Z19 - \$20

Електромагнітний реле - \$3

Дроти, резистори, світлодіоди та інші електронні компоненти - \$10

Блок живлення - \$5

Загальна вартість компонентів складає \$48. Врахувавши, що це лише найпростіший приклад, і вартість може змінюватися залежно від конкретних компонентів та постачальників, а також вартості доставки та податків.

Для розрахунку витрат на енергоспоживання системи автоматизації з використанням датчика CO<sub>2</sub> та Arduino, потрібно врахувати споживану потужність кожного компонента та тривалість їх роботи.

Arduino Uno має споживану потужність приблизно 50 мА при напрузі 5 В, що дорівнює 0,25 Вт.

Датчик CO<sub>2</sub> MH-Z19 споживає близько 150 мА при напрузі 5 В, що дорівнює 0,75 Вт.

Електромагнітне реле може мати споживану потужність від 100 мА до 400 мА, залежно від типу та моделі, що дорівнює від 0,5 Вт до 2 Вт.

Інші електронні компоненти можуть мати додаткову споживану потужність, яка повинна бути врахована.

Далі, потрібно визначити тривалість роботи кожного компонента протягом дня та загальну кількість днів використання системи. Наприклад, якщо Arduino, датчик CO<sub>2</sub> та інші компоненти працюють по 8 годин на день і використовуються протягом 30 днів, то можемо розрахувати загальну споживану енергію в кіловат-годинах (кВтг)

$$\text{Енергія (кВт)} = (\text{Потужність компонента (кВт)} \times \text{Час роботи (год)}) \times \text{Кількість днів}$$

$$\text{Енергія (кВт)} = (\text{Потужність компонента (кВт)} \times \text{Час роботи (год)}) \times \text{Кількість днів} \quad (2.17)$$

Після цього можна розрахувати витрати на енергоспоживання, використовуючи вартість електроенергії за кіловат-годину в нашому регіоні.

Розрахуємо витрати на енергоспоживання системи автоматизації з датчиком CO<sub>2</sub> та Arduino.

Arduino Uno використовує приблизно 0,25 Вт.

Датчик CO<sub>2</sub> MH-Z19 використовує приблизно 0,75 Вт.

Електромагнітне реле використовує приблизно 0,5 Вт.

Загальна потужність системи

$$\text{Потужність} = 0,25 \text{ Вт} + 0,75 \text{ Вт} + 0,5 \text{ Вт} = 1,5$$

Припустимо, що система працює 8 годин на день протягом 30 днів.

Енергія, спожита системою за цей час

$$\text{Енергія} = 1,5 \text{ Вт} \times 8 \text{ год/день} \times 30 \text{ днів} = 360 \text{ Вт}$$

Якщо вартість електроенергії складає, скажімо, 2,64 грн за кВт, то витрати на енергоспоживання можна розрахувати

$$\text{Витрати} = 0,36 \text{ кВт} \times 2,64 \text{ грн/кВт} = 0,9504 \text{ грн}$$

Таким чином, витрати на енергоспоживання за 30 днів становлять приблизно 0,95 грн.

## 2.14 Ефективність використання ресурсів

Автоматичне управління дозволяє ефективно використовувати CO<sub>2</sub> в приміщенні, що може покращити рівень концентрації CO<sub>2</sub> в повітрі і забезпечити комфортні умови для проживання або роботи.

## Енергозбереження

Система автоматизації може оптимізувати роботу обладнання для зменшення споживання енергії.

Автоматичне управління дозволяє підтримувати стабільні умови в приміщенні, що забезпечує комфорт та безпеку для користувачів.

Система може надавати дані про рівень CO<sub>2</sub> в приміщенні, що дозволяє оперативно реагувати на будь-які зміни.

Автоматизація зменшує необхідність постійного контролю та втручання в процес управління CO<sub>2</sub>, що економить час та зусилля оператора.

Для розрахунку споживання установки потрібно знати тривалість роботи установки за певний період часу. Візьмемо припущення, що установка працює 8 годин на день протягом 30 днів.

Потужність двигунів  $2 * 0,17 \text{ кВт} = 0,34 \text{ кВт}$

Потужність переднагрівання 1,2 кВт

Загальна потужність  $0,34 \text{ кВт} + 1,2 \text{ кВт} = 1,54 \text{ кВт}$

Тепер можемо розрахувати споживання за місяць

Споживання за день  $= 1,54 \text{ кВт} * 8 \text{ годин} = 12,32 \text{ кВт}$

Споживання за місяць  $= 12,32 \text{ кВт} * 30 \text{ днів} = 369,6 \text{ кВт}$

Отже, за місяць установка споживатиме приблизно 369,6 кВт електроенергії[13].

### 2.15 Вивчення сигналу кнопки

Сигнал, що подається на кнопку запуску установки, зазвичай є електричним сигналом постійного струму (наприклад, 12 або 24 вольти), який активує запуск або управління установкою. При натисканні на кнопку формується замикання контактів, що спричиняє подачу цього сигналу на внутрішній контрольно-керуючий пристрій установки. Контрольно-керуючий пристрій обробляє цей сигнал та ініціює необхідні дії, наприклад, запуск або зупинку установки.

Важливо, щоб сигнал, що подається на кнопку запуску, відповідав параметрам інтерфейсу керування установкою (напруга, струм тощо), щоб уникнути можливих пошкоджень або неправильної роботи.

Для того щоб автоматизоване управління не заважало штатній роботі прилада і включало його тільки у випадках, коли прилад вимкнений, може знадобитися так званий "біполярний" реле. Це реле має два стани вимкнено (відключено) і увімкнено (підключено).

Щоб включати прилад, коли він вимкнений, може підключити автоматизоване управління до контактів "вимкненого" реле. Коли прилад буде вимкнений, управління може подати сигнал на це реле, щоб увімкнути його. Якщо прилад уже увімкнено, управління може ігнорувати цю дію.

Коли вибираємо реле для автоматизованого управління, слід враховувати декілька ключових аспектів

Для випадку підходить біполярне реле, яке має два стани - вимкнено і увімкнено.

Повинен переконатися, що реле здатне витримати електричне навантаження вашого приладу.

Оберати реле, яке відповідає стандартам електричної безпеки та відповідає вимогам системи.

Для управління реле використовувати напругу або струм. Наприклад, використовувати мікроконтролер Arduino для керування реле, яке увімкне прилад, коли потрібно.

Деякі реле мають функцію захисту від перевантаження, що може бути корисним для захисту приладу від надмірного навантаження.

Звертаю увагу до специфікацій та рекомендацій виробника приладу та реле для правильного вибору та підключення.

Для забезпечення безперебійної роботи прилада і автоматизованого управління слід враховувати вимоги електробезпеки та специфікації самого приладу. Використання "біполярного" реле дозволяє ефективно керувати

включенням та виключенням прилада з використанням сигналу автоматизованого управління.

Важливо також врахувати, що під час проектування такої системи необхідно передбачити заходи захисту від короткого замикання, перевищення струму, перегріву та інших можливих небезпек, які можуть виникнути під час роботи системи. Окрім того, слід звернути увагу на вибір правильного джерела живлення для автоматизованого управління, щоб уникнути можливих проблем з електроживленням та перериванням роботи системи.

Для розрахунку біполярного реле потрібно врахувати його параметри, такі як опір котушки, напруга живлення, а також струм та напруга комутації. Опір котушки ( $R_{coil}$ ) може бути вказаний в технічних характеристиках реле, наприклад, для прикладу візьму опір 400 Ом.

Біполярне реле - це електромеханічний пристрій, який може переключати електричні сигнали з одного стану в інший. Воно має два стани роботи вимкнено (відключено) і увімкнено (підключено). Принцип дії біполярного реле полягає у використанні електромагнітної котушки для перемикавання контактів.

Коли на котушку подається електричний струм, вона створює магнітне поле, яке приводить до перемикавання контактів реле з одного положення в інше. Це дозволяє використовувати реле для керування електричними навантаженнями з низьким струмом або напругою за допомогою електричного сигналу.

Ефективність біполярного реле у схемі залежить від декількох факторів, таких як його точність перемикавання, витрата енергії при роботі, надійність і тривалість служби. Біполярні реле використовуються в різних сферах, включаючи промисловість, автомобільну промисловість, електроніку та інші галузі, де потрібно керувати електричними навантаженнями.

Для розрахунку потужності, яку споживає котушка реле, використовується формула

$$P = \frac{V \times I}{R} \quad (2.18)$$

де P - потужність (ват),

V - напруга живлення (вольти),

R - опір котушки (ом).

Якщо приймаю, що напруга живлення реле становить 5 Вольт, то можу розрахувати

$$P = 5 \times 2 / 400 = 25 / 400 = 0.0625 \text{ Вт}$$

Отже, потужність котушки реле складає близько 0.0625 Вт.

Для вирішення цієї задачі потрібно використати біполярне реле з двома незалежними контактами один для увімкнення пристрою, коли він вимкнений, інший - для вимкнення, коли він включений.

Підключення першого контакту (NC - Normally Closed).

Коли пристрій вимкнений, контакт NC буде замкнутий (увімкнений), що дозволить електричному струму проходити через реле і вмикати пристрій.

Підключення другого контакту (NO - Normally Open).

Коли пристрій включений, контакт NO буде відкритий (вимкнений), що перешкоджає електричному струму проходити через реле і вимикає пристрій.

Таким чином, коли пристрій вимкнений і автоматизоване управління подає сигнал на реле, контакт NC буде замкнутий, вмикати пристрій. Коли пристрій вже увімкнений, і приймається сигнал на вмикання, контакт NO буде відкритий, і реле ігноруватиме цей сигнал.

Щоб автоматизоване управління не заважало штатній роботі пристрою і вмикало його тільки у випадках, коли він вимкнений, потрібно правильно підключити біполярне реле.

## 2.16 Підключення САК

Arduino або інший мікроконтролер

Біполярне реле (з контактами NO і NC)

Датчик загазованості (CO<sub>2</sub> , CH<sub>4</sub> або інший)

Діоди для захисту реле від зворотних напруг

Дроти для підключення

NO (Normally Open) – контакт, який залишається розімкнутим, коли реле не активовано.

NC (Normally Closed) – контакт, який залишається замкнутим, коли реле не активовано.

COM (Common) – загальний контакт, який перемикається між NO та NC.

Arduino

Підключіть один із цифрових виходів Arduino до входу реле через діод для захисту (наприклад, до піна D3).

Підключу землю Arduino до землі реле.

COM (Common) Підключіть загальний контакт реле до одного з полюсів джерела живлення пристрою. Це точка, через яку живлення буде подаватися на пристрій.

NC (Normally Closed). Підключу цей контакт до іншого полюса живлення вашого пристрою. У звичайному стані (коли реле не активовано) цей контакт з'єднаний із COM, тому живлення подається на пристрій.

NO (Normally Open) Цей контакт залишається відкритим, коли реле не активовано. Коли реле активується, цей контакт з'єднується із COM і, у випадку потреби, може бути підключений до іншого необхідного елемента схеми (наприклад, до землі для забезпечення замикання).

Живлення пристрою Підключіть один полюс живлення до контакту NC реле, а інший полюс живлення – до COM реле.

Коли пристрій вимкнений, контакт NC реле замкнутий із COM, і живлення подається на пристрій.

Коли пристрій увімкнено, реле перемикається, і контакт NO з'єднується із COM, але це не впливає на живлення пристрою, який вже увімкнений.

Вибрав вивід Arduino, який буде використаний для відправлення сигналу на включення пуску. Використовую цифрові виводи (наприклад, D2 або D3).

Вибраний вивід Arduino до вхідного виводу на контрольному пристрої (PLC або іншому пристрої управління). Використавши провід або реле для забезпечення електричного зв'язку.

Програмне забезпечення Arduino

// Пін підключення

const int CO<sub>2</sub>SensorPin = A0; // Пін для аналогового сигналу з датчика CO<sub>2</sub>

const int relayPin = 3; // Пін для керування реле

const int threshold = 400; // Поріг концентрації CO<sub>2</sub> для включення реле (налаштуйте відповідно до вашого датчика)

void setup() {

pinMode(CO<sub>2</sub>SensorPin, INPUT); // Налаштування піна для датчика CO<sub>2</sub> як вхідного

pinMode(relayPin, OUTPUT); // Налаштування піна для реле як вихідного

digitalWrite(relayPin, LOW); // Вимкнути реле на початку

Serial.begin(9600); // Ініціалізація серійного зв'язку для відлагодження

}

```

void loop() {
    int CO2Level = analogRead(CO2SensorPin); // Зчитування рівня CO2 з
аналогового входу

    Serial.print("CO2 Level: ");
    Serial.println(CO2Level); // Виведення рівня CO2 в серійний монітор

    // Якщо рівень CO2 перевищує поріг, вмикаємо реле
    if (CO2Level > threshold) {
        digitalWrite(relayPin, HIGH); // Включаємо реле
        delay(5000); // Затримка для стабільного включення
установки (можна налаштувати)
    } else {
        digitalWrite(relayPin, LOW); // Вимикаємо реле, якщо рівень CO2
нижче порогу
    }

    delay(1000); // Затримка між зчитуваннями (налаштуйте за потребою)
}

```

Перевірів правильність роботи програми та підключення.

<b>Характеристика</b>	<b>Значення</b>
Виробник	Aerostar
Країна виробник	Україна
Тип рекуператора	Пластинчастий
Розміщення рекуператора	Внутрішнє
Продуктивність	500 куб. м/год
Напруга	230 В

Характеристика	Значення
Частота тока	50 Гц
Вага	92 кг
Тип установки	Приточно-витяжна
Потужність двигуна, кВт	2x0,17
Потужність передпідігріву, кВт	1,2
ККД рекуператора	80%
Габаритні розміри	
- Ширина	782 мм
- Довжина	1070 мм

Рисунок 2.1-Характеристики установки

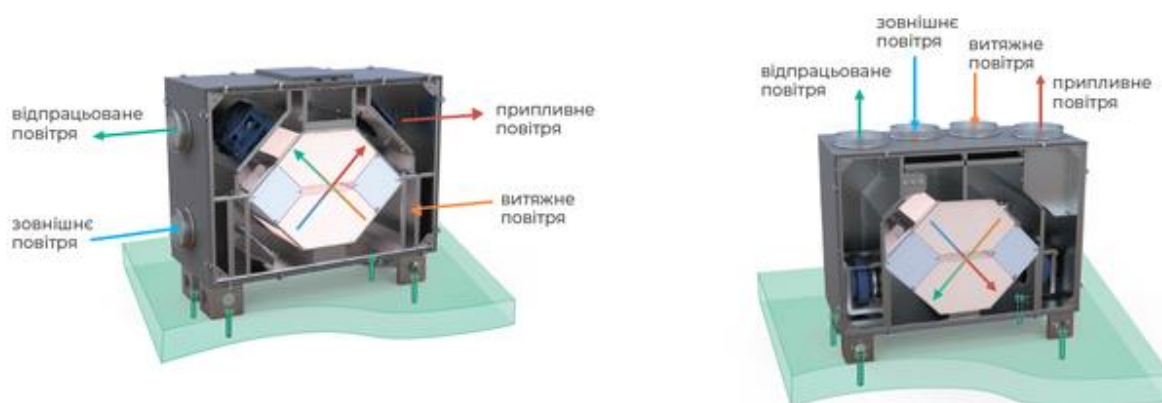




Рисунок 2.2- Вигляд установки

### 2.17 Висновок

У другій частині дипломної роботи було детально розглянуто автоматизовану систему рекуперації тепла для житлового будинку. Основною метою цієї частини було дослідити технічні аспекти системи, зокрема компоненти, функціональність, монтаж та програмне забезпечення, а також оцінити економічність та ефективність впровадження такої системи.

На основі проведеного аналізу було встановлено, що використання контролера Arduino у поєднанні з датчиками загазованості забезпечує високий рівень автоматизації та безпеки системи рекуперації тепла. Це дозволяє ефективно контролювати рівень газу в приміщенні та автоматично включати рекуператор при перевищенні порогового значення, забезпечуючи таким чином комфорт і безпеку для мешканців будинку.

Розроблена схема підключення та програмне забезпечення для Arduino дозволяють легко інтегрувати систему у вже існуючу інфраструктуру житлового будинку. Використання біполярного реле забезпечує надійне

включення рекупераційної установки при виявленні небезпечних концентрацій газів, зберігаючи її працездатність до ручного перезапуску.

Також було розглянуто питання економічності впровадження системи. Використання доступних та надійних компонентів, таких як Arduino і датчики загазованості, дозволяє значно знизити капітальні витрати на створення системи. Крім того, раціональне планування електропроводки та встановлення енергоефективних приладів сприяють зменшенню експлуатаційних витрат, що є важливим аспектом у контексті зростаючих цін на енергоносії.

Висновки, отримані у другій частині роботи, свідчать про те, що впровадження автоматизованої системи рекуперації тепла на основі Arduino є ефективним та економічно доцільним рішенням для підвищення енергоефективності аудиторії. Така система не лише забезпечує комфортні умови, але й сприяє зменшенню споживання енергії та витрат на опалення, що є важливим кроком на шляху до сталого розвитку та екологічної безпеки.

### **Висновок**

Дана дипломна робота присвячена розробці та впровадженню автоматизованої системи рекуперації тепла. Метою роботи було дослідження та створення ефективної системи, яка дозволить оптимізувати використання тепла та підвищити рівень енергоефективності будинку, використовуючи сучасні технології автоматизації на базі контролера Arduino.

Основні результати роботи можна підсумувати наступним чином.

У першій частині роботи було проведено детальний аналіз потреб житлового будинку в системі рекуперації тепла, а також визначено основні вимоги до такої системи. Було виявлено, що впровадження системи рекуперації тепла дозволить значно знизити витрати на опалення та підвищити комфортні умови проживання.

У другій частині роботи було розроблено технічні рішення для автоматизації системи рекуперації тепла. Було визначено оптимальні компоненти системи, зокрема контролер Arduino, датчики загазованості, реле та інші необхідні елементи. Розроблено схему підключення та програмне забезпечення для керування системою.

В ході роботи було проведено економічний аналіз впровадження автоматизованої системи рекуперації тепла. Використання доступних та надійних компонентів дозволяє значно знизити капітальні витрати, а також зменшити експлуатаційні витрати завдяки підвищенню енергоефективності.

Була розроблена і протестована система автоматизації на базі контролера Arduino, яка успішно виконує всі функції, передбачені у проекті. Система автоматично контролює рівень загазованості в приміщенні та включає рекуператор при перевищенні порогового значення, забезпечуючи безпеку та комфорт мешканців будинку.

В цілому, результати роботи свідчать про те, що впровадження автоматизованої системи рекуперації тепла на базі сучасних технологій є ефективним та економічно доцільним рішенням. Така система не лише забезпечує оптимальні умови для перебування, але й сприяє зменшенню енергоспоживання та витрат на опалення, що є важливим кроком на шляху до сталого розвитку та екологічної безпеки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] <https://www.britannica.com/biography/William-Hedley>
- [2] <https://ankort.com/ua/katalog>
- [3] <https://vent-systems.com.ua>
- [4] [https://aerostar.ua/uploads/admin/%D0%9A%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%82%D0%B2%D0%BE\\_%D0%B7\\_%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%B6%D1%83\\_%D1%82%D0%B0\\_%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%BB%D1%83%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97\\_EcoStar\\_SlimStar\\_RU\\_UA\\_EN.pdf](https://aerostar.ua/uploads/admin/%D0%9A%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%82%D0%B2%D0%BE_%D0%B7_%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%B6%D1%83_%D1%82%D0%B0_%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%BB%D1%83%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97_EcoStar_SlimStar_RU_UA_EN.pdf)
- [5] <https://habr.com/companies/timeweb/articles/712120/>
- [6] <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2015-04/Energy%20Strategy.pdf>
- [7] <https://termal.ua/ua/systema-ventyliatsii-z-rekuperatsiieiu-vydy-osoblyvosti-perevahy/>
- [8] <https://www.greenbuildingadvisor.com/article/all-about-u-factor>
- [9] <https://www.sciencedirect.com/>

- [10] книга "Основи тепло- та масообміну" Теодора Л. Бергмана, Едрієнн С. Лавін, Френка П. Інкропера та Девіда П. ДеВітта.
- [11] "ASHRAE Handbook - HVAC Systems and Equipment".
- [12] "Основи тепло- та масообміну" від Інкропера та Dewitt .
- [13] "Fundamentals of Electric Circuits" by Charles K. Alexander and Matthew N. O. Sadiku.

## **Додатки**

## 1 Analytical part

### 1.4 Analytical review of types of heat exchangers and the principle of their operation

Air recovery can use different types of heat exchangers, or "fillers", to efficiently transfer the heat from the exhaust air to the fresh air. Here are some of the most common types of "stuffing" in recuperators.

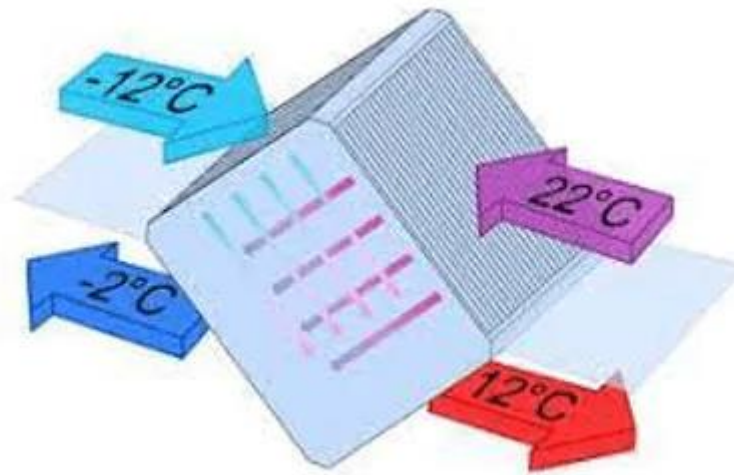


Figure 1.1 - Operation of the Plate Heat Exchanger

Plate heat exchangers. This type of heat exchanger consists of flat plates that provide a large contact surface between the exhaust and fresh air. Air flows pass on different sides of the plates, where heat exchange takes place. Plate recuperators are used for efficient heat exchange between two different streams of air or liquid. They can have different designs, depending on the needs of the application. The main forms and types of plate recuperators include.

Cross-flow plate heat exchangers. In these recuperators, air or liquid streams move perpendicularly to each other, which allows efficient heat exchange. This design provides high heat transfer with compact dimensions.

Plate heat exchangers with parallel flow. Flows of liquid or air move parallel to each other, which also allows efficient heat exchange. They can be less compact, but are usually less efficient than cross-flow recuperators.

Plate recuperators with bent channels. In this design, each plate has bent edges that create channels for air or fluid to move. This allows you to increase the heat exchange surface and increase the efficiency of the recuperator.

In the design, the channels can change their shape or width, which allows you to adjust the amount of heat exchange depending on the conditions.

Plate recuperators with additional plates. Additional plates are added to the main plates, which increases the heat exchange surface and increases the efficiency of the recuperator.

Each type has its advantages and disadvantages, and the choice of a particular design depends on the specific application requirements.

So, let's consider the main types of plate recuperators along with their advantages and disadvantages

#### Cross-flow plate heat exchangers

##### Advantages:

- High efficiency of heat exchange.
- Compact dimensions.
- Possibility of use in a wide range of temperatures and pressures.

##### Disadvantages:

- High cost.
- Need for regular maintenance and cleaning.

#### Plate heat exchangers with parallel flow

##### Advantages:

- Simplicity of design.
- Possibility of use in systems with large volumes of liquid or air.

##### Disadvantages:

- Lower heat transfer efficiency compared to cross flow.

-Larger dimensions compared to cross flow.

Plate recuperators with bent channels

Advantages:

-Increased heat exchange surface.

-High heat transfer at large volumes.

Disadvantages:

-Difficulty of construction and manufacturing.

-Increased pressure losses.

Plate recuperators with variable channels

Advantages:

- Possibility to adjust the efficiency of heat exchange depending on the conditions.

-Energy saving.

Disadvantages:

-Difficulty of construction and manufacturing.

-Higher cost.

Plate recuperators with additional plates

Advantages:

-Increased efficiency of heat exchange.

-Reducing the size of the installation.

Disadvantages:

-Need for maintenance and cleaning.

-Increased pressure losses.

Each type of recuperator has its own unique characteristics, and the choice of option should be based on specific needs and operating conditions.

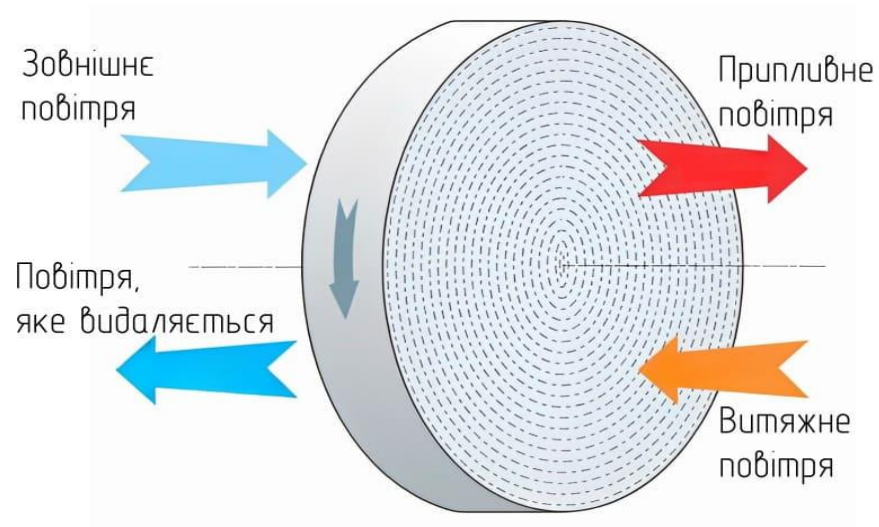


Figure 1.2- Rotary Heat Exchanger

Rotary heat exchangers consist of a rotor or wheel that rotates between two air flows. The rotor contains a material with a high heat capacity, for example, ceramic plates, which allow the heat of the exhaust air to be efficiently transferred to the fresh air.

Tubular heat exchangers consist of internal tubes through which exhaust air is passed, and external tubes through which fresh air is passed. Heat is transferred through the walls of the tubes.

Combined heat exchangers can use a combination of different types of heat exchangers, such as plate heat exchangers for one airflow and tube heat exchangers for another, for optimal heat transfer.

These types of "stuffing" can be used in various configurations to achieve the desired level of heat transfer and energy efficiency in recovery systems.

Here are the advantages and disadvantages of different types of recuperators

Heat exchange (flow) recuperators

Advantages:

- High efficiency of heat exchange.
- Possibility of use for ventilation systems of any capacity.
- Low cost compared to other types of recuperators.

Disadvantages:

- Require regular maintenance and cleaning of the heat exchanger.
- Possibility of intercepting odors if air filtration is not used.

#### Recuperators with a mixed flow

##### Advantages:

- Increased efficiency of heat exchange due to mixing of air flows.
- Reducing the risk of odor interception.

##### Disadvantages:

- Higher cost compared to flow recuperators.
- Increased noise level due to air flow mixing.

#### Plate recuperators

##### Advantages:

- Large area of heat exchange in a small volume.
- High heat exchange efficiency.
- Possibility of easy efficiency adjustment by changing the number of plates.

##### Disadvantages:

- Require regular cleaning and maintenance.
- Higher cost compared to other types.

#### Tubular recuperators

##### Advantages:

- Durability and reliability.
- Possibility of use in high temperature conditions.

##### Disadvantages:

- Limited heat exchange efficiency due to limited heat exchange surface area.
- Increased risk of freezing of the heat exchanger at low temperatures.

#### Automatic recuperators

##### Advantages:

- Automatic regulation of work to ensure optimal conditions of comfort and energy efficiency.
- Possibility of saving energy due to work optimization.

Disadvantages:

- Higher cost due to the presence of additional electronic components.
- The need for regular maintenance and the possibility of breakdowns in electronic components.

Rotary recuperators are a type of recuperators used for efficient heat exchange between air streams. The main element of rotary recuperators is a rotor or a wheel that rotates and contains a material with a high heat capacity, for example, ceramic or polymer plates.

Advantages:

- High efficiency of heat exchange due to the large area of contact between the air flows.
- The possibility of heat regeneration, which allows you to use the heat that is lost during the removal of exhaust air for heating fresh air.
- Possibility of application in systems with high temperatures or conditions with high humidity.

Disadvantages:

- The need for regular maintenance and cleaning of the rotor to maintain efficiency.
- Higher cost compared to other types of recuperators.
- The need for additional space to install the rotary recuperator due to its size.

Water recuperator is a term that can be applied to a variety of systems, however, as used in the context of ventilation and heat transfer, it can refer to the use of an aqueous or glycol solution as a heat carrier in the heat transfer process. Such systems are usually used for ventilation air heat exchange, where heat is transferred from the exhaust stream to the fresh air entering the room.

Advantages of water recuperators may include:

- High heat exchange efficiency due to the high heat capacity of water or glycol.

- Possibility of use for air humidity control, as humidity can also be transferred from the exhaust stream to the fresh air.

- Can be used in low temperature systems where water or glycol can remain in a liquid state.

Disadvantages may include:

- The increased complexity of the system due to the presence of a heat exchanger and a coolant circulation system.

- The need for regular maintenance and control of the level and quality of the coolant.

- Higher energy consumption for heat carrier circulation compared to air recuperators.

In general, water recuperators can be effective in recovering heat and moisture, but require additional systems and maintenance.

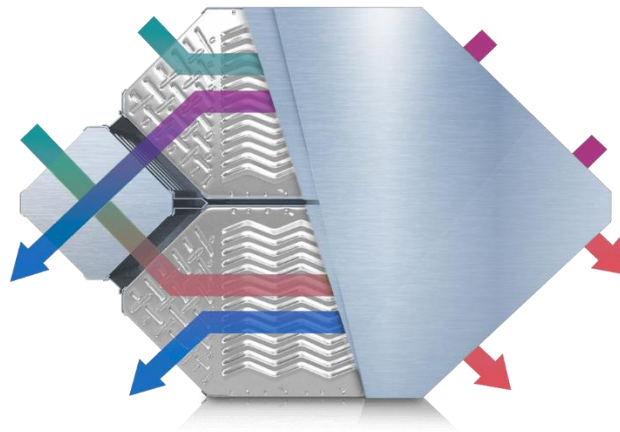


Figure 1.3- Combined heat exchanger

Combined heat exchangers combine different types of heat exchangers (for example, plate and tube) to achieve optimal heat exchange. They have their advantages and disadvantages

Advantages of combined heat exchangers:

- High efficiency of heat exchange
- The combination of different types of heat exchangers allows to achieve high efficiency of heat exchange.
- The ability to adjust various components of the heat exchanger to achieve optimal heat exchange parameters.
- Reduction of energy losses due to efficient heat exchange, which allows to reduce costs for heating or air conditioning.

Disadvantages:

- The complexity of the design.
- Cost.
- Potential maintenance issues.

Despite this, combined heat exchangers remain very effective solutions for heat recovery systems, especially in demanding conditions of energy efficiency [2].

The EcoStar 500 EC X unit uses a plate heat exchanger. This type of heat exchanger is considered very effective in heat recovery because it provides a large contact surface for heat exchange between the outlet and inlet air streams. This allows efficient transfer of heat from one stream to another, reducing energy losses [3].

The installation can be quite automated, especially when used in combination with a control and management system (CMS). KUS allows you to automatically control the parameters of the installation, such as fan speed, air temperature, humidity level and other parameters, ensuring an optimal level of comfort and energy efficiency.

### **1.5 Features of using and connecting sensors**

Regarding the sensors that can be used in the installation, they can be, for example:

- Temperature sensors for measuring the temperature of the outgoing and incoming air.

- Humidity sensors for measuring air humidity level.

- Pressure sensors for monitoring the operation of fans and the air circulation system.

- Gas or smoke detectors to detect possible problems with gas or other emissions.

These sensors can be connected to a KUS or a monitoring and control device, which allows you to automatically respond to changes in the environment and optimize the operation of the installation to ensure comfort and safety.

To configure the software of the control system (control and control system) in the ventilation system. Usually, the software comes with an installation disk or is available for download from the manufacturer's website. Install the program on the computer that will be used to manage the installation. Connect your computer to the setup using an Ethernet cable or wireless connection if supported. Run the software on your computer. After starting, you will see the main window of the program with the possibility of choosing control parameters. Set the necessary control parameters, such as operating modes, temperature conditions, fan speed and other parameters that may be available according to the capabilities of the installation and software. After setting, save the settings so that they are applied during the installation.

Make sure that the software works correctly and that the installation responds to parameter changes. These are the general steps for setting up the ECU software for the EcoStar 500 EC X installation.

To connect, you will need to have control access. Usually, software tools are used for this, which allow you to manage the parameters and settings of the installation. The control interface can be accessed through a local network or directly through a special screen or control panel, if such is present in the installation.

To connect to the installation via a local network, you will need to know the IP address or hostname of the installation, as well as possibly the login and password for access. After that, I will be able to use the software to manage the installation, change parameters and monitor its operation.

If the installation software does not support additional sensors, I can consider several possible solutions for connecting them[4].

I can install an external controller, such as Arduino or Raspberry Pi, which supports the connection of various types of sensors. Then program this controller to collect data from the sensors and transfer them to the installation via an available interface, for example via a network or a USB port.

Try to modify the installation software to support the new sensors. This can be a difficult task and will require careful code analysis and possible support from the manufacturer.

Use an intermediate device that can process data from the sensors and transfer them to the installation through an available interface. This device can be a server or a cloud service.

Before choosing any solution, it is important to make sure that it meets my needs and capabilities, and also takes into account all safety aspects and requirements for the operation of the installation[5].

Ukraine has strategic goals to reduce energy dependence and increase the energy efficiency of its economy. The implementation of recuperation technologies can become one of the key directions for the realization of these goals. Energy conservation measures and the use of renewable energy sources are priority tasks of Ukrainian energy policy. In this context, the study of thermal energy recovery is relevant and important.

At the international level, there is a growing interest in recuperation as an effective tool for energy conservation. Many countries are already successfully implementing recovery technologies in various industries, which indicates the great potential of this process. The study of international experience will allow to

take into account the best practices and apply them to Ukrainian practice. Thermal energy recovery can contribute not only to the conservation of resources and the reduction of emissions, but also to the creation of new jobs and the stimulation of innovative development. The introduction of energy-efficient technologies can ensure sustainable economic growth and increase the competitiveness of Ukrainian enterprises on the world market[6].

Advantages :

-EcoStar 500EC X uses advanced technologies to efficiently recover thermal energy, providing significant savings on heating and air conditioning.

-Cost reduction.This installation allows you to significantly reduce heating and air conditioning costs, which allows you to save money for building owners.

-Improving air quality.Recovery units improve indoor air quality by filtering it from harmful substances and dust.

Environmental friendliness.The use of EcoStar 500EC X helps to reduce emissions of CO<sub>2</sub> and other harmful substances, contributing to the improvement of the ecological situation.

-Ease of use.This installation has simple management and does not require complex technical knowledge for operation.

Disadvantages

- High cost.The initial cost of installing the EcoStar 500EC X can be high, which can be a barrier for some budgets.

-The need for regular maintenance.Recovery plants require regular maintenance and replacement of filters, which can increase their maintenance costs.

-The need for sufficient access to outside air.The installation requires sufficient access to fresh outside air for efficient operation, which can be problematic for some types of buildings.

- Need for additional space.Installing a recovery unit may require additional space in the building to accommodate the equipment.

-Limited effectiveness in extreme conditions. On very cold or very hot days, the efficiency of heat recovery may be limited.

This is a general overview of the pros and cons of the EcoStar 500EC X recovery units, which may vary depending on specific usage conditions and equipment settings [7].

## **1.6 Principles of automation system design**

Development of an automation algorithm that would take into account all the requirements and features of the installation, as well as the determination of the necessary equipment.

Installation of gasification sensors and other equipment necessary for the automation of the installation.

Connecting all components to the installation and programming of the automation system.

Conducting tests to verify system performance and making necessary adjustments for optimal performance.

Preparation of documentation with schemes and instructions for operating the system, as well as training of personnel in its use.

Once the system is successfully implemented, ongoing support and maintenance must be provided to ensure its reliable and efficient operation. This process requires detailed planning, technical expertise and collaboration with automation and energy specialists. It is also necessary to comply with all technical safety requirements and regulatory requirements when performing work.

The first stage of project implementation - system and requirements analysis - is critical for the successful automation of the EcoStar 500EC X recuperation

plant and the installation of gasification sensors. Below is a general outline of the analysis

A thorough study of the technical characteristics and principles of operation of the installation.

Determining the needs and expectations of users regarding automation and operational safety.

Analysis of technical requirements for the automation system and sensors, including compatibility with existing equipment.

Identification of potential security and performance threats associated with automation and sensor deployment.

Setting requirements for the automation system and sensors to ensure user and installation safety.

Determination of key performance indicators to assess the success of the project.

Establishing requirements for the integration of the new system with existing equipment and infrastructure.

Estimation of expected costs and time required for project implementation.

Identification of the main stakeholders of the project and their expectations.

This analysis will help identify the key project requirements and tasks necessary to successfully implement the automation and installation of gasification sensors on the EcoStar 500EC X installation.

The second stage of the project - the design of the automation system - involves the development of a concept and a technical implementation plan. Here are the main steps of this stage

-Selection of the automation strategy and development of the general concept of system operation.

-Selection of carbonation sensors and other equipment according to the requirements and capabilities of the EcoStar 500EC X system.

- Development of schemes for connecting sensors and the automation system to the installation.

- Development of an automation algorithm that would take into account different operating conditions and user needs.

- Selection of the necessary software for system management and sensor data processing.

- Development of an interface for convenient system management and monitoring.

- Development of technical documentation, including schemes, specifications and implementation plans.

- Conducting tests to verify system performance and making adjustments for optimal performance.

- Preparation of documentation with diagrams, instructions and technical characteristics for further operation and maintenance.

## **1.7 Types and information of sensors**

This stage is important for creating a detailed project implementation plan and ensuring the successful implementation of automation and installation of sensors on the plant.

Some of the famous manufacturers.

Honeywell manufactures a wide range of CO<sub>2</sub> sensors for industrial and commercial use, including models with different measurement ranges and the ability to connect to automation systems.

Siemens offers a variety of CO<sub>2</sub> sensors with high measurement accuracy and fast response time, suitable for use in industrial installations.

Aeroqual manufactures compact and accurate CO<sub>2</sub> sensors that can be used for monitoring in both industrial and commercial installations.

Senseair is known for its high quality CO<sub>2</sub> sensors for various applications including industrial installations.

Vaisala offers high precision CO<sub>2</sub> sensors for measuring CO<sub>2</sub> levels in industrial installations.

In order to connect additional sensors to my EcoStar 500 EC X installation, there are several important requirements to consider

The sensors should work with a 230W supply voltage, which is standard for my installation.

Must have a compatible interface to connect to the installation. For my installation, sensors with analog or digital output can be suitable, which can be connected to the input or output ports of the installation.

A range that meets the needs of my installation. For example, if I need to measure temperature, the measurement range can be from -10°C to +50°C.

The sensors must be compatible with the software and hardware of my installation. It is important to check whether the installation software supports the connection of additional sensors.

Dimensions that allow them to be installed in the desired place of installation without obstacles.

Must be resistant to moisture, temperature changes and other external factors that may affect their work.

Before connecting additional sensors to my installation, I make sure they meet all these requirements. Detailed information can be found in the technical documentation of my installation or consult with service specialists.

Discrete CO<sub>2</sub> sensors output a signal in the form of two states of on or off, which allows them to transmit information about the presence or absence of a certain level of CO<sub>2</sub> in the room. This type of sensor has several advantages, especially for use with platforms such as Arduino.

Discrete sensors have a simple signal output protocol, which allows you to easily and quickly connect them to the Arduino without complex operations with an analog or digital signal.

The signal requires less memory to store and process compared to an analog signal, making them ideal for memory-constrained projects like the Arduino.

Because of the simplicity of the signal output, it is easier to program to take certain actions when the CO<sub>2</sub> threshold value is exceeded, such as turning on ventilation or displaying a warning message.

To conserve energy, as the sensor can be in sleep mode until it detects that the CO<sub>2</sub> threshold has been exceeded.

Therefore, using sensors in conjunction with Arduino can simplify the development of air quality control projects and ensure efficient use of the platform's resources.

In order for the Arduino to send a signal to start the recuperation installation, you will need to connect the Arduino to the recuperation control device (for example, a program logic controller, PLC). Here is a general approach to this connection

PLCs (programmable logic controllers) are specialized computer devices used to automate processes in industry and other industries. They are used to control various devices and systems, such as various types of mechanisms, pumps, fans, conveyors, lighting systems and others.

A PLC has inputs and outputs that allow it to interact with external equipment. PLC output is the interface through which the PLC interacts with connected devices. The output can be used to control voltage, current or signals affecting the operation of connected equipment.

The output of the PLC can be programmed to perform certain actions depending on the conditions or signals coming from the inputs. For example, can turn the device on or off according to the program programmed into it.

## **2.5 Conclusions by section and setting the tasks of the qualification work**

In the theoretical part of the chapter, the main aspects of automation of the EcoStar 500 EC X installation were considered in order to increase its efficiency and safety. The conducted analysis showed that the implementation of an automated control system based on gas sensors can significantly improve the operational characteristics of the installation.

Automation of control processes allows to significantly reduce the energy consumption of the installation due to optimization of its operation. Implementation of the system of automatic on/off of the installation based on the level of gassing ensures economical use of electricity.

The automation system increases the safety of operation of the installation. Gas sensors ensure timely activation of the ventilation system in the event of an increase in the gas level in the room, which reduces the risks associated with possible gas leaks.

The automated system allows you to constantly monitor the state of the installation and diagnose possible malfunctions in a timely manner. This ensures prompt response to deviations in system operation and warns of possible emergency situations.

The automated control system helps increase the energy efficiency of the installation. Thanks to the optimization of the operation of the ventilation system, the total costs of electricity are reduced, which positively affects the overall economic efficiency of the use of the installation.

Setting tasks for the theoretical part of the qualification work.

Conduct an overview of modern automation technologies used in ventilation and air conditioning systems. To study the basic principles of automated systems, their advantages and disadvantages.

Consider the different types of gasification sensors and controllers that can be used to automate the EcoStar 500 EC X installation. Determine the most suitable components, taking into account the technical characteristics of the installation and operating conditions.

Create algorithms for controlling the ventilation system based on the indicators of gasification sensors. Determine the conditions under which the system should be turned on or off, as well as predict work scenarios in case of increased gassing.

Simulate the operation of the automated system using specialized software. Evaluate the effectiveness of the proposed solutions and their impact on energy consumption and safety of the installation.

Calculate the economic feasibility of implementing an automated system. Determine the potential costs and savings from reducing energy consumption, as well as estimate the payback period for automation investments.

These tasks will allow a deeper understanding of the principles of automation of ventilation systems and justify the feasibility of implementing an automated control system for the EcoStar 500 EC X installation.

### Актуальність теми

У сучасному світі питання енергозбереження та підвищення енергоефективності стають дедалі актуальнішими. Впровадження автоматизованих систем рекуперації в будівлях дає змогу покращити якість повітря в приміщеннях. Це сприяє підвищенню комфорту людей та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

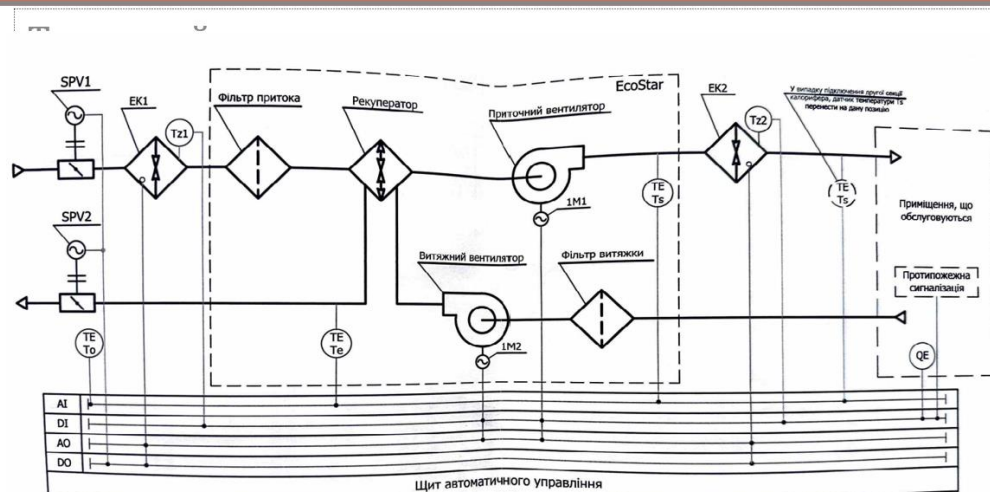
**Метою** даної роботи є розробка та впровадження автоматизованої системи рекуперації з використанням контролера Arduino та датчика загазованості. Система повинна забезпечувати ефективне та безпечне використання енергії, автоматично контролювати рівень загазованості в приміщенні та включати рекуператор при перевищенні допустимих концентрацій газу.

Основні завдання, які необхідно виконати для досягнення цієї мети, включають:

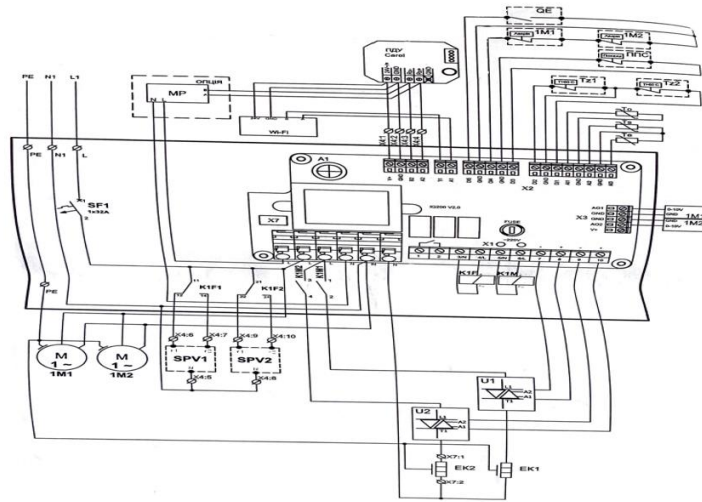
- Вибір і дослідження компонентів системи.
- Розробка схеми підключення та програмного забезпечення
- Проведення економічного аналізу ефективності впровадження системи та оцінка можливостей зниження експлуатаційних витрат.
- Забезпечення безпеки та надійності системи.

В результаті роботи була створена надійна та ефективна система автоматизованої рекуперації тепла, яка забезпечить підвищення енергоефективності будівлі, поліпшення умов перебування.

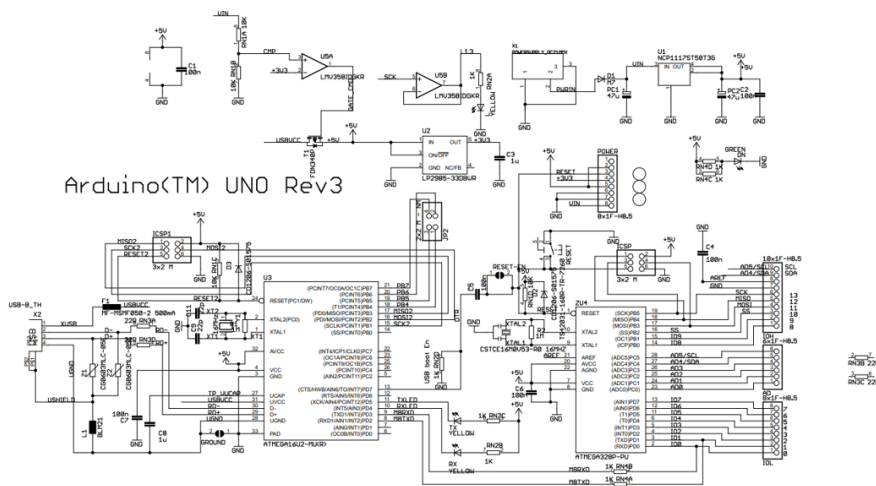
## Загально функціональна схема пульта управління установкою рекуперації



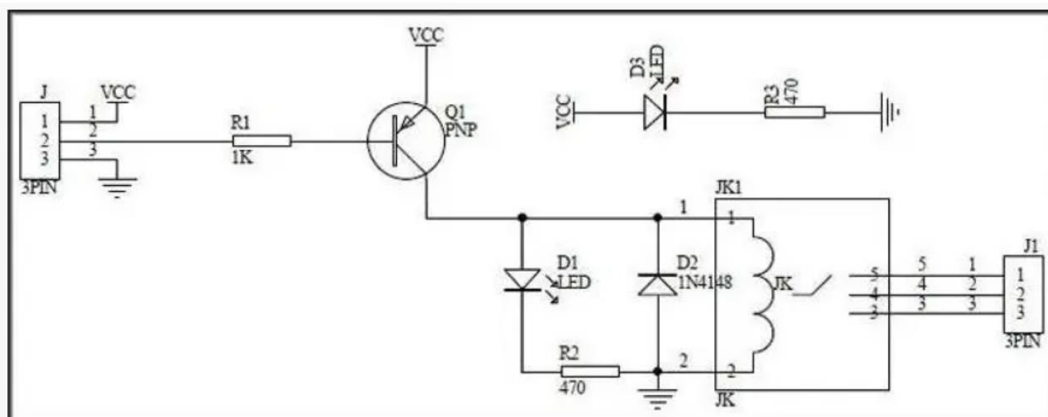
## Монтажна схема пульта управління установки рекуператора



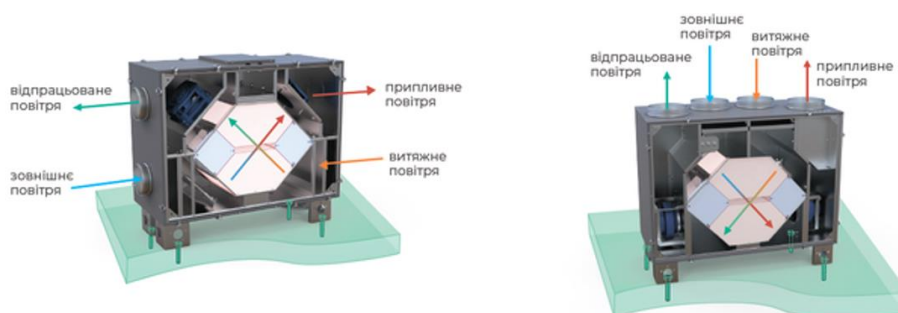
## Електрична схема Arduino UNO R3



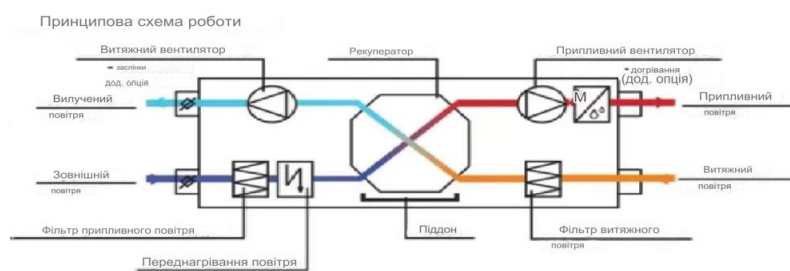
## Електрична схема реле модуля



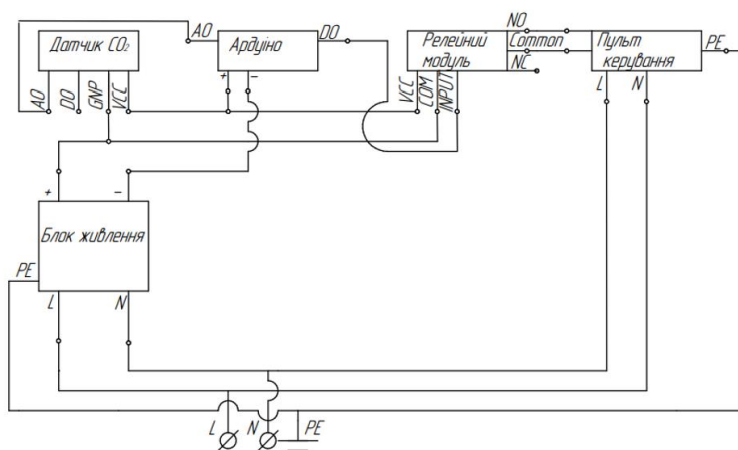
## Технологічні потоки рекуператора



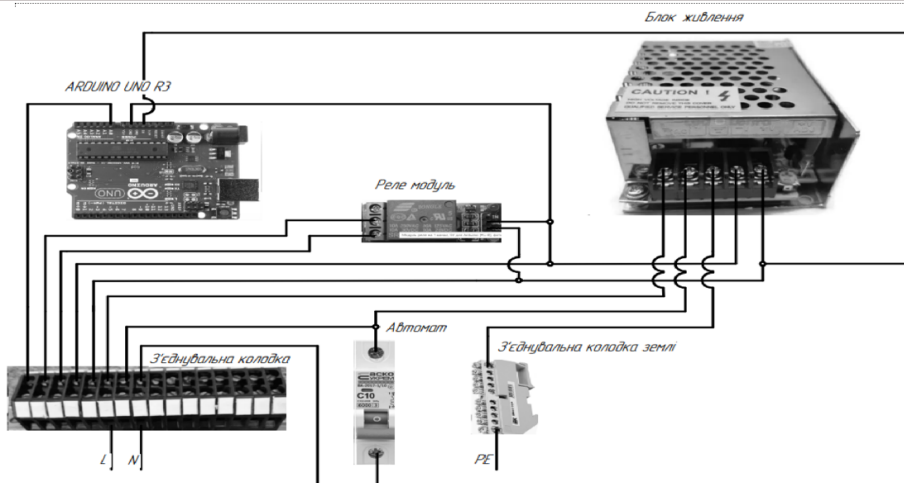
## Принципова схема роботи рекуператора



## Електрична схема автоматизування



## Монтажна схема САК



## Висновок до роботи

У процесі виконання даної роботи було розроблено та впроваджено автоматизовану систему рекуперації з використанням контролера Arduino та датчика загазованості. Проведено детальний аналіз потреб будівлі у системі рекуперації, визначено основні технічні вимоги та обрано відповідні компоненти системи. Розроблено схему підключення та програмне забезпечення для керування системою, які було успішно впроваджено та протестовано.

Економічний аналіз показав, що впровадження системи дозволяє підвищити енергоефективність будівлі. Забезпечено високий рівень безпеки системи, зокрема захист від перевищення допустимих концентрацій газів у приміщенні, що досягається за допомогою використання САК.

Розроблена система автоматизованої рекуперації є надійним та ефективним рішенням для підвищення енергоефективності, покращення якості перебування людей. Впровадження таких систем є важливим кроком на шляху до сталого розвитку та екологічної безпеки.