

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет автоматизації і інформаційних технологій
Кафедра автоматизації технологічних процесів

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗДОБУВАЧА
СТУПЕННЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ МАГІСТР

на тему:

**«Автоматизація приточно-витяжної вентиляції
з ентальпійним рекуператором»**

Митяй Римма Володимирівна

Київ 2024р.

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет автоматизації і інформаційних технологій
Кафедра автоматизації технологічних процесів

ЗАТВЕРДЖУЮ Завідувач кафедри

Андрій ЗАПРИВОДА

„___” _____ 2024 року

**«Автоматизація приточно-витяжної вентиляції
з ентальпійним рекуператором»**

*Я як здобувач вищої освіти КНУБА
розумію і підтримую політику
закладу з академічної доброчесності.
Я не надавала і не одержувала
недозволену допомогу під час
підготовки цієї роботи.
Використання ідей, результатів і
текстів інших авторів мають
посилання на відповідне джерело.*

Здобувач Митяй Римма
Володимирівна

174 – Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та
робототехніка

Автоматизоване управління
технологічними процесами

Група АКІТм – 23

Керівник Іносов Сергій Вікторович

К.т.н., доцент

Рецензент _____

Ідентичність підтверджую

Київ 2024р.

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет: автоматизації і інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації технологічних процесів

Освітній рівень: магістр за ОПП

Спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

Спеціалізація: Автоматизоване управління технологічними процесами

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. декана факультету
Олександр ТЕРЕНТЬЄВ

„___” _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

Митяй Римма Володимирівна

1. Тема роботи: «Автоматизація приточно-витяжної вентиляції з ентальпійним рекуператором»

затверджена наказом ректора КНУБА №12/12/2 від «28» червня 2024 року

2. Керівник роботи

Іносов Сергій Вікторович, к.т.н., доцент

3. Строк подання студентом роботи до захисту _____ 2024р.

4. Зміст пояснювальної записки за розділами:

Р.1. Теоретичні основи енергоефективності та автоматизації вентиляційних систем

Р.2. Аналіз літератури та сучасні дослідження

Р.3. Концепція та технології пасивного будинку

Р.4. Рекупераційні системи вентиляції

Р.5. Ефективність ентальпійного рекуператора тепла і вологи Діаграми Мольєра

Р.6. Технологічні рішення для автоматизації

Р.7. Техніко-економічне обґрунтування

5. Графічний матеріал за розділами

Р.4. Функціональна схема автоматизації пластинчастого теплообмінника

Р.6. . Функціональна схема автоматизації припливно-витяжної системи вентиляції з ентальпійним рекуператором, схема габаритних розмірів BELIMO, габаритні, монтажні і приєднувальні розміри реле тиску;

Р.6. Схема принципу роботи реле тиску, схема роботи приладу в системі вентиляції для контролю чистого фільтру, схема електричних з'єднань DANFOSS VLT MICRO DRIVE FC, схема приєднань частотного перетворювача

Р.6. Монтажні та приєднувальні розміри датчика температури, схема підключень МСХ06D

Р.7. Техніко-економічне обґрунтування

7. Календарний план виконання роботи:

а) наукова частина; б) практична частина.

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Розділ 1. Теоретичні основи енергоефективності та автоматизації вентиляційних систем	15.08.2024р.
Розділ 2. Аналіз літератури та сучасні дослідження	25.08.2024р.
Розділ 3. Концепція та технології пасивного будинку	05.09.2024р.
Розділ 4. Рекупераційні системи вентиляції	15.10.2024
Розділ 5 Ефективність ентальпійного рекуператора тепла і вологи Діаграми Мольєра	20.10.2024р.
Розділ 6 Технологічні рішення для автоматизації	30.10.2024р.
Розділ 7 Техніко-економічне обґрунтування	06.11.2024р.
Остаточне оформлення роботи	08.11.2024р.
Направлення роботи на рецензування, перевірку на плагіат	11.11.2024р.
Попередній захист роботи на кафедрі	06.11.2024р.

8. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірів	
		дата	підпис
Розділ 1.	Іносов Сергій Вікторович	15.08.2024р.	
Розділ 2.	Іносов Сергій Вікторович	25.08.2024р.	
Розділ 3.	Іносов Сергій Вікторович	05.09.2024р.	
Розділ 4.	Іносов Сергій Вікторович	15.10.2024	
Розділ 5	Іносов Сергій Вікторович	20.10.2024р.	
Розділ 6	Іносов Сергій Вікторович	30.10.2024р.	
Розділ 7	Шевчук Кирило Іванович	06.11.2024р.	

9. Дата видачі завдання 29.06.2024р.

Зав.кафедри

_____ (підпис)

Запривода А.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник

_____ (підпис)

Іносов С.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Студент

_____ (підпис)

Митяй Р.В.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕЗЮМЕ (summary) до атестаційної випускної роботи студента:		ПІБ <i>Митяй Римма Володимирівна</i>	
Назва ВНЗ	Київський національний університет будівництва і архітектури		
Тема	Автоматизація приточно-витяжної вентиляції з ентальпійним рекуператором		
Освітній ступень	Магістр за освітньо-професійною програмою навчання		
Факультет	автоматизації і інформаційних технологій		
Кафедра	автоматизації технологічних процесів		
Спеціальність	174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка		
Спеціалізація	Автоматизоване управління технологічними процесами		
Керівник	Іносов Сергій Вікторович, к.т.н., доцент		
Обсяг роботи:	пояснювальна записка, сторінок	розділів	креслень формату А1
	130	7	9
Розділ 1	Теоретичні основи енергоефективності та автоматизації вентиляційних систем		
Розділ 2	Аналіз літератури та сучасні дослідження		
Розділ 3	Концепція та технології пасивного будинку		
Розділ 4	Рекупераційні системи вентиляції		
Розділ 5.	Ефективність ентальпійного рекуператора тепла і вологи Діаграми Мольєра		
Розділ 6.	Технологічні рішення для автоматизації		
Розділ 7.	Техніко-економічне обґрунтування Результати техніко-економічного обґрунтування засвідчують, що застосування ентальпійного рекуператора дозволяє значно знизити витрати на опалення та кондиціонування, забезпечуючи швидку окупність інвестицій у середньостроковій перспективі. Такий підхід робить автоматизовану систему вентиляції важливим інструментом для підвищення енергоефективності житлових і комерційних будівель в Україні.		
Висновки по роботі:	Виконана робота підтверджує доцільність автоматизації припливно-витяжної вентиляції з використанням ентальпійного рекуператора в енергоефективних будівлях. Проведений аналіз літератури, сучасних технологій та концепції пасивного будинку дозволив створити рішення, що забезпечує оптимальний мікроклімат у приміщеннях з мінімальними тепловтратами. Запропонована система автоматизації не лише сприяє суттєвій економії енергії, але й відповідає стандартам Європейського зеленого курсу, що є особливо актуальним для України з огляду на сучасні виклики енергетичної незалежності.		
<p>Ключові слова: Пасивний будинок, автоматизація вентиляції, ентальпійний рекуператор, енергоефективність, економія енергії, проблеми енергетики в Україні.</p> <p>Keywords: Passive house, ventilation automation, enthalpy recuperator, energy efficiency, energy saving, energy problems in Ukraine</p>			

Укладач: Митяй Р.В. /

Керівник: Іносов С.В. /

“ ” _____

2024

Зміст

Анотація.....	8
Abstract.....	9
Вступ.....	10
Розділ 1. Теоретичні основи енергоефективності та автоматизації вентиляційних систем.....	13
1.1. Огляд стандартів енергоспоживання для будівель.....	13
1.2 Класифікація будівель за рівнем теплоспоживання.....	17
1.3 Основи енергоспоживання у будівлях та роль пасивних будинків.....	19
1.4 Сучасні методи автоматизації вентиляції для зниження енергоспоживання.....	22
Розділ 2. Аналіз літератури та сучасні дослідження.....	24
2.1. Ефективність систем вентиляції у пасивних будинках.....	24
2.2. Вплив швидкості повітряних потоків на ефективність рекуператорів.....	25
2.3. Практичні результати використання пасивних будинків.....	25
2.4. Інтеграція технологій у сучасному будівництві.....	25
2.5. Огляд впливу рекуперації на якість повітря.....	26
2.6. Інтеграція з іншими системами.....	26
2.7. Оцінка енергоефективності у реальних умовах.....	26
Розділ 3. Концепція та технології пасивного будинку.....	28
3.1 Основи і принципи пасивного будинку.....	28
3.2. Технологічні характеристики пасивних будинків.....	32
3.3. Приклади реалізації пасивних будинків в Україні та світі.....	37
Розділ 4. Рекупераційні системи вентиляції.....	39
4.1. Типи рекуператорів і їхні принципи роботи.....	39
4.2. Складові системи припливно-витяжної вентиляції.....	44
4.3. Виклики, перспективи, та переваги для користувачів.....	46
4.4. Використання конкретної моделі рекуператора в проєкті.....	47
Розділ 5. Ефективність ентальпійногорекуператора тепла і вологи.....	48
5.1. Основи і принцип використання Діаграми Мольє.....	48
5.2. Використання діаграм Мольє для оцінки ефективності ентальпійних рекуператорів.....	52
Визначення початкових параметрів повітря:.....	52
5.3. Ентальпія та робота ентальпійних рекуператорів.....	55
5.4. Виклики та перспективи використання.....	57
Розділ 6. Технологічні рішення для автоматизації.....	58

6.1. Сучасні підходи до автоматизації систем ПВВ	58
6.2. Основні компоненти системи автоматизації:	60
6.3. Повітряна заслінка ВЕНТС КР 125.....	62
6.4. Електропривід BELIMO.....	64
6.5. DTV500X-OEM реле тиску REGIN.....	66
6.6. DANFOSS VLT MICRO DRIVE FC 51 Перетворювач частоти	71
6.7. Sensit PTS 45-100 датчик температури	74
6.8. Контролер MCX06D	77
6.9. Система автоматизації припливно-витяжної вентиляції	81
7. Техніко-економічне обґрунтування.....	85
7.1. Оцінка ефективності проєкту.....	85
7.2. Економічна оцінка	86
13.4. Розрахунок окупності для пасивного будинку	92
13.4. Порівняння з альтернативними рішеннями	94
Висновок.....	96
Література.....	97
Додаток А	99
Додаток Б.....	101
Додаток В	102
Додаток Г	98
Додаток Ґ	99
Додаток Д	106
Додаток Е.....	107
Додаток Є.....	108
Додаток Ж.....	109
Додаток З	111
Додаток И.....	105
Тези на Міжнародну конференцію "БУД майстер клас".....	130

Ключові слова:

Пасивний будинок, автоматизація вентиляції, ентальпійний рекуператор, енергоефективність, економія енергії, проблеми енергетики в Україні.

Анотація

Магістерська робота присвячена розробці автоматизованої системи приточно-витяжної вентиляції з ентальпійним рекуператором у сучасних енергоефективних будівлях. Системи такого типу дозволяють суттєво знизити енергоспоживання будівель шляхом утилізації тепла і вологи з витяжного повітря, що є особливо актуальним для України через постійне зростання цін на енергоносії та проблеми з енергозабезпеченням. У роботі наведено приклади використання сучасних технічних рішень та обґрунтовано економічну доцільність їхнього впровадження.

У роботі розглядаються різні класифікації будівель за рівнем теплоспоживання, особливості та переваги концепції пасивного дому, а також важливість впровадження технологій рекуперації тепла і вологи. Особлива увага приділена ентальпійним рекуператорам, їх ефективності, а також конкретній моделі KOMFORT Ultra EC S2 300, що використовується для дослідження.

У роботі детально проаналізовано функціональну схему автоматизації вентиляційної системи, де застосовуються сучасні автоматизовані рішення, такі як реле тиску, частотні перетворювачі та термперетворювачі опору. Доведено, що інтеграція таких систем значно підвищує енергоефективність будівель і сприяє економії енергоресурсів. Проведено техніко-економічне обґрунтування впровадження системи автоматизації вентиляції з ентальпійним рекуператором, що підтверджує окупність таких рішень у середньостроковій перспективі.

Робота є актуальною в контексті сучасних глобальних викликів щодо енергоефективності та сталого розвитку, зокрема в Україні, де питання

енергоощадності та впровадження "зелених" технологій набувають особливої ваги.

Keywords: Passive house, ventilation automation, enthalpy recuperator, energy efficiency, energy saving, energy problems in Ukraine.

Abstract

The master's thesis is devoted to the development of an automated supply and exhaust ventilation system with an enthalpy recuperator in modern energy-efficient buildings. Systems of this type can significantly reduce the energy consumption of buildings by utilizing heat and moisture from the exhaust air, which is especially important for Ukraine due to the constant rise in energy prices and problems with energy supply. The paper provides examples of the use of modern technical solutions and substantiates the economic feasibility of their implementation.

The paper discusses various classifications of buildings by heat consumption, features and benefits of the passive house concept, and the importance of introducing heat and moisture recovery technologies. Particular attention is paid to enthalpy recuperators, their efficiency, and the specific model KOMFORT Ultra EC S2 300 used for the study.

The paper analyzes in detail the functional scheme of the ventilation system automation, which uses modern automated solutions such as pressure switches, frequency converters, and resistance thermocouples. It is proved that the integration of such systems significantly improves the energy efficiency of buildings and contributes to energy savings. A feasibility study for the implementation of a ventilation automation system with an enthalpy recuperator was carried out, which confirms the payback of such solutions in the medium term.

The work is relevant in the context of current global challenges to energy efficiency and sustainable development, in particular in Ukraine, where energy efficiency and the introduction of green technologies are of particular importance.

Вступ

У сучасному світі питання енергоефективності та раціонального використання природних ресурсів набувають все більшої важливості. Одним із ключових аспектів сталого розвитку є зменшення енергоспоживання в будівлях, які складають значну частину загального енергетичного балансу будь-якої країни. Це питання стає особливо актуальним також для України, яка останніми роками стикається з серйозними викликами в енергетичній сфері. Масштабні пошкодження енергетичної інфраструктури внаслідок військових дій, зростання цін на енергоносії, залежність від імпорту енергії та дефіцит власних ресурсів змушують шукати ефективні рішення для скорочення енергоспоживання в житловому секторі.

Оскільки будівлі є одними з найбільших споживачів енергії на опалення, вентиляцію та кондиціонування, впровадження енергоефективних технологій стає критично важливим. Енергоємність житлового сектору України значно перевищує середні показники по Європі, що вимагає впровадження більш сучасних стандартів будівництва, зокрема енергозберігаючих пасивних будинків.

Одним із перспективних напрямів такого будівництва є впровадження пасивних будинків — споруд із мінімальним енергоспоживанням завдяки сучасним технологіям теплозбереження та використанню відновлюваних джерел енергії. Основна концепція пасивного будинку полягає у використанні тепла, яке виділяють жителі та побутові прилади, як основного джерела обігріву приміщень. Це дозволяє значно зменшити залежність від традиційних енергоресурсів і створити екологічно чисті, комфортні умови для проживання.

В умовах енергетичної кризи та пошкоджень інфраструктури, економія енергії стає не лише економічно вигідною, але й стратегічно важливою для енергетичної безпеки країни. Вкладення в пасивний будинок є правильним

капіталовкладенням, оскільки така споруда дозволяє значно заощаджувати на опаленні та електроенергії в майбутньому.

Для досягнення високої енергоефективності пасивних будинків необхідно впроваджувати комплексні автоматизовані системи вентиляції та клімат-контролю. Зокрема, системи з ентальпійним рекуператором, які відіграють ключову роль у забезпеченні оптимального мікроклімату, утилізації тепла та поверненні вологи в приміщення, що дозволяє заощадити до 50% енергії на обігрів та охолодження.

Застосування сучасних автоматизованих систем управління не лише підвищує енергоефективність будівель, але й сприяє адаптації до стандартів Європейського зеленого курсу, що є важливим для України у контексті її євроінтеграційних зобов'язань. Такі технології можуть стати важливою частиною стратегії підвищення енергоефективності країни в умовах сучасних викликів та допоможуть зменшити навантаження на енергосистему. Вкладення в пасивний будинок є правильним капіталовкладенням, оскільки ви отримуєте споруду, яка дозволяє значно заощаджувати на опаленні та електроенергії в майбутньому. Правильно спроектований будинок враховує всі важливі аспекти енергоефективності, що робить його вигідним у довгостроковій перспективі. Перспективи застосування цієї технології в Україні значні, адже більшість сучасних споруд значно відстають за рівнем енергозбереження від європейських стандартів. Енергозберігаючі будівлі є особливо актуальними в умовах суворого клімату України.

Попри те, що пасивні будинки ще кілька років тому сприймалися як інноваційний феномен для нашої країни, останнім часом інтерес до цієї теми значно зріс. Головною перепоною є їх порівняно висока вартість будівництва, однак такі будинки мають численні переваги, зокрема комфортність проживання, мінімальні теплові втрати, постійний мікроклімат, значне зниження експлуатаційних витрат і свіжість повітря в приміщеннях протягом року.

Будівлі є одним із найбільших споживачів енергії, зокрема на опалення, вентиляцію та кондиціонування. Неefективні системи вентиляції призводять до значних тепловтрат та перевитрат енергії, що підвищує потребу в паливних ресурсах і збільшує викиди CO₂ в атмосферу. Автоматизація вентиляційних систем із застосуванням сучасних технологій рекуперації тепла стає невід'ємним елементом енергоефективних будівель, оскільки дозволяє мінімізувати енергетичні втрати та знижує експлуатаційні витрати.

Для України, яка є однією з найбільш енергоємних економік Європи, питання енергоефективності набувають особливого значення. Впровадження стандартів енергоефективності відповідно до Європейського зеленого курсу і адаптація українського законодавства (Закон України "Про енергетичну ефективність будівель") стали важливими кроками до скорочення енергоспоживання. Програми підтримки, такі як Фонд енергоефективності, спрямовані на модернізацію житлових будівель та впровадження енергоефективних технологій, зокрема вентиляційних систем із рекуперацією. В умовах енергетичної кризи та пошкоджень інфраструктури, економія енергії стала не тільки економічно вигідною, але й стратегічно важливою для енергетичної безпеки країни. Автоматизовані системи вентиляції з ентальпійним рекуператором забезпечують постійний повітрообмін із мінімальними втратами тепла та вологи. Це сприяє зменшенню навантаження на опалювальні системи взимку та кондиціонери влітку, що значно знижує енергоспоживання і відповідні витрати.

Застосування сучасних автоматизованих систем управління дозволяє оптимізувати роботу вентиляційної системи, зменшуючи витрати енергії відповідно до поточних потреб приміщення. Впровадження частотних перетворювачів, сенсорів і систем контролю підвищує ефективність роботи, адаптуючи її до змінних умов навколишнього середовища.

Магістерська робота спрямована на розробку автоматизованої системи припливно-витяжної вентиляції з ентальпійним рекуператором для пасивного

будинку. Це рішення дозволить ефективно використовувати природні ресурси, знизити навантаження на енергетичну систему країни та забезпечити комфортні умови проживання. Такі технології є ключовими для підвищення енергоефективності будівель в Україні, особливо в умовах сучасних енергетичних викликів.

Розділ 1. Теоретичні основи енергоефективності та автоматизації вентиляційних систем

1.1. Огляд стандартів енергоспоживання для будівель

Сучасний стан енергетики в Україні характеризується значними викликами, що відображаються на всіх секторах економіки, зокрема й житловому секторі. Основні проблеми включають обмеженість енергетичних ресурсів, значну залежність від імпортованого газу та вугілля, а також зношеність енергетичної інфраструктури. Глобальні зміни клімату й міжнародні зобов'язання щодо скорочення викидів парникових газів підсилюють необхідність впровадження енергозберігаючих технологій, що здатні зменшити споживання енергії та підвищити енергетичну безпеку країни.

Енергетична криза, спричинена як внутрішніми, так і зовнішніми чинниками, вимагає рішучих заходів для зменшення залежності від традиційних джерел енергії та розробки нових підходів до енергоефективності. Енергозберігаючі будівлі, такі як пасивні будинки, стають не просто інновацією, а невід'ємною частиною енергетичної стратегії країни. Це дозволяє зменшити споживання енергії та підвищити енергетичну безпеку.

У цьому контексті міжнародні стандарти відіграють важливу роль. Серед загальновизнаних стандартів виділяються EN 15232 (енергоефективність будівель), ISO 50001 (енергоменеджмент), а також сертифікаційні системи LEED та BREEAM, які встановлюють вимоги щодо енергоефективності будівель на різних рівнях. Особливо важливим є стандарт пасивного будинку (Passive House), який орієнтований на мінімізацію енерговитрат шляхом ефективної ізоляції та систем рекуперації, що зберігають тепло в приміщеннях.

Серед європейських ініціатив ключове місце займає Директива ЄС щодо енергетичних характеристик будівель (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD), яка вимагає зниження енергоспоживання в нових і модернізованих

будівлях. Особлива увага приділяється стандарту Nearly Zero-Energy Buildings (nZEB), що є орієнтиром для енергоефективного будівництва у Європі. Цей стандарт передбачає, що нові будівлі повинні мати майже нульове споживання енергії, частково компенсоване за рахунок відновлюваних джерел.



Рис.1.1. Порівняльна характеристика енергоспоживання

В Україні також поступово впроваджуються відповідні вимоги. Наприклад, діє ДБН В.2.6-31:2021 "Теплова ізоляція будівель", а також Закон України "Про енергетичну ефективність будівель", що регулює заходи зі зниження енерговитрат у будівлях. Ці стандарти сприяють адаптації України до європейських вимог, зокрема стандарту nZEB. Зважаючи на сучасні виклики, зокрема потребу в енергетичній незалежності та зниженні енерговитрат, Україна має рухатися в напрямку створення енергоефективних будинків.

Енергозберігаючі будівлі, такі як пасивні будинки, стають не просто інноваційним рішенням, але й невід'ємною частиною енергетичної стратегії України (рис.1.1.). Одним із основних рішень для досягнення енергоефективності є автоматизовані системи вентиляції з ентальпійним рекуператором, які суттєво знижують теплові втрати. Це особливо важливо для будинків із низьким енергоспоживанням, де кожна втрата тепла впливає на загальну ефективність. В умовах, коли енергозбереження стає пріоритетом, такі системи допомагають підтримувати стабільний мікроклімат у будівлях.

Хоча первісні витрати на енергоефективні технології можуть бути вищими (рис.1.2.), їхні довгострокові переваги очевидні. Економія на енергоносіях значно здешевлює експлуатацію будівель, а відповідність європейським стандартам збільшує вартість нерухомості, що створює додаткові фінансові вигоди для власників. Наприклад, оновлення будівель у місті Буча [1] за стандартом nZEB показало, що підвищення вартості проєкту може окупитися за 15-27 років залежно від рівня енергоефективності та поточних тарифів.

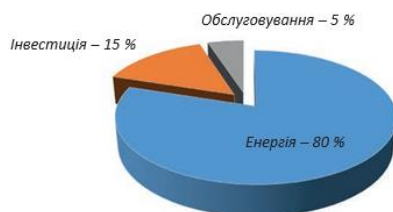


Рис. 19. Розподіл витрат коштів на вентиляцію

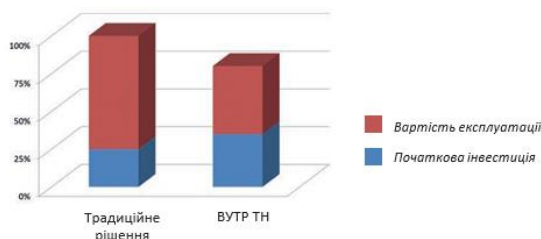


Рис.1.2. Розподіл витрат на вентиляцію

Український ринок поступово адаптується до вимог енергоефективного будівництва. Девелопери все частіше використовують енергоощадні матеріали та автоматизовані системи управління енергоспоживанням. Впровадження таких технологій, як системи регулювання тепла й освітлення, стає стандартом у нових житлових комплексах. Однак для масштабного впровадження nZEB потрібна активна державна підтримка, зокрема надання грантів.

Національні програми енергоефективності та модернізації житлового фонду мають стимулювати впровадження інноваційних технологій у новобудовах та при реконструкції. Державні програми з утеплення будинків і встановлення енергоефективних вентиляційних систем знизять енергоспоживання та підвищать комфорт проживання. Впровадження енергозберігаючих технологій та автоматизованих систем вентиляції є стратегічно важливим кроком для

підвищення енергоефективності в Україні, що не лише знижує витрати, а й забезпечує енергетичну незалежність.

1.2 Класифікація будівель за рівнем теплоспоживання.

Будівлі є одними з основних споживачів енергії, що значно впливає на навколишнє середовище. У розвинених країнах вони споживають близько 30-40% усієї енергії, а їхня частка викидів парникових газів є суттєвою. Основні напрями енергоспоживання в будівлях включають опалення, охолодження, вентиляцію та освітлення. Через недостатню теплоізоляцію та застарілі системи опалення та вентиляції стають джерелом перевитрат енергії та зростання викидів CO₂.

Енергетичні витрати будівель мають критичне значення в умовах глобального потепління та змін клімату. Підвищення енергоефективності будівель допомагає суттєво знизити вплив на довкілля, зменшуючи теплові втрати і, відповідно, потребу в енергії для опалення та охолодження. Це також знижує витрати на експлуатацію і підвищує комфорт проживання.

Саме впровадження енергоефективних рішень у будівлях є важливим кроком на шляху до сталого розвитку, економії ресурсів і покращення якості життя.

Згідно з міжнародними стандартами, будівлі класифікують за рівнем теплоспоживання (рис. 1.3.):

1. Старі будівлі (до 1970 р.)

Ці будівлі характеризуються значними тепловтратами через погану теплоізоляцію стін, даху та вікон. Відсутність сучасних вентиляційних систем призводить до високого енергоспоживання, яке може сягати 300 кВт·год/м² на рік. Ситуація залишається актуальною і для багатьох сучасних будівель в Україні, де використовуються застарілі стандарти будівництва.

2. Нові будівлі (1970-2002 рр.)

Ці будівлі зазвичай мають кращу теплоізоляцію та ефективніші системи опалення і вентиляції, що дозволяє зменшити енергоспоживання. Вони споживають близько 150 кВт·год/м² на рік. У Європі в цей період відбувався

активний перехід до енергозбереження в будівництві, тоді як в Україні такі стандарти почали впроваджуватися значно пізніше.



Рис. 1.3. Класифікації за рівнем теплоспоживання

3. Будинки низького енергоспоживання (з 2002 р.)

Сучасні норми будівництва в Європі забороняють зведення будівель з великим енергоспоживанням, встановлюючи вимоги до значного зниження втрат тепла. Будинки, що відповідають стандарту низького енергоспоживання, використовують близько 60 кВт·год/м² на рік. Для досягнення такого рівня енергоефективності використовуються високоякісні матеріали для ізоляції, енергоефективні вікна та двері, а також системи вентиляції з рекуперацією тепла.

4. Пасивні будинки

Пасивні будинки є еталоном енергоефективності, споживаючи не більше 15 кВт·год/м² на рік. Їхні конструктивні особливості — це ефективна теплоізоляція, використання сонячної енергії та системи рекуперації, які утримують до 90% тепла витяжного повітря.

5. Будинки з нульовою енергією

Будинки цього типу виробляють стільки ж енергії, скільки споживають, за рахунок додаткових відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі та теплові насоси. Їхнє річне енергоспоживання становить 0 кВт·год/м².

6. Будинки з плюсовою енергією

Ці будинки виробляють більше енергії, ніж споживають, передаючи надлишок у загальну мережу. Вони використовують інноваційні технології,

такі як сонячні панелі, вітрові турбіни та геотермальні системи.

З 2019 року в Європі заборонено будівництво будинків із енергоспоживанням, яке перевищує стандарт пасивного будинку. Архітектурно-планувальні рішення в будинках з нульовою або плюсовою енергією схожі на рішення в пасивних будинках, проте вони доповнюються додатковими інженерними заходами для підвищення їхньої енергоефективності. Для підтвердження ефективності енергоспоживання наведено порівняльну класифікацію будівель за рівнем теплоспоживання (таблиця 1.1).

Таблиця 1

Основні категорії будівель за рівнем енергоспоживання

Тип будівлі	Рівень теплоспоживання (кВт·год/м ² на рік)
Старі будівлі (до 1970 р.)	300
Нові будівлі (1970-2002 рр.)	150
Будинки низького енергоспоживання	60
Пасивні будинки	15
Будинки з нульовою енергією	0
Будинки з плюсовою енергією	<0 (виробляють більше, ніж споживають)

1.3 Основи енергоспоживання у будівлях та роль пасивних будинків.

Пасивний будинок - це стандарт, до якого зараз прагне прогресивна європейська спільнота. Вважається, що концепція пасивного будинку пропонує забудовнику раціональне співвідношення ціни та одержуваної якості в проектуванні та. Залежно від бажання і фінансових можливостей замовника, пасивний будинок може зажадати збільшення витрат при будівництві від 3% до 30% будівництві порівняно з вартістю зведення звичайного українського будинку. Але, при цьому, на експлуатаційних витратах у цьому будинку буде економиться від 70% до 99%, що, на жаль, у нас в Україні ще не дуже актуально. (можливо треба залучати державні проєкти).

Принципи проєктування пасивних будинків включають:

1. Ландшафтно-планувальні принципи

- ❖ вітрозахист північного глухого боку будівлі, закритість цього боку: зелені насадження, ліс, інша будівля тощо;
- ❖ відкритість обсягу будівлі з півдня, відсутність затінення південного фасаду.

2. Об'ємно-планувальні принципи:

- ❖ максимальна компактність будівлі.
- ❖ по можливості повна відсутність еркерів, внутрішніх кутів, балконів тощо.

Ідеальною вважається максимальна наближеність форми будівлі до найкомпактнішої:

- ❖ півкулі, що стоять зрізом на землі;
- ❖ зонування: поділ на буферні та житлові зони;
- ❖ розташування допоміжних приміщень з півночі як буферних зон;
- ❖ розташування житлової зони на південному сході;
- ❖ розташування зимових садів із південного боку;
- ❖ наявність зовнішнього літнього сонцезахисту у вигляді архітектурних елементів, що виступають: еркерів, карнизів, балконів, терас, які затіняють світлопрозорі конструкції та не дають потрапляти променям високого літнього сонця в будівлю (рис.1.4.).

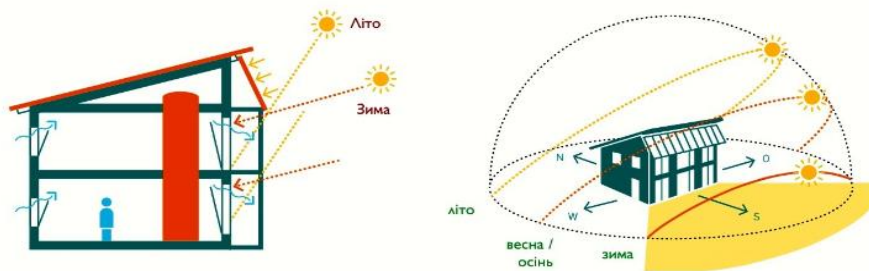


Рис. 1.4. Розріз-схема потрапляння сонячних променів у будинок

На рисунку 1.4. показано, як застосовано об'ємно-планувальні принципи, на прикладі типового пасивного будинку. Видно, як проникають у будинок промені

низького зимового сонця, при цьому виконано захист від літнього перегріву (за допомогою звису покрівлі, а також навісу тераси). Також видно, що буферні приміщення будинку розташовані з північного боку.

3. Фасадні (правильне скління будівлі)

- ❖ відсутність світлопрозорих частин, через які тепло покидало б будівлю, на її північній стороні;
- ❖ розташування з півдня максимальної кількості світлопрозорих конструкцій, які пропускали б глибоко в будівлю промені низького зимового сонця;
- ❖ вікна та інші світлопрозорі конструкції мають розташовуватися на фасаді в такому співвідношенні: 70-80% усіх вікон із південного боку, 20-30% зі східного, 0-10% із західного і повна їх відсутність із північного.

4 Акумулявальні елементи:

- ❖ наявність масивних акумулювальних елементів усередині приміщень для забезпечення приймання, збереження і віддачі ними енергії в місцях, куди потрапляють прямі сонячні промені від низького зимового сонця. Масивними акумулюючими елементами в цьому разі можуть слугувати стіни з повнотілої цегли або бетону, бажано, оздоблені зсередини глиняною штукатуркою.
- ❖ планування неглибоких приміщень, у яких низьке зимове сонце потрапляло б на задню масивну (бажано темну) стіну, прогріваючи її;
- ❖ масивні елементи всередині будівлі (простінки, внутрішні частини утеплених зовнішніх стін) також сприяють пасивному накопиченню в будівлі нічного холоду в літню спеку;
- ❖ уловлювання акумулювальними елементами енергії «внутрішніх джерел тепла» (побутових приладів, тіла людини, лампочок, комп'ютерів тощо).

5. Ізоляційні елементи:

- ❖ якісна зовнішня теплоізоляція зовнішньої оболонки будівлі: повне утеплення всіх сторін будівлі: фундамент, стіни, дах тощо;

- ❖ якість нанесення теплоізоляції: відсутність щілин між її частинами, деталями, стиками, фугами, швами; відсутність містків тепла (перевіряється термографуванням, за допомогою тепловізора);
- ❖ максимально можлива герметичність (повітронепроникність) зовнішньої оболонки будівлі.

6. Інженерні рішення:

- ❖ система контрольованої припливно-витяжної вентиляції з рекуперацією;
- ❖ використання підземних каналів (грунтових теплообмінників) для пасивного попереднього підігріву (або охолодження) повітря або води.

За рахунок перерахованих вище прийомів, пасивним способом, заощаджується величезна кількість енергії. В результаті отримуємо пасивний будинок на експлуатацію (опалення та охолодження) якого потребує не більше 20% від звичайного будинку. Причому це не коштує забудовнику майже ніяких додаткових інвестицій під час будівництва. Усе що потрібно зробити - це створити правильний архітектурний проєкт майбутньої будівлі та якісно втілити його в життя. Додаткові витрати на збільшення товщини утеплювача, як правило, нівелюються компактністю будівлі. А система припливно-витяжної вентиляції є, за великим рахунком, обов'язковою абсолютно для будь-якого типу будівлі, а не тільки для енерговигідних будинків. Адже контрольована вентиляція - це єдиний метод, який забезпечує 97% якість повітря постійно.

1.4 Сучасні методи автоматизації вентиляції для зниження енергоспоживання.

Ефективні будівлі потребують вентиляційних систем, які забезпечують постійний приплив свіжого повітря, мінімізуючи втрати тепла. Традиційні системи вентиляції без рекуперації збільшують теплові втрати, особливо взимку. Для вирішення цього питання використовуються системи з рекуперацією тепла, зокрема ентальпійні рекуператори.

Ентальпійний рекуператор — це вдосконалена система вентиляції, яка дозволяє не тільки зберігати тепло, але й контролювати вологість повітря, зберігаючи комфортні умови всередині приміщення. Це особливо важливо для регіонів з різким перепадом температур і високою вологістю. Крім того, така система може значно зменшити витрати на опалення та охолодження будівлі.

Автоматизація систем вентиляції дозволяє досягти ще вищого рівня енергоефективності. Завдяки використанню датчиків температури та вологості система може автоматично регулювати подачу свіжого повітря, а також інтенсивність роботи вентиляції залежно від потреб приміщення. Це допомагає уникнути зайвого споживання енергії та підтримувати оптимальний мікроклімат у приміщенні.

Автоматизовані системи вентиляції з ентальпійним рекуператором є одним із ключових рішень для забезпечення енергоефективності сучасних будівель. Це особливо актуально для пасивних будинків та будівель з нульовим енергоспоживанням, де мінімізація тепловтрат є пріоритетним завданням.

Сучасне будівництво активно використовує інноваційні матеріали та технології для зниження теплоспоживання будівель. Серед найбільш ефективних рішень можна виділити наступні:

- ❖ Теплоізоляційні матеріали з високим коефіцієнтом опору теплопередачі, такі як вакуумні ізоляційні панелі (VIP) та аерогелі. Ці матеріали забезпечують високий рівень ізоляції при мінімальній товщині конструкцій.

- ❖ Сендвіч-панелі з поліуретановим наповнювачем, які мають низьку теплопровідність і можуть бути використані для зовнішніх стін та дахів.

- ❖ Енергоефективні вікна з багатошаровими склопакетами, заповненими інертними газами (аргон, криптон), що значно знижують втрати тепла через віконні конструкції.

- ❖ Використання теплових насосів для опалення та охолодження будівель. Теплові насоси використовують природне тепло з навколишнього

середовища (повітря, ґрунту чи води) для обігріву приміщень, що дозволяє значно знизити споживання електроенергії.

❖ Системи рекуперації тепла, які дозволяють використовувати тепло витяжного повітря для підігріву свіжого повітря, що подається в приміщення. Особливо ефективними є системи з ентальпійними рекуператорами, які додатково зберігають вологу, що сприяє зменшенню навантаження на опалювальні системи.

Розділ 2. Аналіз літератури та сучасні дослідження

Вивчення сучасних наукових робіт підтверджує, що автоматизація припливно-витяжних систем вентиляції з ентальпійним рекуператором є ключовим елементом у підвищенні енергоефективності будівель, зокрема пасивних будинків. Рекуперація тепла та вологи дозволяє значно зменшити енергетичні втрати при вентиляції, забезпечуючи при цьому комфортний мікроклімат у приміщеннях. Ці дослідження підкріплюють доцільність застосування таких систем для досягнення сучасних стандартів енергозбереження та екологічної ефективності.

2.1. Ефективність систем вентиляції у пасивних будинках

Одним із окремих аспектів автоматизованих систем вентиляції з рекуперацією є їх роль у забезпеченні енергоефективності пасивних будинків. У дослідженні Kassai і Kajtár [2] наведено енергетичний аналіз вентиляційних систем, які застосовуються в пасивних будівлях. Автори підкреслюють, що система рекуперації тепла може значно зменшити енергоспоживання будівель за рахунок використання тепла витяжного повітря для підігріву припливного. Це особливо важливо для пасивних будинків, де кожна енергетична втрата є критичною для загальної енергоефективності будівлі. Отже, використання ентальпійного рекуператора в автоматизованих системах вентиляції є вирішальним фактором для зниження тепловтрату та підвищення загальної ефективності.

2.2. Вплив швидкості повітряних потоків на ефективність рекуператорів

Дослідження, проведене **Н. Ж. Нua** та співавторами [3], фокусується на впливі швидкості повітряних потоків на ефективність теплообміну в рекуператорах. Дослідники з'ясували, що оптимальна швидкість припливного та витяжного повітря значно впливає на ефективність передачі тепла та вологи. Їхні експерименти з паперовим теплообмінником показали, що правильне налаштування швидкості потоків повітря дозволяє досягти максимальної ефективності системи). Це дослідження є важливим для автоматизації вентиляційних систем, де використання датчиків швидкості повітря дозволяє адаптувати роботу системи для досягнення оптимальних результатів.

2.3. Практичні результати використання пасивних будинків

S. Peper і **W. Feist** [4] у своїй роботі підтвердили теоретичні очікування щодо ефективності пасивних будинків на основі практичних вимірювань. Вони зазначають, що завдяки інтеграції систем рекуперації тепла, пасивні будинки досягають значного скорочення витрат на опалення. Ця робота демонструє, що використання автоматизованих систем вентиляції з рекуперацією дозволяє знизити енергоспоживання на 70-90%, порівняно зі звичайними будівлями.

2.4. Інтеграція технологій у сучасному будівництві

J. Niskanen і **H. Rohracher** [5] у своїх дослідженнях розглянули енергетичні моделі та стратегії співпраці шведських будівельних компаній у впровадженні стандартів енергоефективності. Одним із головних елементів є використання автоматизованих систем вентиляції з рекуперацією, що забезпечує як енергозбереження, так і підтримку оптимального мікроклімату в будівлях. Результати дослідження підтверджують ефективність цих систем у різних

кліматичних умовах, що робить їх важливими для досягнення стандартів енергоощадження у Швеції.

2.5. Огляд впливу рекуперації на якість повітря

У роботах **Е. Zender-Świercz** [6],[7] проводиться аналіз якості повітря в приміщеннях, обладнаних системами з рекуперацією тепла. Рекуперація забезпечує не тільки енергоощадність, але й підтримання комфортної вологості та якості повітря. Дослідження показують, що ентальпійні рекуператори мають значні переваги в порівнянні зі звичайними теплообмінниками, оскільки вони дозволяють зберігати не тільки тепло, але й вологу.

2.6. Інтеграція з іншими системами

Цікаве дослідження **В. Radomski** та його колег [8] аналізує інтеграцію рекуператорів тепла з геотермальними тепловими насосами в пасивних будинках. Їхній аналіз показує, що такі системи можуть працювати синергічно, забезпечуючи додаткову економію енергії та підвищуючи ефективність будівлі в цілому. Інтеграція цих технологій у пасивні будинки забезпечує не лише енергоефективність, але й стійкість до кліматичних умов, що підтверджує ефективність автоматизованих систем вентиляції.

2.7. Оцінка енергоефективності у реальних умовах

Практичне дослідження, проведене **І. М. Suárez Ramón** та іншими [9], надає реальну оцінку енергоефективності пасивних будинків, обладнаних автоматизованими системами вентиляції з рекуперацією. Їхні результати підтверджують, що впровадження таких систем дозволяє знизити споживання енергії на опалення до 30-40%, що робить їх оптимальним рішенням для будівель в умовах постійного зростання тарифів на енергоносії.

Аналіз сучасних досліджень показує, що автоматизація систем вентиляції з ентальпійними рекуператорами є ключовим елементом для підвищення

енергоефективності пасивних будинків. Ефективність таких систем підтверджується численними дослідженнями та практичними вимірюваннями. Впровадження автоматизованих систем дозволяє значно знизити енергоспоживання, забезпечити комфортні умови проживання та мінімізувати вплив на довкілля. Інтеграція з іншими енергозберігаючими технологіями, такими як теплові насоси, підвищує загальну ефективність і робить ці системи перспективними для використання у сучасному будівництві.

Розділ 3. Концепція та технології пасивного будинку

3.1 Основи і принципи пасивного будинку

Пасивний будинок (англ. *Passive House*) — це архітектурний і технологічний стандарт, який забезпечує мінімальні витрати енергії на обігрів та охолодження приміщень. Основний принцип полягає в максимальному використанні природних джерел енергії, таких як сонячна енергія, тепло людей та побутових приладів. Вперше запроваджений доктором Вольфгангом Файстом у 1980-х роках у Німеччині й досі залишився з найефективніших концепцій у сфері енергоефективного будівництва. Основою цієї концепції є п'ять ключових принципів Інституту Пасивного Будинку (ІПБ): **висока теплоізоляція, енергоефективні вікна, вентиляція з рекуперацією тепла, повітронепроникність будівель та усунення теплових міст** (рис. 3.1).



Рис. 3.1. П'ять головних принципів ІПБ

На відміну від інших екологічних стандартів, таких як LEED, пасивний будинок є стандартом, який базується на ефективності енергоспоживання. Його головною метою є мінімізація енергетичних витрат будівлі через ідеальну ізоляцію та герметичну конструкцію. Як правило, коли ці принципи

застосовуються комплексно, пасивні будинки споживають від 40 до 60% менше енергії, ніж звичайні будівлі, що призводить до значного зниження витрат, а в деяких сценаріях навіть може скоротити споживання енергії до 90%. Незважаючи на те, що досягти цього непросто, фокус протягом усього процесу планування та будівництва значною мірою залежить від створення оболонки будівлі та застосування суперізоляції та герметичної конструкції.

Окрім переваг енергоефективності, у проєктах пасивного будинку велика увага приділяється також створенню теплових комфортних приміщень, які підтримують значно кращу якість повітря в приміщенні (IAQ). У зв'язку з нещодавніми дослідженнями, які показали, що повітря в приміщенні може бути навіть більш забрудненим, ніж повітря ззовні, забезпечення здорового рівня якості внутрішнього повітря стає все більш важливим для розгляду в процесі планування.

Крім зниження енергоспоживання, пасивний будинок забезпечує високий рівень комфорту та покращує якість повітря в приміщенні. Завдяки постійному контролю за вентиляцією, такі будинки стійкі до відключень електроенергії та потребують значно менших експлуатаційних витрат.

Проєкти пасивних будинків можна застосовувати до будь-якої типології будівель, включаючи адміністративні будівлі, житлові хмарочоси та приватні будинки. Початкові витрати будівництва пасивних будинків є вищими (3-5%), але з часом вони окупаються завдяки суттєвому зниженню енергетичних витрат.

Наприклад, у Нью-Йорку майже 70% загальних викидів вуглецю походять від будівель. Оскільки міське керівництво нещодавно оголосило про мету скоротити на 40% викиди парникових газів від будівель до 2030 року, впровадження принципів пасивного будинку в нове будівництво та модернізацію було визначено як ключовий спосіб досягти цього. З цієї причини проєкти, побудовані за стандартами пасивного будинку — чи то нові будівлі, чи то модернізація — будуть ставати все більш цінним заняттям у всіх секторах, особливо в міру того, як значні податки на викиди вуглецю та суворі екологічні

обіцянки стають все більш поширеними на місцевому, державному та національному рівнях.

Художній музей Равенсбурга (рис.3.2.) в Німеччині є видатним прикладом впровадження стандартів пасивного будинку в контексті культурних об'єктів. Це перша в світі музейна будівля, яка сертифікована за стандартами пасивного будинку, що підкреслює її інноваційність та екологічну стійкість. Основною причиною вибору цього музею як прикладу є його поєднання високої енергоефективності з вимогами до збереження унікальних експонатів.



Рис. 3.2. Перша сертифікована будівля за стандартами пасивного будинку

Музей демонструє, що навіть у складних умовах, де потрібно підтримувати стабільну температуру та вологість для збереження мистецьких творів, можна впровадити системи, які суттєво скорочують споживання енергії. Ефективність вентиляційної системи з рекуперацією тепла понад 90% і вологи — близько 60%, дозволяє музею досягти вражаючої економії енергії. Ця технологія не тільки сприяє зниженню витрат на опалення та охолодження, але й забезпечує ідеальні умови для експонатів.

Архітектурне рішення музею включає додаткові інноваційні елементи, такі як використання спеціальної теплоізоляції та продумане регулювання природного освітлення, що відповідає вимогам пасивного будинку. Завдяки мінімальній кількості вікон та встановленим тепловим місткам, музей не лише перевищує

вимоги до енергоефективності, але й слугує прикладом стійкого будівництва для інших культурних об'єктів.

Цей приклад демонструє, що концепція пасивного будинку є ефективною не тільки для житлових, а й для спеціалізованих будівель, які потребують особливих умов для збереження мистецьких або наукових об'єктів. Музей Равенсбурга отримав міжнародне визнання і слугує моделлю для впровадження подібних технологій в інших галузях, що робить його вагомим прикладом для українських проєктів, зокрема в умовах модернізації та реконструкції будівель в Україні.

3.1.1. Основні принципи пасивного будинку

❖ Високоєфективна теплоізоляція: Один із ключових аспектів проєктування пасивного будинку — це забезпечення високого рівня теплоізоляції зовнішніх стін, даху, підлоги та вікон. Це досягається завдяки використанню спеціальних матеріалів з низьким коефіцієнтом теплопровідності. Ефективна теплоізоляція мінімізує тепловтрати взимку і запобігає перегріванню приміщень влітку, що сприяє зниженню енергоспоживання.

❖ Герметичність будівлі: Пасивний будинок повинен бути надзвичайно герметичним, щоб уникнути неконтрольованих витоків тепла. Це досягається за рахунок застосування спеціальних конструктивних рішень та матеріалів, що забезпечують мінімальні теплові містки та повітропроникність. Високий рівень герметичності дозволяє зменшити тепловтрати через щілини та інші нещільності в конструкції будівлі.

❖ Вентиляція з рекуперацією тепла: Система приточно-витяжної вентиляції з рекуперацією тепла є одним із основних елементів пасивного будинку. Вона забезпечує постійний обмін повітря в приміщеннях, при цьому зберігаючи більшу частину тепла, що виходить із приміщення з витяжним повітрям. Вентиляційна система з ентальпійним рекуператором дозволяє не тільки відновлювати тепло, але й вологу, що сприяє підтримці комфортного рівня вологості в приміщеннях.

❖ Енергоефективні вікна та двері: Вікна та двері у пасивному будинку мають бути виконані з використанням високоякісних багатошарових склопакетів, які забезпечують відмінні ізоляційні властивості. Такі конструкції мінімізують тепловтрати і сприяють ефективному використанню сонячної енергії для природного освітлення та часткового обігріву приміщень.

❖ Мимальна орієнтація будівлі та використання сонячної енергії: Для максимального використання сонячної енергії пасивний будинок проєктується з урахуванням кліматичних особливостей місцевості. Вікна на південній стороні будівлі дозволяють отримувати більше сонячного світла та тепла протягом дня, а спеціальні навіси або жалюзі запобігають перегріванню влітку.

❖ Використання відновлюваних джерел енергії: Пасивний будинок може бути обладнаний додатковими джерелами відновлюваної енергії, такими як сонячні панелі, теплові насоси або вітрогенератори, що дозволяє ще більше знизити залежність від традиційних джерел енергії.

Завдяки застосуванню цих принципів пасивний будинок забезпечує високий рівень енергоефективності, знижує експлуатаційні витрати та мінімізує вплив на довкілля. Автоматизація системи приточно-витяжної вентиляції з ентальпійним рекуператором є ключовим компонентом забезпечення комфортного мікроклімату та ефективного енергоспоживання в пасивному будинку, оскільки дозволяє оптимізувати процес обміну повітря та тепла, зберігаючи при цьому комфортні умови проживання.

3.2. Технологічні характеристики пасивних будинків

Пасивні будинки вирізняються високим рівнем енергоефективності та забезпечують мінімальні тепловтрати завдяки унікальним технічним характеристикам, що включають комплексний підхід до проєктування і будівництва. Основні технічні характеристики пасивних будинків встановлюються стандартами, розробленими Інститутом Пасивного Будинку (Passive House Institute, PHI) у Німеччині. Ці стандарти визначають вимоги до

енергоспоживання, теплоізоляції, герметичності, вентиляції та інших важливих параметрів будівлі.

Основні технічні характеристики пасивних будинків

❖ Максимальне споживання енергії для опалення:

Пасивний будинок споживає не більше 15 кВт·год на квадратний метр на рік для опалення. Це є основною вимогою стандарту пасивного будинку, яка в кілька разів нижча від енергоспоживання традиційних будівель. Такий рівень енергоспоживання досягається завдяки застосуванню високоефективної теплоізоляції, герметичності конструкції, а також використанню систем вентиляції з рекуперацією тепла.

❖ Максимальне сумарне споживання первинної енергії:

Сумарне споживання первинної енергії (включаючи опалення, охолодження, вентиляцію, гаряче водопостачання, освітлення та побутову техніку) не повинно перевищувати 120 кВт·год на квадратний метр на рік. Це забезпечується шляхом впровадження енергоефективних технологій, обладнання та використанням відновлюваних джерел енергії.

❖ Теплоізоляція будівельних конструкцій:

Для пасивних будинків характерний високий рівень теплоізоляції, що забезпечується використанням матеріалів з низьким коефіцієнтом теплопровідності. Наприклад, тепловий опір зовнішніх стін, даху та підлоги має бути достатньо високим ($R \geq 10 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$), щоб мінімізувати тепловтрати через конструкцію будівлі (рис.3.3.).

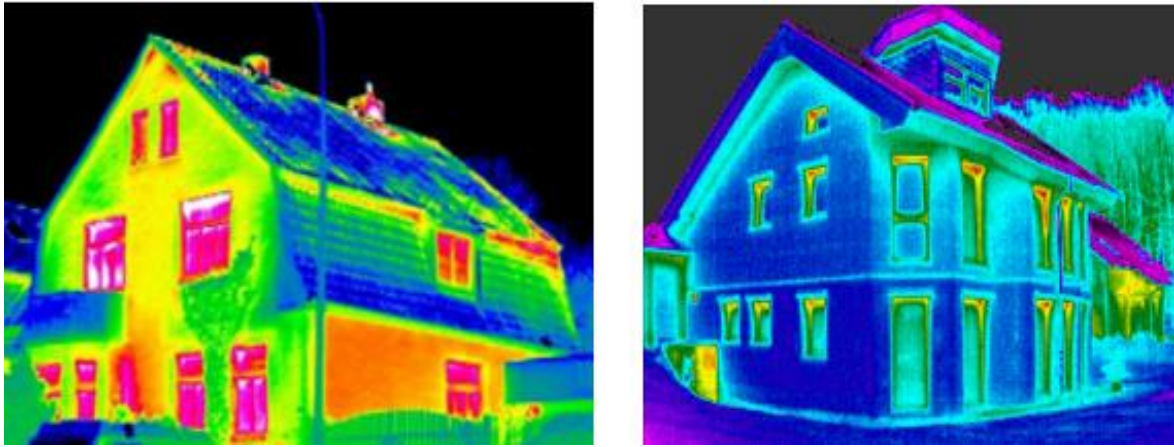


Рис. 3.3.

а) Тепловтрата "звичайного" будинку б) Тепловтрата "пасивного будинку"

❖ Герметичність будівлі

Пасивний будинок повинен мати дуже високий рівень герметичності, який визначається параметром $n_{50} \leq 0.6 \text{ год}^{-1}$. Це означає, що кількість повітря, що витікає через конструкцію будівлі при тиску 50 Па, не повинна перевищувати 60% від об'єму приміщень за годину. Такий рівень герметичності досягається шляхом використання паробар'єрів, спеціальних віконних і дверних конструкцій, а також ретельної герметизації стиків та з'єднань.

❖ Вентиляційна система з рекуперацією тепла

У пасивних будинках обов'язково використовуються системи механічної вентиляції з рекуперацією тепла (рис. 3.4.), які забезпечують ефективний обмін повітря і одночасно мінімізують тепловтрати. Рекуператори в таких системах дозволяють зберігати до 75–90% тепла витяжного повітря, що значно знижує потребу в додатковому опаленні або охолодженні.

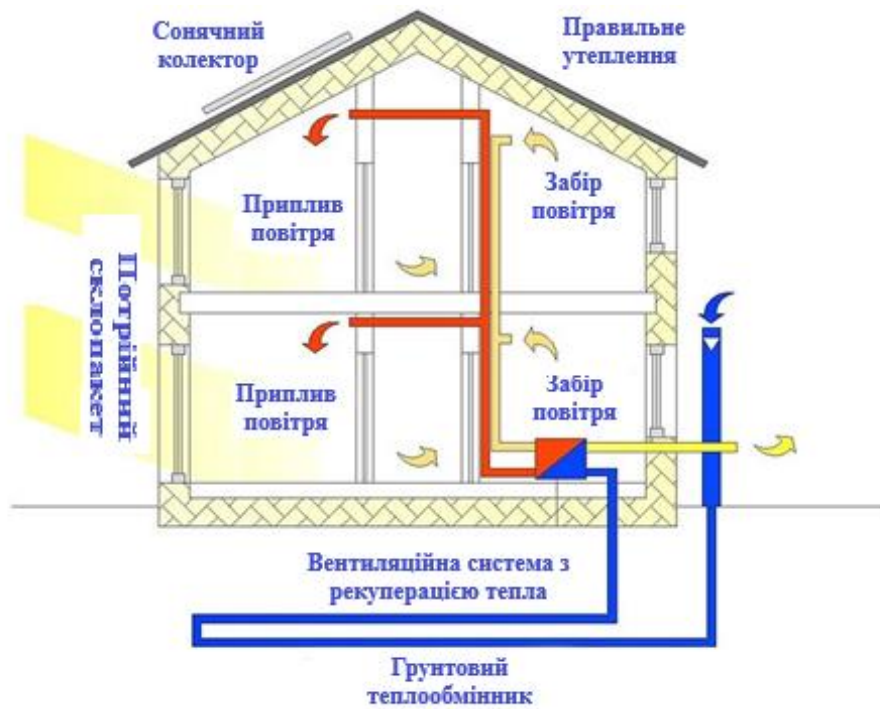


Рис. 3.4. Використовуються системи механічної вентиляції з рекуперацією тепла

Підвищення енергоефективності можна домогтися, якщо повітря виходить із будинку і надходить до нього через підземний повітропровід ґрунтовий теплообмінник (рис. 3.4.) для пасивного попереднього підігріву (або охолодження) повітря. Взимку повітря, потрапляючи в повітропровід, нагрівається за рахунок тепла землі, а влітку повітря охолоджується за рахунок контакту із землею.



Рис 3.5. Приклад ґрунтового теплообмінника

❖ Високоєфективні віконні системи:

Вікна у пасивних будинках повинні мати коефіцієнт теплопередачі не вище 0.8 Вт/м²·К. Вони зазвичай складаються з трьохшарових склопакетів з енергозберігаючим покриттям та заповненням інертними газами (наприклад, аргонем або криптоном) для покращення теплоізоляційних властивостей. Профіль вікна пасивного будинку (рис. 3.5.) повинен відповідати теплотехнічним стандартам. Конструкції вікон проєктуються, як правило, глухими (які не відчиняються) або з автоматичною функцією відчинення / зачинення для провітрювання.

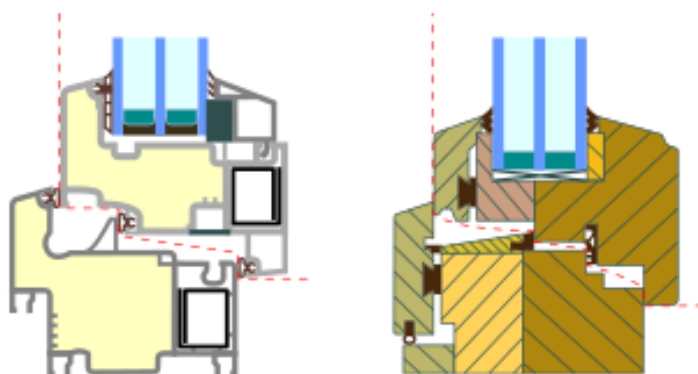


Рисунок 3.6. Профіль вікна пасивного будинку

❖ Оптимальна орієнтація та архітектурні рішення

Пасивний будинок проєктується з урахуванням максимальної ефективності використання сонячної енергії для освітлення та пасивного обігріву. Наприклад, південна сторона будівлі має мати більшу площу скління для максимального проникнення сонячного світла, тоді як північна сторона — мінімальне скління для зменшення тепловтрат.

❖ Мінімізація теплових містків

Будівництво пасивного будинку передбачає ретельне проєктування деталей конструкцій, щоб уникнути теплових містків (рис. 3.6.), які можуть значно збільшити тепловтрати. Це досягається за рахунок використання спеціальних теплоізоляційних матеріалів і конструкційних рішень, що знижують передачу тепла через будівельні елементи.

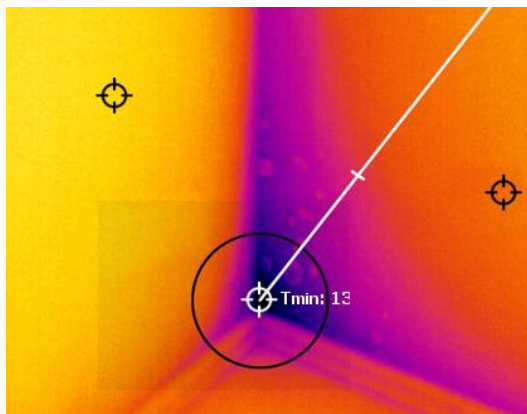


Рис. 3.7. Теплові містки

Ці технічні характеристики забезпечують досягнення високого рівня енергоефективності в пасивних будинках, що дозволяє значно зменшити витрати на енергію для опалення, охолодження та вентиляції. У контексті автоматизації систем вентиляції з ентальпійним рекуператором, ці характеристики забезпечують ефективне функціонування системи, спрямованої на оптимізацію енергоспоживання та підтримання комфортного мікроклімату всередині приміщень.

3.3. Приклади реалізації пасивних будинків в Україні та світі

3.3.1. Приклади реалізації пасивних будинків в Україні

Одним із перших таких проєктів в Україні став пасивний екобудинок "Дім Сонця", збудований у 2008 році. Він внесений до бази даних Інституту Пасивного Будинку в місті Дармштадт. Нині кількість таких будівель значно зросла, і вони стають все більш популярними по всій території України. Серед яскравих прикладів можна навести:

- ❖ Екодім у пагорбі під Каневом (рис. 3.7 а). Цей проєкт є частиною еко-поселення, яке використовує сучасні технології для збереження енергії, зокрема, сонячні панелі та геотермальне опалення.

- ❖ Пасивний будинок у селі Васильків, Київська область (рис. 3.7 б). Цей будинок використовує систему припливно-витяжної вентиляції з рекуперацією

тепла, що дозволяє знижувати витрати енергії на опалення та вентиляцію до мінімуму.



Рис.3.8. а) «Екодім у пагорбі»
під Каневом



Рис.3.8. б) Пасивний дім
Київська обл , С. Васильків

Нові проєкти, такі як пасивні будинки у Львові, Ужгороді [9] та Карпатах, доводять, що в Україні можливо досягти високих показників енергоефективності навіть у різноманітних кліматичних умовах.

3.3.2. Приклади реалізації пасивних будинків у світі

❖ Пасивний будинок Dr. Feist у Дармштадті, Німеччина.

Перший у світі пасивний будинок був збудований у 1991 році у Дармштадті, Німеччина, професором Вольфгангом Файстом, засновником Інституту пасивного будинку. Ця будівля досі залишається еталоном енергоефективного будівництва, демонструючи високу ефективність теплоізоляції, герметичність і використання системи вентиляції з рекуперацією тепла. Споживання енергії на опалення цього будинку становить лише близько 10% порівняно з типовими будинками того часу (рис. 3.9.).



Рис. 3.9. Пасивний будинок Dr. Feist

❖ Круглий пасивний будинок в Швеції Вілла Nyber

Вілла (рис.3.10.) площею в 156 квадратів розташувалася біля озера у Борланзі, особливість проекту – популяризація еко-технологій і їх доступність



Рис. 3.10. Вілла Nyber

У будинку – сонячні батареї, вітрогенератори, колектори опадів і система природного очищення води. Особливість – кругла конструкція. Вона дозволяє зменшити площу стін, а відповідно – зберегти тепло. Будівля орієнтована по сторонах світу.

❖ Ультрасучасний пасивний будинок в Канаді. Його особливість – сучасна архітектура та планування. Його оригінальна об'ємна візуальна композиція повністю спростовує стереотипи про одноманітність пасивного будівництва. Зовні будинок складається з двох блоків, які з'єднують центральні

сходи. Половина будинку – двоповерхова, з високими стелями і дахом, друга – триповерхова, зі стелями нижче.

Це перший в Західній Канаді житловий будинок (рис.3.11.), що відповідає стандарту LEED Platinum і отримав премію 2011 RAIC Award of Excellence for Green Building.



Рис. 3.11. Ультрасучасний пасивний будинок в Канаді

❖ Житловий масив Bahnstadt у місті Гейдельберг, Німеччина — це один із найбільших житлових районів світу, де всі будівлі збудовані за стандартами пасивного будинку. Цей проєкт демонструє успішне впровадження концепції пасивного будівництва на великій площі, забезпечуючи високий рівень комфорту для мешканців при мінімальних витратах енергії (рис.3.12.).



Рис. 3.12. Житловий масив пасивних будинків Bahnstadt у місті Гейдельберг

Пасивні будинки є важливим напрямом сучасного енергоефективного будівництва як в Україні, так і в усьому світі. Вони демонструють, що завдяки інноваційним технологіям і сучасним підходам можна:

- ❖ Завдяки високій теплоізоляції та вентиляції з рекуперацією економити електроенергію, тому що пасивні будинки споживають до 90% менше енергії, ніж звичайні будівлі
- ❖ Зберігати та утримувати комфортний мікроклімат, бо сталі температури в приміщенні без різких коливань, навіть у холодний або спекотний період року.
- ❖ За рахунок зменшення викидів CO₂ і рахунок зниження потреби в опаленні і використанні відновлюваних джерел енергії, підтримувати екологічність навколишнього середовища.
- ❖ Незважаючи на вищу початкову вартість будівництва, значне скорочення витрат на енергоносії забезпечує швидку окупність і це надає зниження витрат на експлуатацію.

Системи автоматизованої припливно-витяжної вентиляції з ентальпійним рекуператором забезпечують оптимальний мікроклімат при мінімальних енергетичних витратах. Успішні приклади з різних регіонів і кліматичних зон підтверджують практичну доцільність впровадження цієї технології, що робить її фінансово вигідною як для інвесторів, так і для кінцевих споживачів.

Розділ 4. Рекупераційні системи вентиляції

4.1. Типи рекуператорів і їхні принципи роботи

Система припливно-витяжної вентиляції з рекуперацією є основою енергоефективних будівель, особливо пасивних будинків, і забезпечує постійний повітрообмін при мінімальних втратах тепла завдяки використанню рекуператора, що утилізує тепло витяжного повітря. Це досягається завдяки використанню рекуператора.

Рекуператор - це теплообмінник (рис. 4.1.), що забезпечує збереження тепла в системі.

На сьогодні використання рекуператорів економічно дуже доцільне. Витрати на вбудовування його в систему вентиляції окупаються в перший же рік експлуатації системи. Економія на обігрів тепла припливного повітря під час використання рекуператора становить від 30 до 48%, залежно від його типу і кута потоків повітря.

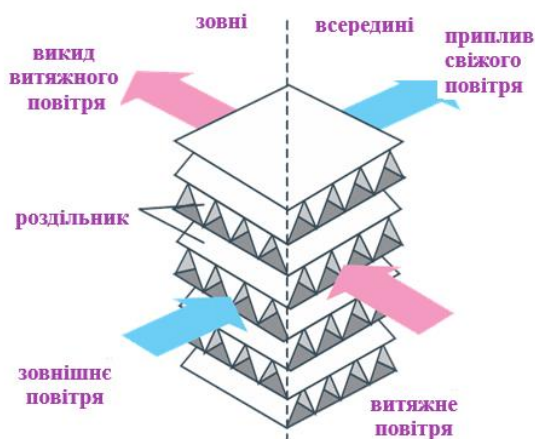


Рис. 4.1. Пластинчастий теплообмінник

4.1.1. Існують різні типи припливно-витяжних установок, такі як централізовані та децентралізовані. Разом із цим, рекуператори в таких установках можуть бути пластинчастими, роторними, ентальпійними, у сфері пристроїв рекуперації вони є найбільш поширенішими.

❖ **Рекуператор роторного типу** - це високоефективне обладнання, але, при цьому, досить дороге. Такий пристрій досить гучний, непростий в обслуговуванні, а також габаритний. Тому такий рекуператор широко застосовується в промисловості, але не підходить для побутового сегмента.

❖ **Пластинчастий рекуператор** (рис.4.2.) передає тепло через тонкі алюмінієві або пластикові пластини. Це найбільш доступний варіант з обмеженою ефективністю. Являє собою конструкцію алюмінієвих пластин, що розділяють між собою потоки припливного і витяжного повітря.

Пластини, товщиною менше 1 мм, виготовлені з високоякісного алюмінію, для гарної передачі тепла.

У конструкцію теплообмінника входить піддон для збору конденсату, який може виділятися за певних температурних умов.

❖ **Ентальпійний рекуператор:** Пластинчастий теплообмінник, покритий мембраною, що дозволяє передавати не тільки тепло, але й вологу. Це особливо важливо взимку, коли вологість повітря в приміщеннях знижується через опалення. Ентальпійні рекуператори підвищують комфорт, запобігаючи надмірній сухості повітря.

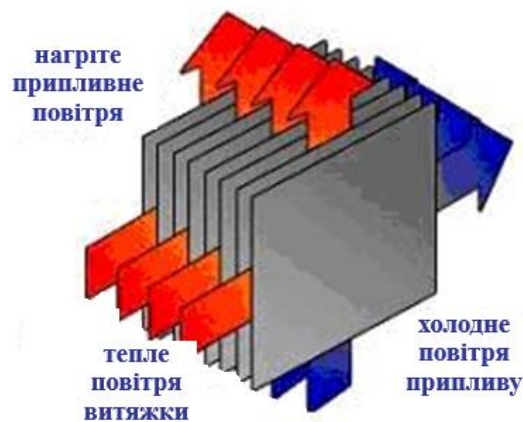


Рис. 4.2. Конструкція пластинчастого теплообмінника (рекуператора)

4.1.2. Принцип роботи системи

❖ Видалення забрудненого повітря з приміщень (ванна, кухня, спальня) видаляється через витяжні канали, зменшуючи вологість і концентрацію CO₂.

❖ Нагрів або охолодження свіжого повітря відбувається шляхом утилізації тепла від витяжного повітря за допомогою рекуператора, який утилізує тепло від витяжного повітря, забезпечуючи комфортну вологість і температуру.

❖ Подача свіжого повітря залежно від сезону, нагріте або охоложене повітря в житлові приміщення, що підтримує оптимальний мікроклімат.

4.1.3. Переваги систем з рекуперацією (рис.4.3.)

❖ економія до 50% енергії, завдяки утилізації тепла витяжного повітря.

❖ постійний приплив свіжого повітря без відкривання вікон.

❖ ентальпійні рекуператори допомагають зберігати оптимальну вологість у приміщенні, що запобігає сухості повітря взимку.

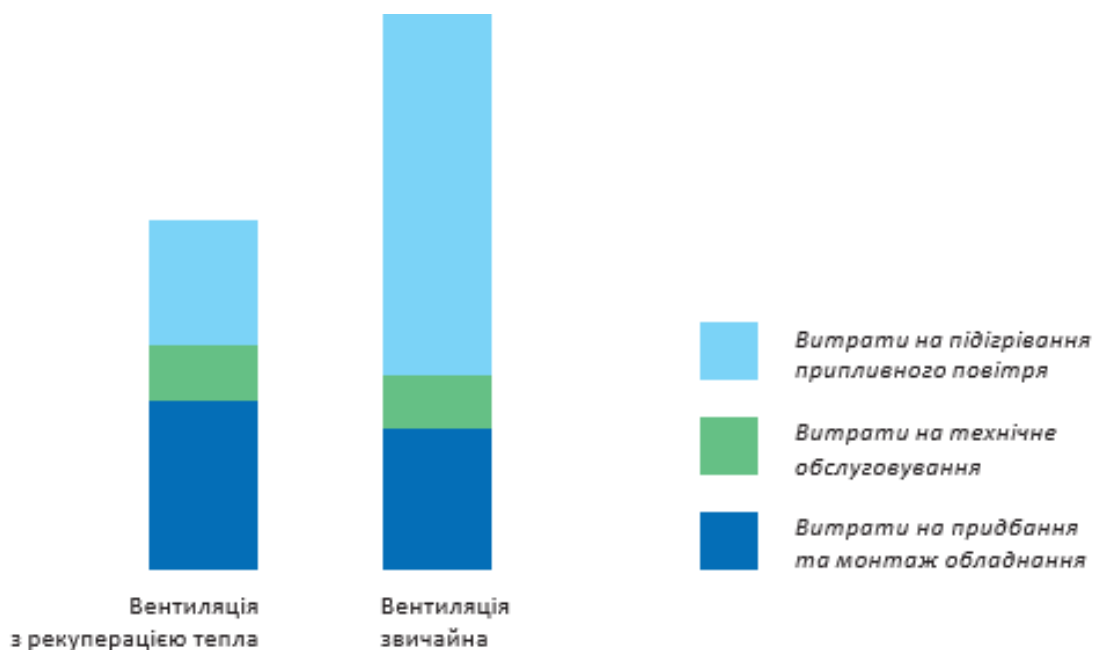


Рис. 4.3. Порівняння систем

4.2. Складові системи припливно-витяжної вентиляції

У припливно-витяжній системі повітрообміну пластинчастий теплообмінник (рис. 4.4.) зберігає частину тепла від витяжної системи, яке без нього просто викидається на вулицю. Відбір тепла відбувається через пластинчастий теплообмінник.

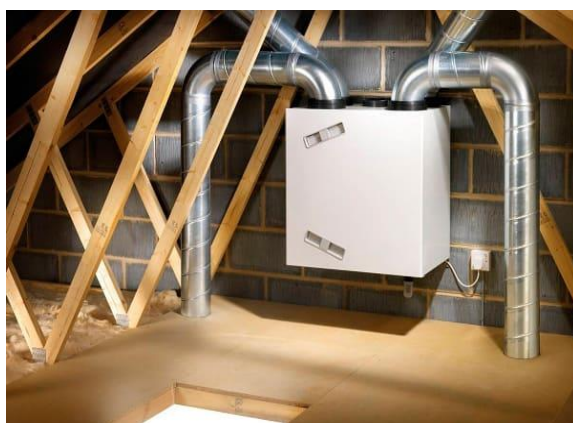


Рис. 4.4. Припливно-витяжна-вентиляція з рекуперацією тепла приватного будинку

У результаті можна заощадити на обігріві припливного повітря в холодний період року і на самому калорифері.

Припливно-витяжна установка включає такі основні компоненти:

- ❖ Два вентилятори, які визначають продуктивність установки за витратою.
- ❖ Теплообмінник рекуператор - нагріває припливне повітря шляхом передачі тепла від повітря, що видаляється.
- ❖ Електричний нагрівач - нагріває припливне повітря до потрібних параметрів, у разі нестачі теплового потоку від витяжного повітря.
- ❖ Повітряний фільтр - завдяки йому здійснюється контроль і очищення зовнішнього повітря, а також обробка витяжного перед рекуператором, для захисту теплообмінника.
- ❖ Повітряні клапани з електроприводами - можуть бути встановлені перед вихідними повітропроводами для додаткового регулювання повітряного потоку та перекриття каналу в разі вимкненого обладнання.
- ❖ Байпас - завдяки якому повітряний потік можна спрямувати повз рекуператор у теплу пору року, тим самим не нагрівати припливне повітря, а подавати його безпосередньо в приміщення.

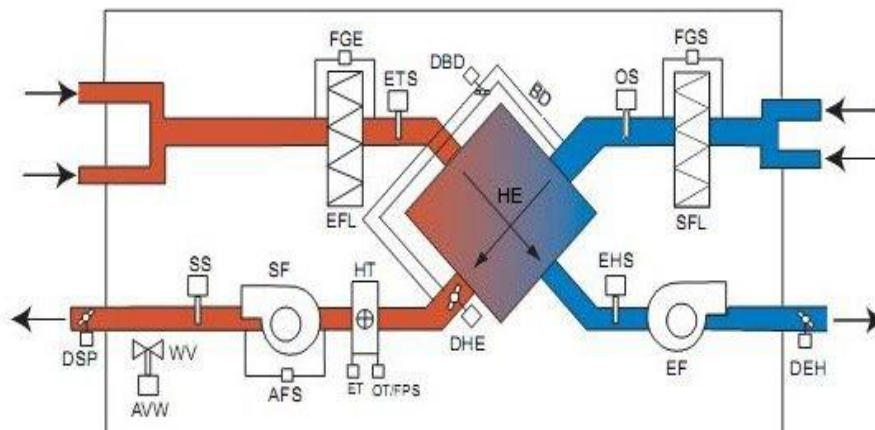


Рис. 4.5. Функціональна схема автоматизації пластинчастого теплообмінника

Крім основних складових припливно-витяжної установки, до неї також входить велика кількість дрібних комплектуючих, як-от датчики (Додаток А), система автоматики (рис.4.5.) для управління і захисту тощо.

Завдання керування роботою всіх компонентів вирішує автоматизована система керування технологічним процесом. До комплекту установки включено датчики, аналізуючи їхні дані, система керування коригує роботу потрібних елементів, вирішуючи складні проблеми взаємодії всіх елементів установки між собою.

4.3. Виклики, перспективи, та переваги для користувачів

Хоча початкові витрати на встановлення систем вентиляції з рекуперацією є значними, вони можуть окупитися за 5-10 років завдяки значній економії енергії, що особливо актуально для України в умовах постійного зростання тарифів на енергоресурси.

Початкові витрати Незважаючи на високі початкові витрати, системи з рекуперацією можуть окупитися за 5-10 років завдяки економії на енергоресурсах. Це особливо актуально для України, де постійно зростають тарифи на енергію.

Технічне обслуговування. Для забезпечення ефективної роботи системи необхідно регулярно обслуговувати фільтри та перевіряти роботу вентилятора і рекуператора. Відсутність належного обслуговування може призвести до зниження ефективності та збільшення енергоспоживання.

4.3.1. Переваги для мешканців:

❖ Зниження витрат на опалення та кондиціонування здійснюється завдяки рекуперації тепла і вологи, мешканці комплексу можуть економити до 30-40% на витратах на опалення та кондиціонування повітря. Це особливо важливо в умовах зростаючих тарифів на енергоресурси.

❖ Підтримка комфортного мікроклімату здійснюють ентальпійні рекуператори, які допомагають підтримувати комфортний рівень вологості у приміщеннях, що сприяє покращенню якості повітря та знижує ризик захворювань, пов'язаних із сухим або занадто вологим повітрям.

- ❖ Покращення якості повітря відбувається завдяки системі вентиляції з рекуперацією, які забезпечують постійний приплив свіжого повітря і видалення забрудненого, що сприяє зниженню концентрації шкідливих речовин, пилу та алергенів у приміщеннях.
- ❖ Використання енергоефективних технологій, таких як ентальпійні рекуператори, відповідає сучасним вимогам екологічної відповідальності та сталого розвитку, що важливо для мешканців, які дбають про збереження навколишнього середовища.

4.4. Використання конкретної моделі рекуператора в проекті.

4.4.1. Опис та технічні характеристики Blauberg Komfort Ultra EC S2 300-E S2 white

Системи припливно-витяжної вентиляції з рекуперацією є ключовими елементами сучасних енергоефективних будівель, таких як пасивні будинки. Однією з найбільш ефективних моделей рекуператорів для таких проектів є ентальпійний рекуператор KOMFORT Ultra EC S2 300 ... white, який поєднує високий рівень енергоефективності та сучасні технічні рішення для забезпечення комфортного мікроклімату з мінімальними витратами енергії.

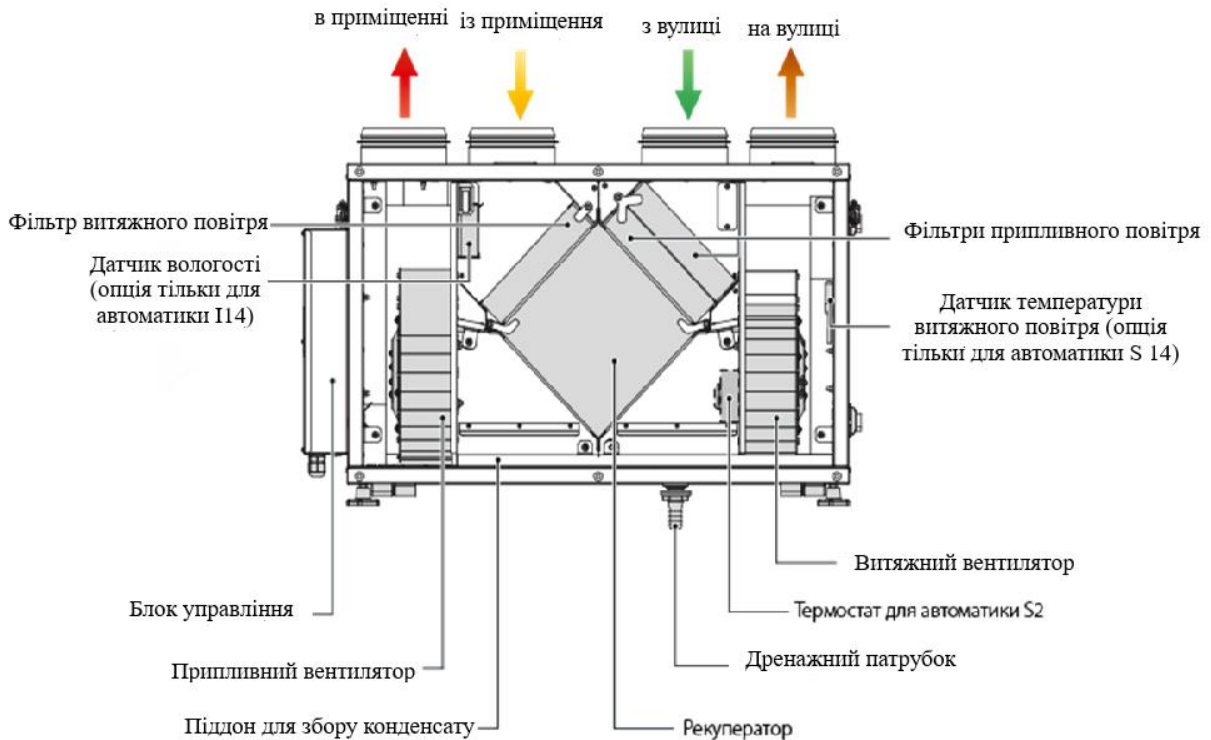


Рис. 4.6. Загальний вигляд рекуператора

Модель Blauberg Komfort Ultra EC S2 300-E S2 white (рис.4.6.) — це високоефективна вентиляційна установка, розроблена для організації припливно-витяжної вентиляції з утилізацією тепла і вологи. Вона ідеально підходить для використання у квартирах, приватних будинках і пасивних будівлях, де важливим є збереження тепла та підтримання здорового мікроклімату без надмірного пересушування повітря.

4.4.2. Основні характеристики:

❖ Рекуперація тепла і вологи: Використовує ентальпійний пластинчастий рекуператор перехресного струму, який дозволяє не тільки передавати тепло від витяжного до припливного повітря, але й зберігати вологу, що запобігає пересушуванню повітря в холодний період року.

❖ Високоефективні ЕС-двигуни: Оснащення установок високоефективними ЕС-двигунами з відцентровими робочими колесами значно знижує споживання електроенергії, забезпечуючи стабільну роботу з мінімальним рівнем шуму.

❖ Ізольований корпус: Корпус виготовлений із тришарових панелей з тепло- і звукоізоляцією завтовшки 20 мм, що забезпечує мінімальні тепловтрати і захист від зайвого шуму, що є важливим для житлових приміщень.

❖ Автоматичне керування: Установка підтримує автоматичний контроль температури та вологості, а також регулювання швидкості вентиляторів залежно від умов зовнішнього середовища та потреб приміщення.

❖ Гнучкість монтажу: Blaubeerg Komfort Ultra EC S2 300-E S2 white може бути встановлений як на стелі, так і на стіні, що робить його універсальним рішенням для різних типів будівель.

4.4.3. Переваги та Ефективність використання Blaubeerg Komfort Ultra EC S2 300-E S2 white у пасивному будинку

Проектуючи пасивний будинок, одним із головних завдань є забезпечення максимального збереження тепла та мінімізації енергетичних втрат. Ентальпійний рекуператор Blaubeerg Komfort Ultra EC S2 300-E S2 white відповідає всім вимогам для таких проєктів з кількох причин:

❖ Висока ефективність рекуперації тепла і вологи: Завдяки ентальпійній технології, рекуператор забезпечує не тільки утримання до 90% тепла, але й збереження до 60-70% вологи, що допомагає підтримувати оптимальний рівень вологості в приміщенні. Це робить його ідеальним для пасивного будинку, де важливо зберегти тепло взимку та уникнути пересушування повітря.

❖ Низьке енергоспоживання: Встановлені в моделі ЕС-двигуни забезпечують максимальну продуктивність при мінімальних витратах енергії. Це особливо важливо для пасивних будинків, де метою є мінімізація енергоспоживання. Завдяки використанню ефективних двигунів і автоматичного керування, Blaubeerg Komfort Ultra EC S2 300-E S2 white відповідає стандартам енергозбереження і допомагає зменшити витрати на електроенергію.

❖ Автоматизоване керування мікрокліматом: Для пасивного будинку важливим є підтримання стабільних умов без різких коливань температури або вологості. Цей рекуператор оснащений інтелектуальною системою керування, яка

автоматично адаптує роботу системи до зміни зовнішніх і внутрішніх умов. Це дозволяє мінімізувати втручання користувача і забезпечити постійний комфорт.

❖ Універсальність і компактність Blauberg Komfort Ultra EC S2 300-E S2 white є універсальним рішенням, яке підходить як для нових будівель, так і для модернізації існуючих. Він компактний, що дозволяє легко інтегрувати його в проєкт пасивного будинку без необхідності великих змін у плануванні.

❖ Зниження експлуатаційних витрат Використання ентальпійного рекуператора дозволяє знизити витрати на опалення та кондиціонування повітря на 30-50% порівняно з будинками, що не обладнані рекупераційними системами. Це особливо важливо для України, де енергетичні ресурси є дорогими, і економія енергії є ключовою перевагою.

Розділ 5. Ефективність ентальпійного рекуператора тепла і вологи (Діаграми Мольє)

5.1. Основи і принцип використання Діаграми Мольєра

Ентальпійні рекуператори є одним із найсучасніших рішень для підвищення енергоефективності будівель. Вони дозволяють не тільки утримувати тепло від витяжного повітря, але й зберігати вологу, що забезпечує комфортний мікроклімат без додаткових витрат на зволожувачі або охолоджувачі. Для аналізу ефективності роботи рекуператорів у різних умовах часто використовують діаграми Мольєра, які дозволяють визначити енергетичні характеристики повітря на різних етапах його обробки в системах вентиляції.

Діаграма Мольєра — це графічне зображення залежностей між ентальпією повітря, температурою, відносною вологістю, питомою вологістю та іншими параметрами. Ця діаграма є важливим інструментом для інженерів систем опалення, вентиляції та кондиціонування (HVAC), оскільки дозволяє детально аналізувати процеси тепловологісної обробки повітря і визначати ефективність роботи різних елементів системи вентиляції, включаючи рекуператори.

Основні елементи діаграми Мольє:

- ❖ *Ентальпія (h)* — по вертикальній осі, вимірюється в кДж/кг сухого повітря.
- ❖ *Температура (t)* — по горизонтальній осі, вимірюється в градусах Цельсія.
- ❖ *Відносна вологість (ϕ)* — представлена у вигляді кривих ліній, що показують різні рівні вологості.
- ❖ *Питома вологість (x)* — по діагональній осі, вимірюється в г/кг сухого повітря.

За допомогою цієї діаграми можна простежити зміни стану повітря під час проходження через рекуператор: відносну вологість, температуру, ентальпію та інші параметри повітря до і після обробки.

5.2. Використання діаграм Мольє для оцінки ефективності ентальпійних рекуператорів.

Визначення початкових параметрів повітря:

За допомогою діаграми визначають початкові параметри витяжного і припливного повітря. Наприклад, взимку витяжне повітря може мати температуру $+22^{\circ}\text{C}$ і відносну вологість 40%, тоді як припливне — температуру -5°C і вологість 90%. Температура і вологість зовнішнього повітря змінюються в широких межах протягом року (рис.5.1.).

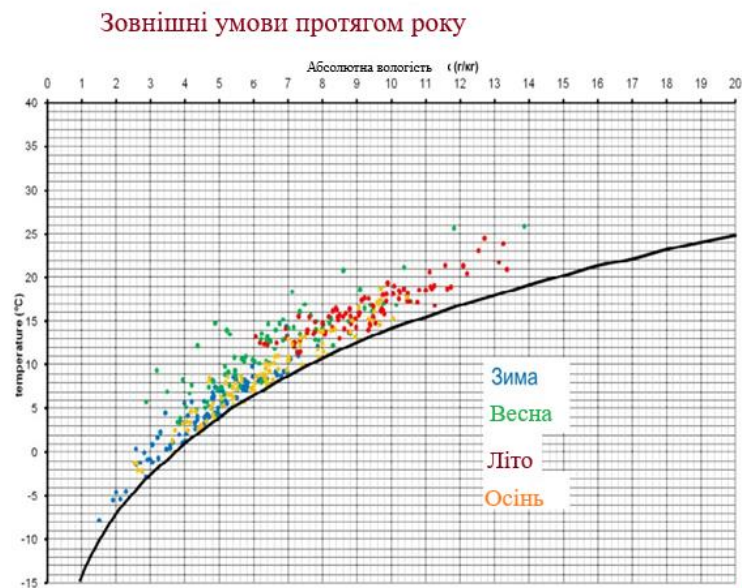


Рис. 5.1 Температура і вологість за сезонами

❖ Розрахунок процесу рекуперації:

На діаграмі Мольє відмічаються точки, що відповідають параметрам витяжного і припливного повітря. Потім проводиться лінія, яка показує процес обміну теплом і вологою в рекуператорі, що дозволяє оцінити зміни повітря після рекуперації.

Звичайний рекуператор тепла (наприклад, пластинчастий теплообмінник) здійснює теплообмін між повітрям, яке входить у приміщення, та повітрям, яке виходить із нього. Підвищена сухість вхідного повітря і випадання конденсату в вихідному повітрі взимку, підвищена вологість вхідного повітря влітку (рис. 5.2).

Стандартний рекуператор влітку та взимку

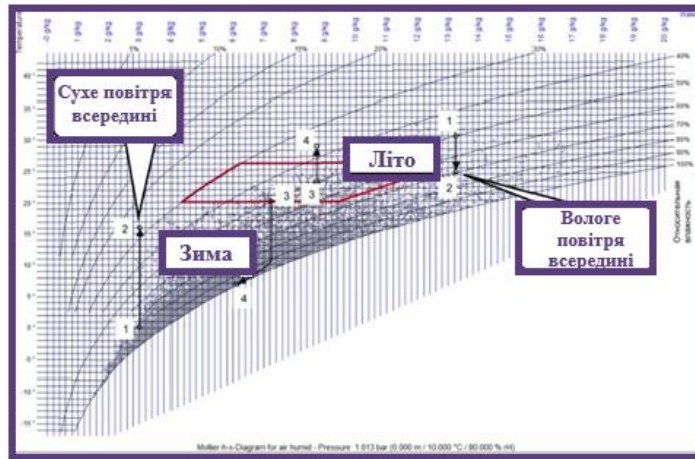


Рис. 5.2. Звичайний рекуператор тепла (теплообмінник).

❖ Аналіз ефективності рекуператора:

Діаграма дозволяє визначити кількість тепла і вологи, що було передано з витяжного до припливного повітря, і оцінити ефективність рекуператора, порівнюючи збережену енергію з потенційно можливою кількістю втрат без рекуперації.

Зона комфорту внутрішнього повітря в приміщенні перебуває у вузькому діапазоні (рис. 5.3.). Температура від 20 до 26 градусів, відносна вологість від 30 до 65%.



Рис. 5.3. Комфортні параметри повітря в приміщенні

Взимку вхідне повітря нагрівається (перехід 1 → 2) і його відносна вологість зменшується (до 10%). При цьому необхідна додаткова енергія і пристрої (нагрівач, зволожувач) для кондиціонування повітря. Повітря, що виходить, охолоджується, його відносна вологість збільшується (до 100%) і випадає конденсат.

Влітку вхідне повітря охолоджується (перехід 1 → 2) і його відносна вологість збільшується. При цьому необхідна додаткова енергія і пристрої для осушення повітря. Повітря, що виходить, нагрівається, і тепло без користі викидається назовні.

Негативні наслідки надто сухого або надто вологого внутрішнього повітря наведено на рис. 5.4.



Рис. 5.4. Проблеми, породжувані виходом внутрішнього повітря за межі зони комфорту

У звичайному рекуператорі (теплообміннику) взимку виникає небезпека замерзання конденсату в рекуператорі (рис. 5.5). Перспективними є так звані ентальпійні рекуператори, що рекуперують не тільки тепло, а й вологу. У них використовуються спеціальні пластикові мембрани з виборчим перенесенням, що пропускають тепло і вологу, але не пропускають запахи, забруднення, гази тощо.

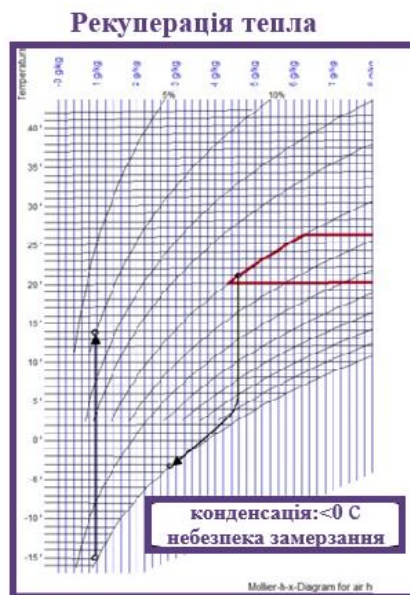


Рис. 5.5. Звичайний рекуператор взимку. Небезпека замерзання конденсату в рекуператорі взимку.

5.3. Ентальпія та робота ентальпійних рекуператорів

Ентальпія — це термодинамічна величина, що включає як теплоту, так і вологість повітря. У рекуператорах з ентальпійним теплообміном використовується мембранний матеріал, який пропускає не тільки тепло, але й вологу між витяжним і припливним повітрям (рис. 5.6). Цей обмін вологою є особливо важливим у холодний період, коли звичайні рекуператори можуть пересушувати повітря в приміщенні.

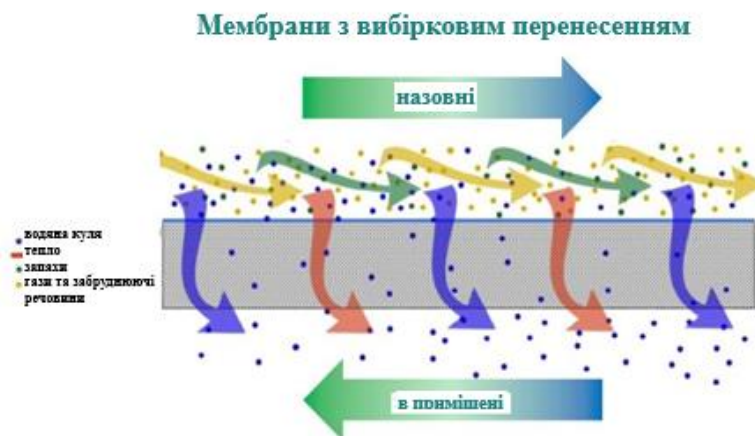


Рис. 5.6. Мембрани з виборчим перенесенням, що використовуються в ентальпійних рекуператорах, які рекуперують не тільки тепло, а й вологу.

Процес рекуперації:

Витяжне повітря видаляється з приміщення, несучи з собою тепло і вологу.

Припливне повітря нагрівається від витяжного повітря і отримує частину його вологи, що до переваги та ефективності рекуператорів

Ентальпійні рекуператори демонструють високий рівень ефективності, особливо в холодних кліматичних умовах, утримуючи до **80-90% тепла** і до **60-70% вологи**. Це суттєво знижує навантаження на системи опалення та кондиціонування, покращуючи комфорт у приміщеннях.

Ентальпійний рекуператор ефективно працює і взимку і влітку. Не потрібне додаткове зволоження і нагрівання. Не потрібні витрати енергії на кондиціонування повітря. Не відбувається втрат ні тепла, ні вологи. Здійснюється ідеальна вентиляція, брудне повітря замінюється чистим з такою самою температурою і вологістю. Не потрібна система опалення (у разі адекватної теплоізоляції будівлі). Не потрібне додаткове зволоження і нагрівання.

Ентальпійний рекуператор взимку та влітку

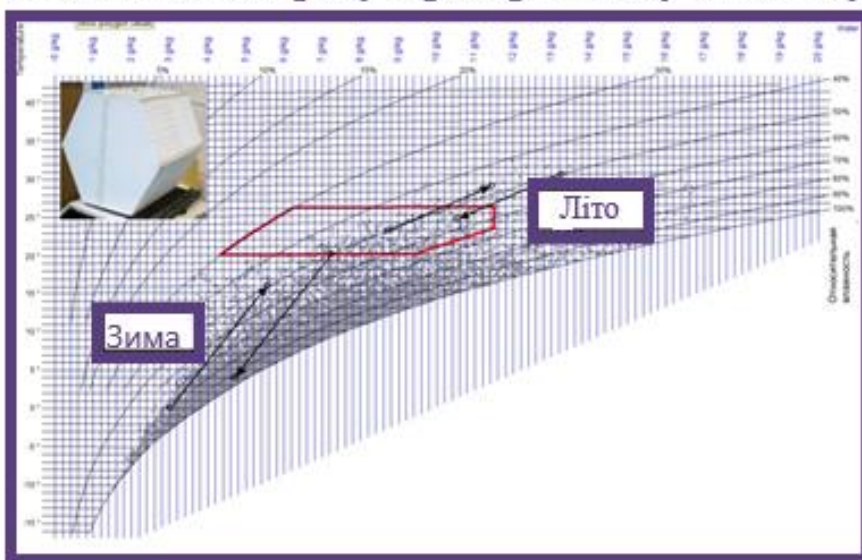


Рис. 5.7. Ефективна робота ентальпійного рекуператора взимку та влітку.

В таблиці 2. наведено порівняння параметрів стандартного рекуператора-теплообмінника та ентальпійного рекуператора вологи й тепла (рис. 5.8.).

Таблиця 2.

Порівняння параметрів стандартного теплообмінника та ентальпійного рекуператора вологи і тепла

	Стандартний теплообмінник	Рекуператор вологи
Ефективність 150м ³ /год	Тепловий ККД 90%	Тепловий ККД 86%
	Вологий ККД 0%	Вологий ККД 63%
	Сумарний ККД 90%	Сумарний ККД 127%
* При відпрацьованому повітрі 22 ⁰ с/40% віднос вологост, зовнішньому повітрю 0 ⁰ с/75% віднос вологи по відношенню до тепла в потоці відпрацьованого повітря		

Рекуператор вологи для скорочення осушення внутрішнього повітря взимку



Пластинчастий рекуператор стійкіший від мікробів та запахів



Рис. 5.8. Стандартний теплообмінник та ентальпійн рекуператор вологи і тепла

5.4. Виклики та перспективи використання

Попри значні переваги, ентальпійні рекуператори мають кілька викликів:

- ❖ **Вартість:** Вони є дорожчими за звичайні пластинчасті рекуператори, але швидко окупуваються за рахунок економії на опаленні та кондиціонуванні.
- ❖ **Технічне обслуговування:** Ентальпійні рекуператори потребують регулярного обслуговування, включаючи заміну фільтрів і перевірку мембран.

Ентальпійні рекуператори — це ефективне рішення для підвищення енергоефективності та поліпшення якості повітря в будівлях. Вони дозволяють значно знизити витрати на опалення, кондиціонування і зволоження повітря, особливо в умовах українського клімату. Використання діаграм Мольтє допомагає

оцінити ефективність таких систем і оптимізувати їх роботу для досягнення максимальних результатів в енергозбереженні.[CORE Energy Recovery Solutions](#)).

Розділ 6. Технологічні рішення для автоматизації

6.1. Сучасні підходи до автоматизації систем ПВВ

Автоматизація припливно-витяжних вентиляційних систем (ПВВ) відіграє ключову роль у забезпеченні оптимальних умов мікроклімату в сучасних будівлях. Вона дозволяє підтримувати необхідні параметри, такі як температура, вологість та концентрація CO₂, одночасно скорочуючи енергетичні витрати за допомогою інтелектуальних технологій управління. Важливими є інтеграція вентиляційних систем із загальною системою управління будівлею (BMS), застосування відновлюваних джерел енергії та використання новітніх технологій автоматизації. Цей розділ присвячено розробці функціональної схеми автоматизації ПВВ з урахуванням цих вимог.

Функціональна схема (рис. 6.1.) автоматизації є базовим етапом проєктування та реалізації вентиляційної системи. Вона описує основні компоненти та їх взаємодію, а також алгоритми управління, спрямовані на досягнення необхідних параметрів мікроклімату (додаток Б). До основних елементів схеми належать припливні та витяжні вентилятори, рекуператори тепла, датчики температури, вологості, CO₂, контролери та інтерфейси управління.

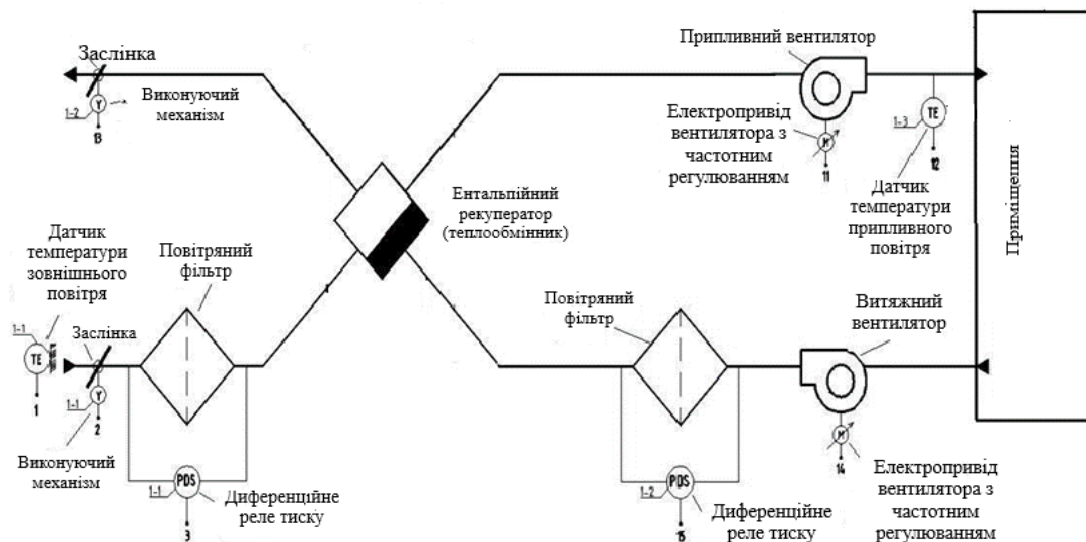


Рис. 6.1. Функціональна схема автоматизації припливно-витяжної системи вентиляції з ентальпійним рекуператором(теплообмінником)

❖ Інтеграція з системою управління будівлею (BMS)

Інтеграція системи ПВВ з BMS дозволяє централізовано управляти всіма інженерними системами будівлі, включаючи опалення, кондиціонування, освітлення, безпеку тощо. Це забезпечує можливість обміну даними між системами та використання загальних алгоритмів управління для підвищення енергоефективності. За даними дослідження компанії Research and Markets, використання BMS дозволяє знизити енерговитрати будівель на 20-30% за рахунок оптимізації роботи всіх систем.

❖ Використання інтелектуальних контролерів та сенсорів

Сучасні системи автоматизації ПВВ обладнані інтелектуальними контролерами та датчиками, які забезпечують точне вимірювання параметрів повітря і ефективне управління системою. Наприклад, датчики CO₂ дозволяють регулювати продуктивність вентиляції залежно від кількості людей у приміщенні, знижуючи енерговитрати у моменти, коли приміщення порожнє або недостатньо завантажене. Згідно з дослідженням ASHRAE (Американського товариства інженерів з опалення, холодильного обладнання та кондиціонування), використання датчиків CO₂ у системах вентиляції дозволяє знизити енерговитрати на 15-20% без втрати комфорту.

❖ Адаптивні алгоритми управління

Використання адаптивних алгоритмів управління в системах автоматизації дозволяє враховувати зміну зовнішніх умов, таких як температура, вологість, швидкість вітру, та автоматично регулювати параметри системи для досягнення максимального комфорту та енергоефективності. Наприклад, система може автоматично знижувати інтенсивність вентиляції вночі або у вихідні дні, коли приміщення не використовується, що дозволяє зменшити споживання енергії.

6.2. Основні компоненти системи автоматизації:

❖ Датчик температури зовнішнього повітря

Датчик визначає температуру зовнішнього повітря, що дозволяє системі автоматично переходити між режимами "Літо" і "Зима". Це важливо для оптимізації роботи рекуператора залежно від сезонних змін і дозволяє заощаджувати енергію.

❖ Заслінка зовнішнього повітря з електроприводом

Запобігає вступу зовнішнього повітря при вимкненій системі вентиляції. На вал повітряної заслінки встановлюється електропривод. При вступі команди "Пуск", на електропривод подається напруга і заслінка відкривається. Наявність "поворотної пружини"(для припливної заслінки) дозволяє, при пропажі електроживлення шафи автоматики, перекривати доступ зовнішнього повітря в приміщення і припливну установку.

❖ Контроль забрудненості фільтрів

Повітряний фільтр призначений для очищення повітря від сторонніх часток. В процесі роботи матеріал, що фільтрує, засмічується, і потрібно його очищення. Для контролю міри забрудненості фільтру застосовується диференціальне реле тиску. Цей пристрій, при працюючому вентиляторі, контролює різницю тисків до і після фільтру. При сильному забрудненні, перепад тисків значно збільшується, спрацьовує механічне реле, і АСОВІ ТП видає попередження. При використанні

систем з рекуперацією повітря, установка фільтрів обов'язкова до рекуператора на припливі і на витягу.

❖ Ентальпійний рекуператор

Основна функція рекуператора — утилізація тепла і вологи витяжного повітря для підігріву припливного повітря. Це дозволяє значно знизити енергетичні витрати на опалення взимку і охолодження влітку. Ентальпійний рекуператор не лише передає тепло, але й підтримує оптимальну вологість у приміщенні, що сприяє підвищенню комфорту.

❖ Вентилятори є головними вузлами в системах кондиціонування мікроклімату будівель.

Основне призначення вентилятора - забезпечення санітарно-гігієнічних умов для перебування в приміщенні людини, а також технологічних умов для нормального функціонування технологічних процесів у виробничих приміщеннях. Забезпечення санітарно-гігієнічних і технологічних умов досягається видаленням з приміщення забрудненого повітря і заміною його свіжим зовнішнім, тобто підтримкою необхідного повітрообміну.

❖ Частотні перетворювачі

У момент пуску електродвигуна пусковий струм в рази перевищує номінальні значення, що негативно позначається на роботі самого електродвигуна, і може привести до виходу з ладу електроустаткування. Для відвертання високих пускових струмів і можливості спрощення нададки повітрообміну застосовується частотний перетворювач. Пуск двигуна здійснюється шляхом плавної зміни напруги і частоти. У плінні усього часу струм двигуна підтримується в межах обмеження, заданого налаштуваннями перетворювача. ЧП дозволяє виставити необхідну продуктивність вентилятора.

❖ Канальний датчик температури припливного повітря

Датчик температури на припливі контролює температуру припливного повітря і допомагає автоматизованій системі керування підтримувати задані параметри мікроклімату. Він також виявляє аварійні ситуації, такі як перегрів або

недостатній нагрів припливного повітря, та своєчасно сигналізує про необхідність втручання.

6.3. Повітряна заслінка ВЕНТС КР 125

ВЕНТС КР 125 (рис.8.1.) є ключовим компонентом припливно-витяжної вентиляції, особливо в автоматизованих системах, де необхідно точно регулювати потоки повітря. Вона використовується для контролю кількості свіжого повітря, що надходить до приміщення, та видалення відпрацьованого повітря, а також для запобігання потраплянню зовнішнього повітря при вимкненій системі вентиляції.



Рис. 6.2. Загальний вигляд повітряної заслінки ВЕНТС КР 125

Повітряні засувки ВЕНТС КР 125 використовуються для перекриття та регулювання потоків повітря в системах вентиляції. Вони можуть бути інтегровані у вентиляцію пасивних будинків, забезпечуючи автоматичне управління потоками повітря на основі температури, вологості та якості повітря в приміщенні. Система автоматично відкриває або закриває засувку відповідно до сигналів з системи управління, що підвищує ефективність вентиляції та знижує втрати тепла.

6.3.1. Основні характеристики ВЕНТС КР 125:

❖ **Матеріал:** Засувка виготовлена з оцинкованої сталі, що забезпечує довговічність і стійкість до корозії.

❖ **Електропривод:** Засувка оснащена електричним приводом для автоматичного управління. Це дозволяє засувці відкриватися і закриватися відповідно до команд з системи автоматики.

❖ **Робоча температура:** Засувка може працювати в широкому діапазоні температур, що робить її придатною для використання як у внутрішніх, так і в зовнішніх умовах.

❖ **Швидкість відкриття/закриття:** Засувка має швидкий відгук на команди з системи управління, забезпечуючи надійну і точну роботу.

❖ **Механізм аварійного закриття:** У разі втрати живлення електропривод може автоматично закрити засувку завдяки вбудованій "поворотній пружині", що допомагає запобігти небажаному надходженню повітря у випадку відключення вентиляційної системи.

6.3.2. Принцип роботи та управління

Повітряна засувка ВЕНТС КР 125 працює за таким принципом:

❖ **Відкриття засувки:** Коли система вентиляції вмикається, електропривод засувки отримує сигнал "Пуск", після чого засувка відкривається і дозволяє приплив зовнішнього повітря в систему. Засувка залишається відкритою під час роботи вентиляції, забезпечуючи вільний рух повітря через систему.

❖ **Закриття засувки:** При вимиканні системи або переході в аварійний режим засувка автоматично закривається, перекриваючи приплив повітря в приміщення. Це допомагає запобігти втратам тепла взимку або запобігти попаданню надлишкового тепла влітку. Функція автоматичного закриття також корисна при аварійних зупинках, коли необхідно швидко припинити повітрообмін.

6.3.3. Переваги використання ВЕНТС КР 125 у системах вентиляції

❖ **Енергоефективність:** Автоматичне закриття засувки в разі вимкнення вентиляційної системи допомагає зберігати тепло в приміщенні, знижуючи витрати на опалення в холодний період року. Це особливо важливо для пасивних будинків і енергоефективних будівель.

❖ **Безпека та надійність:** Наявність механізму аварійного закриття засувки дозволяє запобігти неконтрольованим потокам повітря у випадку збоїв у роботі системи або відключення електроживлення.

❖ **Автоматизація та зручність:** Засувка ВЕНТС КР 125 інтегрується в систему автоматизації вентиляції, забезпечуючи безперервний контроль над повітряними потоками без необхідності ручного управління.

❖ **Зменшення втрат тепла:** Використання засувки запобігає несанкціонованому входу холодного повітря взимку та теплого повітря влітку, що дозволяє системі вентиляції ефективніше працювати.

6.4. Електропривід BELIMO

Для автоматизованого керування повітряними засувками використовується електромоторний виконавчий механізм BELIMO. Це надійне рішення для систем вентиляції, яке забезпечує швидке і точне регулювання положення заслінки. Особливістю приводу BELIMO (рис.6.3.) є наявність зворотної пружини, яка забезпечує закриття засувки при вимкненні електроживлення. Це важливо в умовах використання рекуператора, оскільки запобігає замерзанню теплообмінника при відключенні системи або аварійних ситуаціях.



Рис. 6.3. Електромоторний виконавчий механізм (привід) заслінки BELIMO

6.4.1. Технічні характеристики електроприводу BELIMO (рис.6.4.):

1. Площа заслінки: 0,4 м²
2. Крутний момент: 2 Нм
3. Тип керування: Відкрито/закрито

4. Напруга живлення: 24 В або 230 В

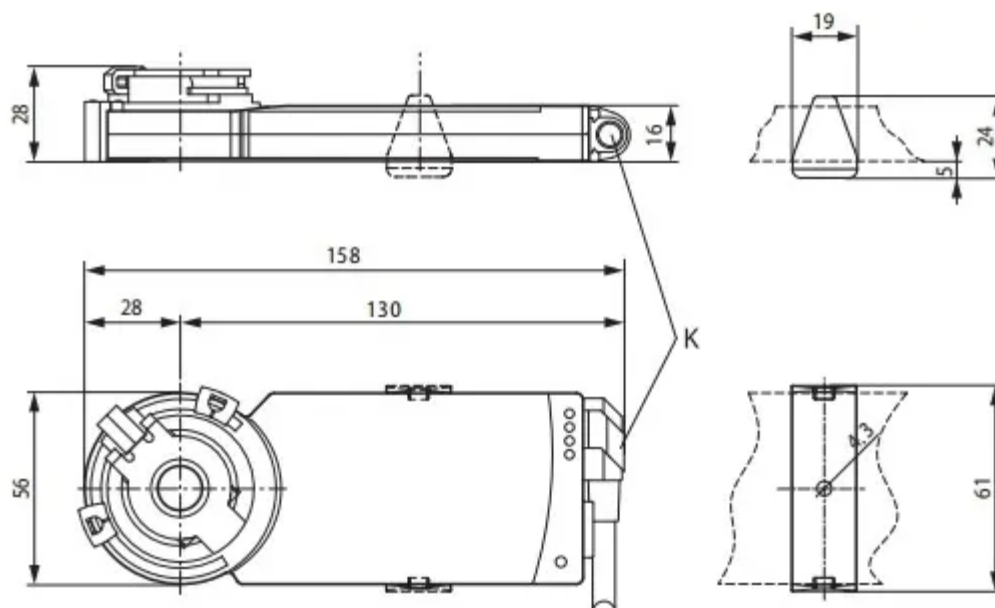


Рис. 6.4. Габаритні розміри (додаток В)

Електроприводи BELIMO широко використовуються у системах автоматизації вентиляції через свою простоту у використанні, високу надійність і енергоефективність. У разі відключення електроенергії привід автоматично повертається у вихідне положення "Закрито", завдяки зворотній пружині. Це допомагає захистити теплообмінне обладнання і зберегти енергоефективність системи.

6.4.2. Принцип роботи

При отриманні сигналу від системи автоматизації, електропривод BELIMO відкриває або закриває засувку ВЕНТС КР 125, регулюючи потік повітря. Це дозволяє точніше керувати кліматичними умовами в приміщенні та забезпечувати оптимальний повітрообмін. Завдяки автоматизації, система може автоматично змінювати роботу залежно від сезону (літо/зима) або інших умов, підвищуючи енергоефективність будинку.

6.4.3. Використання в пасивних будинках

У проєкті пасивного будинку, де ключовим є збереження тепла і мінімізація енергоспоживання, засувка ВЕНТС КР 125 з електроприводами BELIMO відіграє

важливу роль у підтримці високого рівня енергоефективності. Її здатність автоматично закривати доступ повітря при вимкненні системи вентиляції допомагає уникнути втрат тепла в холодний сезон, що є критичним для збереження мікроклімату і досягнення показників енергоефективності, необхідних для стандартів пасивного будинку.

Завдяки простоті інтеграції в автоматизовану систему управління і високій надійності, ВЕНТС КР 125 з електроприводами BELIMO є ідеальним рішенням для проєктів, де важлива оптимізація повітрообміну і контроль енерговитрат.

6.5. DTV500X-OEM реле тиску REGIN

6.5.1. Реле тиску DTV500X-OEM реле тиску REGIN (рис. 6.5.) використовується в системах вентиляції для контролю перепаду тиску в повітроводах або фільтрах, що сприяє безперебійній роботі вентиляційного обладнання. Воно сигналізує про необхідність технічного обслуговування, зокрема заміни чи очищення фільтрів, що дозволяє підтримувати стабільний повітрообмін та енергоефективність.



Рис. 6.5. DTV500X-OEM реле тиску REGIN

Основні характеристики REGIN DTV500X-OEM (рис. 6.6.), (додаток Г):

- ❖ Діапазон вимірювання перепаду тиску: від 20 Па до 1000 Па (в залежності від моделі).
- ❖ Принцип роботи: Реле контролює різницю тисків між двома точками (до та після фільтра або вентиляційного елементу) і реагує на значне збільшення перепаду, що сигналізує про засмічення або перегородження потоку повітря.
- ❖ Точність вимірювань: Висока точність і стабільність вимірювань забезпечує надійний контроль навіть за мінімальних змін тиску.

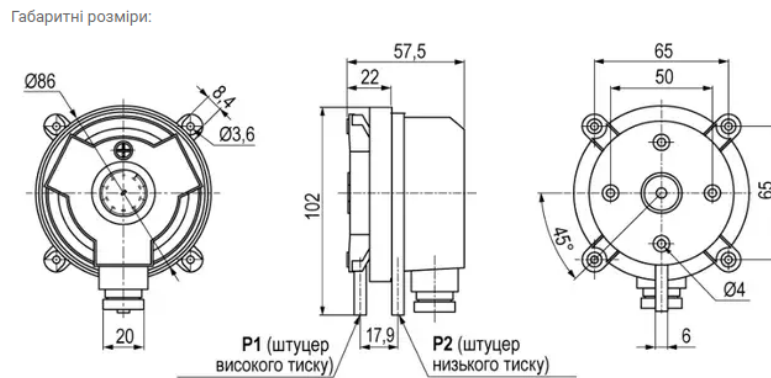


Рис.6.6. Габаритні, монтажні і приєднувальні розміри реле тиску

- ❖ Тип виходу: Реле може мати аналоговий або цифровий вихід, що дозволяє інтегрувати його у сучасні системи автоматизації вентиляційного обладнання.
- ❖ Монтаж: Реле легко встановлюється і налаштовується, що робить його зручним для використання в різних конфігураціях вентиляційних систем.

6.5.2. Принцип роботи

Диференційне реле тиску DTV500X-ОЕМ РЕЛЕ ТИСКУ REGIN (додаток Г) призначене для контролю перепаду тиску між двома точками в системі вентиляції: перед фільтром (на вході повітря до вентиляційного каналу) і після нього (на виході) (рис. 6.7.). Це дозволяє визначати стан фільтра та ефективність роботи вентиляційної системи.

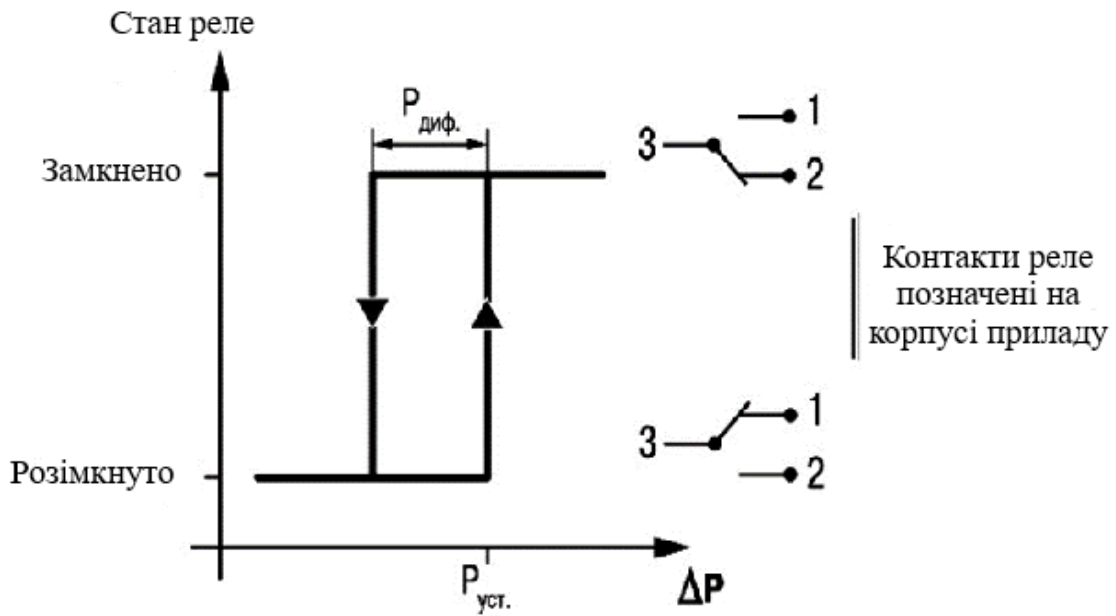


Рис. 6.7. Принцип роботи реле тиску

❖ **Під час нормальної роботи:** коли фільтр чистий (додаток Д), різниця тиску між двома точками мінімальна. У цьому випадку контакти «3» і «1» залишаються замкнутими, а контакти «3» і «2» — розімкнутими. Сигналізація вимкнена, оскільки система працює нормально (рис. 6.8.).

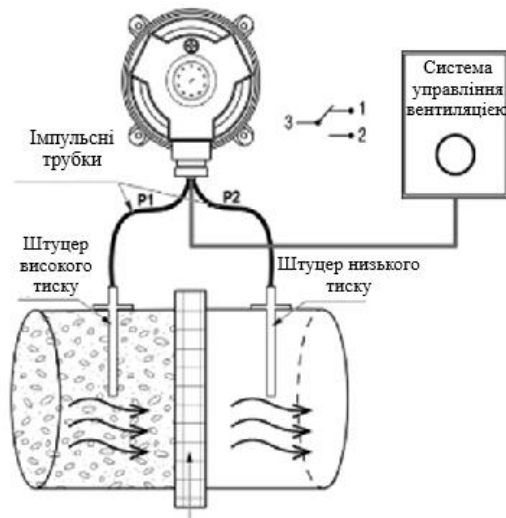


Рис. 6.8. Схема роботи приладу в системі вентиляції для контролю чистого фільтру

❖ **Коли фільтр засмічується** (додаток Д) опір потоку повітря через фільтр збільшується, що призводить до зростання перепаду тиску між точками вимірювання. Коли перепад досягає встановленого порогу, реле DTV500X-OEM РЕЛЕ ТИСКУ REGINспрацьовує: контакти «3» і «1» розмикаються, а контакти «3» і «2» — замикаються. Це вмикає сигналізацію і подає сигнал до системи автоматизації, інформуючи про необхідність заміни або очищення фільтра (рис. 6.9.).

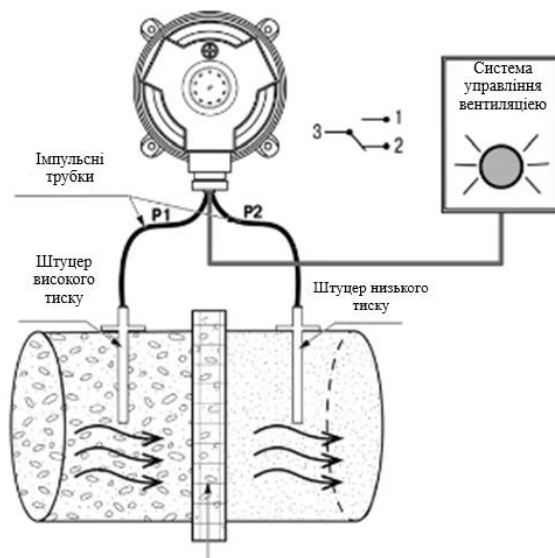


Рис. 6.9. Схема роботи приладу в системі вентиляції для контролю засміченого фільтра

Таким чином, DTV500X-OEM РЕЛЕ ТИСКУ REGINдопомагає забезпечити безперебійну роботу вентиляційної системи, своєчасно реагуючи на зміни в стані фільтра та запобігаючи можливим проблемам, пов'язаним із засміченням.

6.5.3. Застосування в системах вентиляції

У системах припливно-витяжної вентиляції DTV500X-OEM РЕЛЕ ТИСКУ REGINвиконує кілька важливих функцій:

❖ **Контроль чистоти фільтрів:** Основне призначення реле — це своєчасний контроль стану повітряних фільтрів. Коли фільтр забруднений, збільшується опір потоку повітря, що негативно впливає на продуктивність системи і може спричинити перевитрати енергії. Завдяки реле DTV500X-OEM

РЕЛЕ ТИСКУ REGIN система своєчасно попереджає про необхідність заміни або очищення фільтра.

❖ Підвищення енергоефективності: Чисті фільтри забезпечують оптимальний повітрообмін і знижують навантаження на вентилятори, що зменшує енергоспоживання. Контроль за станом фільтрів за допомогою реле дозволяє підтримувати систему вентиляції в оптимальному стані.

❖ Захист системи: Засмічені фільтри можуть спричинити перегрів або перевантаження вентиляційного обладнання. Використання DTV500X-ОЕМ РЕЛЕ ТИСКУ REGIN для контролю стану фільтрів допомагає уникнути аварійних ситуацій і продовжити термін служби обладнання.

6.5.4. Переваги використання DTV500X-ОЕМ РЕЛЕ ТИСКУ REGIN

❖ Висока точність вимірювань: Завдяки точному контролю перепаду тиску, реле забезпечує своєчасне інформування про засмічення фільтрів, що дозволяє уникнути неполадок у роботі системи.

❖ Автоматизація процесів: Реле легко інтегрується в сучасні системи автоматизації вентиляції, що дозволяє забезпечити віддалене керування і контроль без необхідності постійного ручного втручання.

❖ Зниження витрат на обслуговування: Своєчасне виявлення засміченості фільтрів дозволяє уникнути аварійних зупинок системи та забезпечити більш ефективну експлуатацію обладнання.

У проєкті пасивного будинку контроль чистоти повітряних фільтрів є критично важливим для забезпечення ефективної роботи системи вентиляції з рекуперацією тепла. Оскільки пасивний будинок передбачає мінімізацію енергоспоживання і максимальне збереження тепла, засмічення фільтрів може призвести до зниження продуктивності вентиляційної системи і збільшення витрат на опалення або охолодження.

Використання DTV500X-ОЕМ РЕЛЕ ТИСКУ REGIN дозволяє підтримувати ефективну роботу системи вентиляції, своєчасно попереджаючи про необхідність

обслуговування. Це забезпечує стабільний мікроклімат і знижує експлуатаційні витрати, що є важливим для енергоефективності пасивного будинку.

6.6. DANFOSS VLT MICRO DRIVE FC 51 Перетворювач частоти

6.6.1. DANFOSS VLT MICRO DRIVE FC 51

Частотний перетворювач серії Danfoss VLT Micro Drive FC 51 (рис.6.10.) призначений для керування швидкістю обертання електродвигунів, забезпечуючи енергоефективність та зниження витрат на електроенергію. Це універсальний і компактний пристрій, який відповідає всім сучасним стандартам управління.



Рис. 6.10. Загальний вигляд перетворювача частоти

6.6.2. Основні технічні характеристики (Таблиця2)

Таблиця 2

Технічні характеристика

Параметр	Значення
Потужність	2,2 кВт
Вхідна напруга	200-240 В
Вихідний струм	9,5 А
Частотний діапазон	0-500 Гц
Ефективність	Ефективність
Вага	1,1 кг

Клас захисту	IP20
Інтерфейси	Інтерфейси
Функція самодіагностики для швидкого виявлення помилок і спрощення обслуговування	

6.6.3. Особливості та переваги використання

- ❖ Економія енергії. Завдяки оптимізованому керуванню обертанням двигуна, частотний перетворювач знижує витрати енергії, особливо в системах вентиляції та насосах.

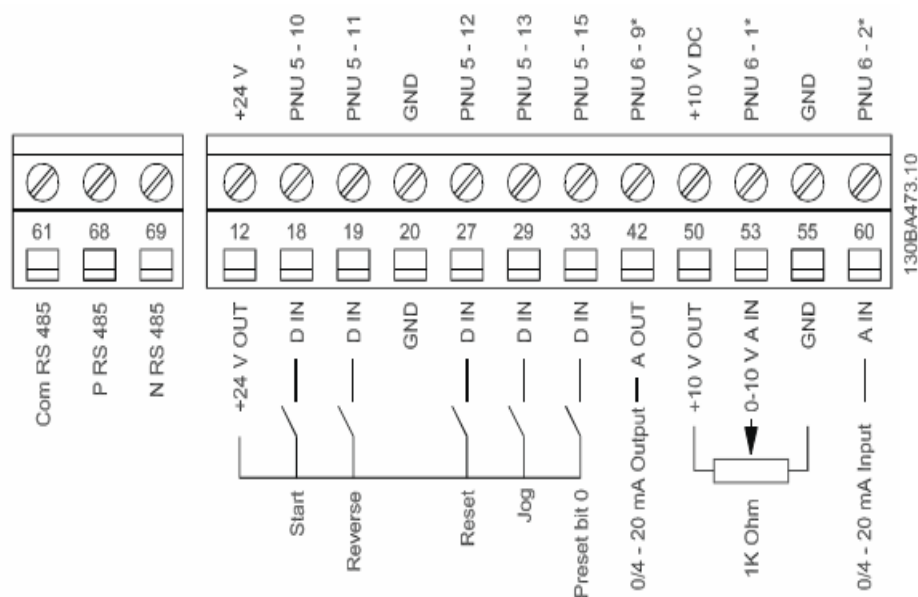


Рис. 6.11. Схема електричних з'єднань DANFOSS VLT MICRO DRIVE FC 51
(додаток Е)

- ❖ Компактність. Малі габарити дозволяють встановлювати пристрій навіть у обмеженому просторі.
- ❖ Надійність. Виконаний з використанням високоякісних матеріалів, FC 51 забезпечує стабільну роботу протягом тривалого часу.
- ❖ Гнучкість налаштувань. Широкий набір налаштувань дозволяє адаптувати роботу пристрою під конкретні потреби системи (рис.6.11.-6.12.)
- ❖ Легкість обслуговування. Доступ до всіх необхідних компонентів спрощує процес технічного обслуговування та діагностики.

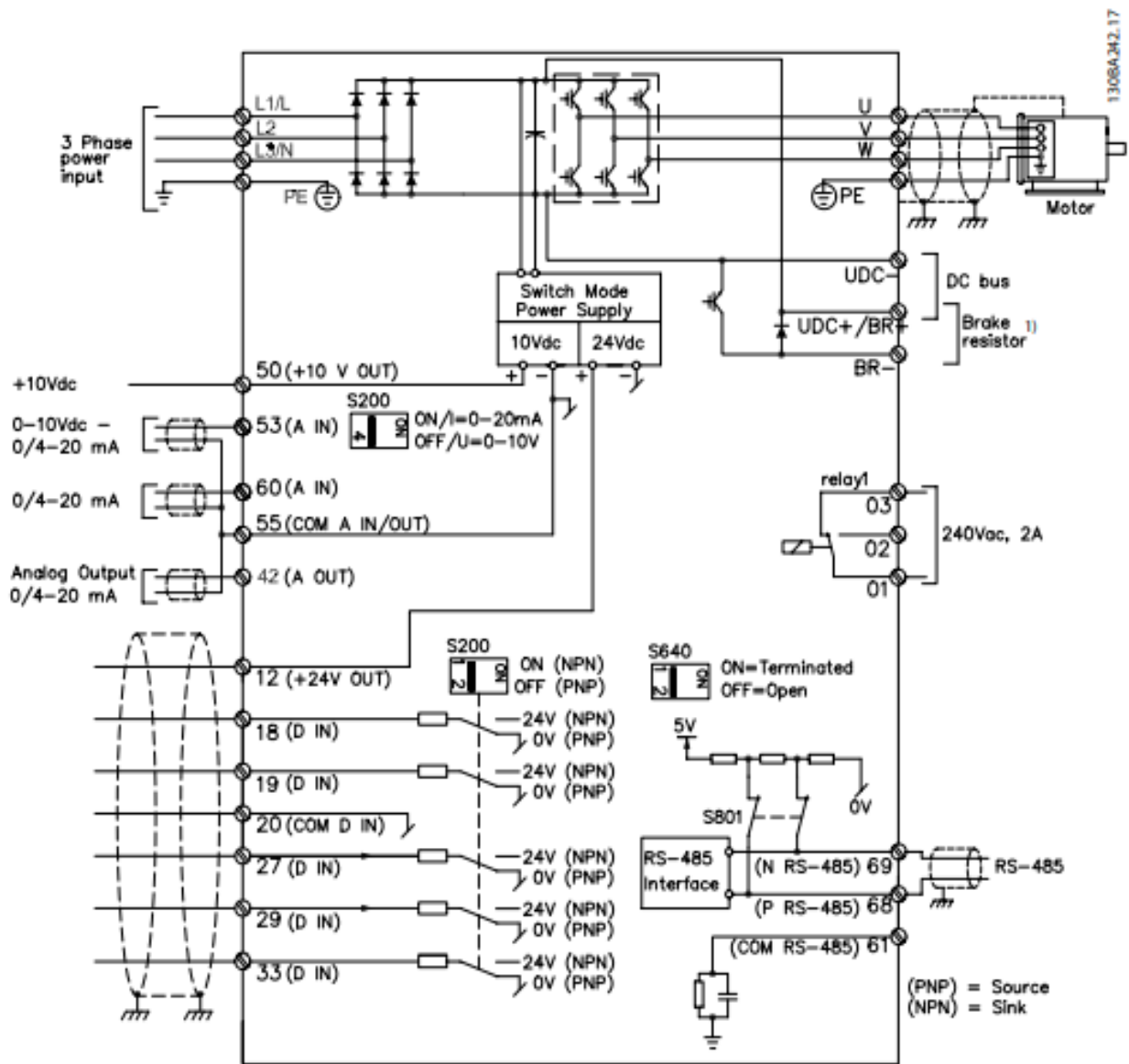


Рис. 6.12. Схема приєднань частотного перетворювача (додаток Є)

6.6.5. Застосування в системах вентиляції

Частотний перетворювач часто використовується в системах вентиляції завдяки їх високій енергоефективності та можливості точного регулювання швидкості обертання двигуна. Це дозволяє:

- ❖ **Підвищити енергоефективність** системи вентиляції, знижуючи витрати на електроенергію за рахунок зменшення швидкості обертання двигунів у непікові періоди.
- ❖ **Поліпшити якість повітря** в приміщеннях завдяки можливості керування швидкістю повітряного потоку в реальному часі.

- ❖ **Подовжити термін служби** обладнання, оскільки регульовані оберти знижують знос двигунів та вентиляційних механізмів.
- ❖ **Покращити акустичний комфорт**, оскільки зменшення швидкості обертання часто призводить до зниження рівня шуму.

6.7. Sensit PTS 45-100 датчик температури

6.7.1. Канальний датчик температури SENSIT PTS 45-100

SENSIT PTS 45-100 (рис.6.13.) призначений для вимірювання температури повітря в системах вентиляції, кондиціонування, а також також у системах опалення. Він встановлюється в каналах повітропроводів і забезпечує точне вимірювання температури, що дозволяє ефективно регулювати параметри мікроклімату в приміщеннях.



Рис.6.13. Загальний вид SENSIT PTS 45-100

Датчик температури SENSIT PTS 45-100 (додаток Ж) використовується для перетворення зміни температури в зміну електричного опору. Завдяки своїй універсальності, датчик може застосовуватися в різних промислових і комунальних системах, таких як:

- ❖ Системи теплопостачання для контролю температури води та інших рідин.
- ❖ Вентиляційні системи для моніторингу температури повітря, що подається або видаляється.
- ❖ Системи кондиціонування повітря для підтримки стабільного мікроклімату.

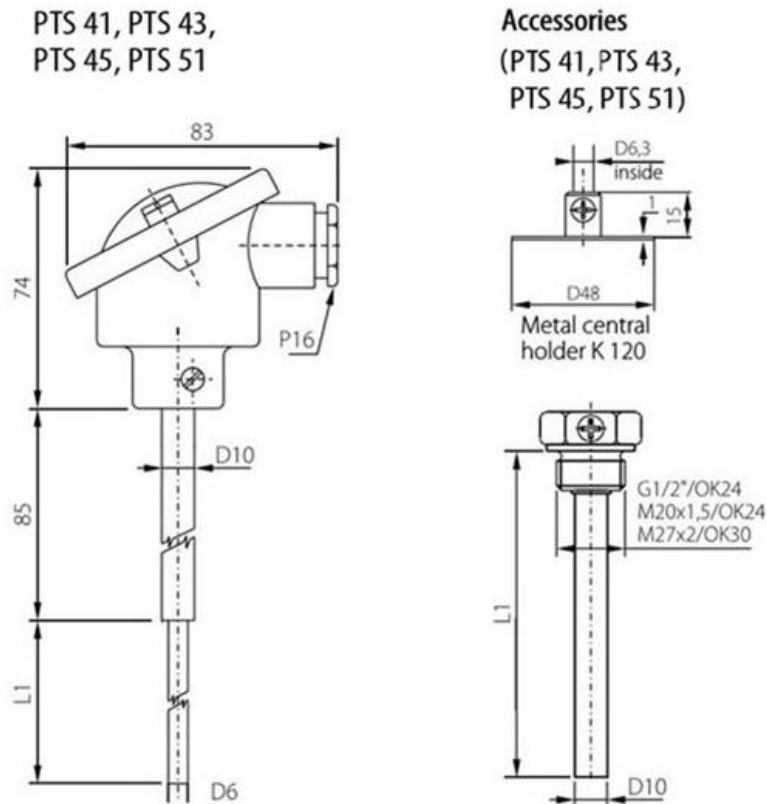


Рис. 6.14. Монтажні та приєднувальні розміри датчика температури.

6.7.2 Конструкція та принцип роботи

Конструкція складається з корпусу, сенсорного елемента та з'єднувального кабелю. Корпус отриманий із міцних матеріалів, що стійкі до механічних пошкоджень і впливу навколишнього середовища, таких як нержавіюча сталь або пластик, що забезпечують надійність у процесі експлуатації. Основним елементом цього датчика є термоперетворювач опору (наприклад, Pt100 або Pt1000), який змінює опір залежно від температури. Принцип роботи датчика обґрунтовується на зміні електричного опору сенсорного елемента під дією температури. Зміна опору вимірюється і перетворюється на відповідний електричний сигнал, який передається до контролера або системи управління, де виконується обробка даних для регулювання температури. Завдяки каналному виконанню, датчик забезпечує

безсереднє вимірювання температури повітря, що проходить через повітропровід, і має високу точність показників.

6.7.3. Основні характеристики

Тип сенсора: термоперетворювач опору (Pt100, Pt1000)

Діапазон вимірюваних температур: від -50 до +100 °С (може змінюватися в залежності від моделі)

Матеріал корпусу: нержавіюча сталь або високоякісний пластик, що забезпечує стійкість до корозії та пошкодження

Клас захист: IP65 (захист від пилу і водяних струменів)

Тип підключення: з'єднувальний кабель або роз'єм, що відповідає стандартам індустріальної автоматизації

Довжина датчика: зазвичай від 45 до 100 мм, залежно від конструкції

6.7.4. Переваги використання SENSIT PTS 45-100

- ❖ Висока точність вимірювання: Похибка всього $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$ забезпечує точний контроль температури, що є важливим для ефективної роботи систем тепlopостачання та вентиляції.
- ❖ Широкий діапазон вимірювання температури: Можливість роботи при температурах від -50°C до $+100^{\circ}\text{C}$ дозволяє використовувати датчик у різних середовищах, включаючи холодоагенти, гарячу воду, повітряні потоки тощо.
- ❖ Надійність і довговічність: Завдяки захисній арматурі та використанню якісних матеріалів, датчик має високий рівень стійкості до механічних пошкоджень і впливу зовнішніх факторів, що забезпечує його тривалу експлуатацію.
- ❖ Легкість монтажу: Компактні габарити та стандартизовані розміри забезпечують простоту монтажу і сумісність із різними типами обладнання.

Застосування в системах вентиляції

У системах вентиляції SENSIT PTS 45-100 використовується для контролю температури припливного і витяжного повітря, що дозволяє автоматизованим системам керування підтримувати стабільний мікроклімат у приміщеннях.

Зокрема, датчик може застосовуватися для регулювання роботи рекуператора, контролю температури повітря на вході та виході з системи.

6.8. Контролер MCX06D

6.8.1. MCX06D

Сучасний контролер, призначений для погодозалежного керування системами припливної вентиляції з датчиками.

Цей прилад використовується в системах автоматизації для забезпечення точного регулювання температури та підтримки необхідних параметрів мікроклімату в приміщенні. Контролер (рис.6.15.) працює у поєднанні з датчиками температури та виконавчими механізмами (засувками, вентиляторами), що дозволяє автоматизувати процес управління системою вентиляції залежно від зовнішніх умов.



Рис. 6.15 Загальний вид MCX06D

6.8.2. Опис і призначення

Контролер MCX06D забезпечує погодозалежне керування вентиляційними системами, що є важливим для підтримання стабільного мікроклімату в умовах змін температури зовнішнього середовища. Серед функцій контролера можна виділити:

- ❖ Регулювання температури припливного повітря.

- ❖ Керування засувками та вентиляторами.
- ❖ Відображення поточних параметрів роботи на дисплеї.
- ❖ Підключення до систем автоматизації через інтерфейс RS-485.

Контролер може працювати в різних режимах, залежно від потреб системи, що робить його універсальним рішенням для припливно-витяжних систем вентиляції як у промислових, так і в житлових приміщеннях.

6.8.3. Основні характеристики МСХ06D

- ❖ **Погодозалежне керування:** Контролер автоматично регулює роботу вентиляційної системи залежно від температури зовнішнього повітря. Це дозволяє знизити витрати на енергію, оскільки система вентиляції адаптується до зовнішніх умов і не працює на максимальній потужності в непотрібний час.

- ❖ **Живлення:** Контролер живиться від мережі змінного струму 220 В.

- ❖ **Підключення датчиків:** Підтримує підключення датчиків температури для вимірювання температури зовнішнього та припливного повітря, а також датчиків тиску для контролю повітряного потоку.

- ❖ **Інтерфейс RS-485:** Контролер підтримує підключення до систем автоматизації через інтерфейс RS-485, що дозволяє здійснювати віддалене керування та моніторинг роботи вентиляційної системи.

- ❖ **Вихідні сигнали:** Контролер оснащений дискретними та аналоговими виходами для управління вентиляторами, засувками та іншими виконавчими механізмами.

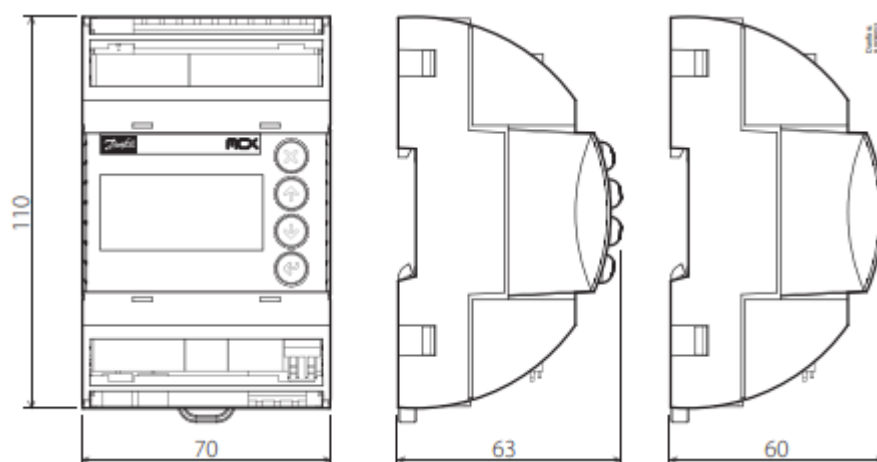


Рис.6.16. Габаритні розміри

Габаритні розміри: ширина: 96 мм., висота: 96 мм. глибина: 60 мм.(рис. 6.16)

Компактні розміри контролера дозволяють легко монтувати його на стандартну ДИН-рейку в шафах автоматизації.

6.8.4. Принцип роботи і підключення

Контролер MSX06D працює в поєднанні з датчиками температури та виконавчими механізмами. Основний принцип його роботи полягає у зчитуванні даних з датчиків зовнішнього і припливного повітря та автоматичному регулюванні роботи вентиляторів і заслінок для підтримання заданих параметрів мікроклімату.

❖ Схема підключення (рис.6.17.) Датчики підключаються до входів контролера, а виконавчі механізми (вентилятори, засувки) — до виходів. За допомогою інтерфейсу RS-485 можна підключити контролер до систем диспетчеризації для віддаленого моніторингу і керування (додаток З).

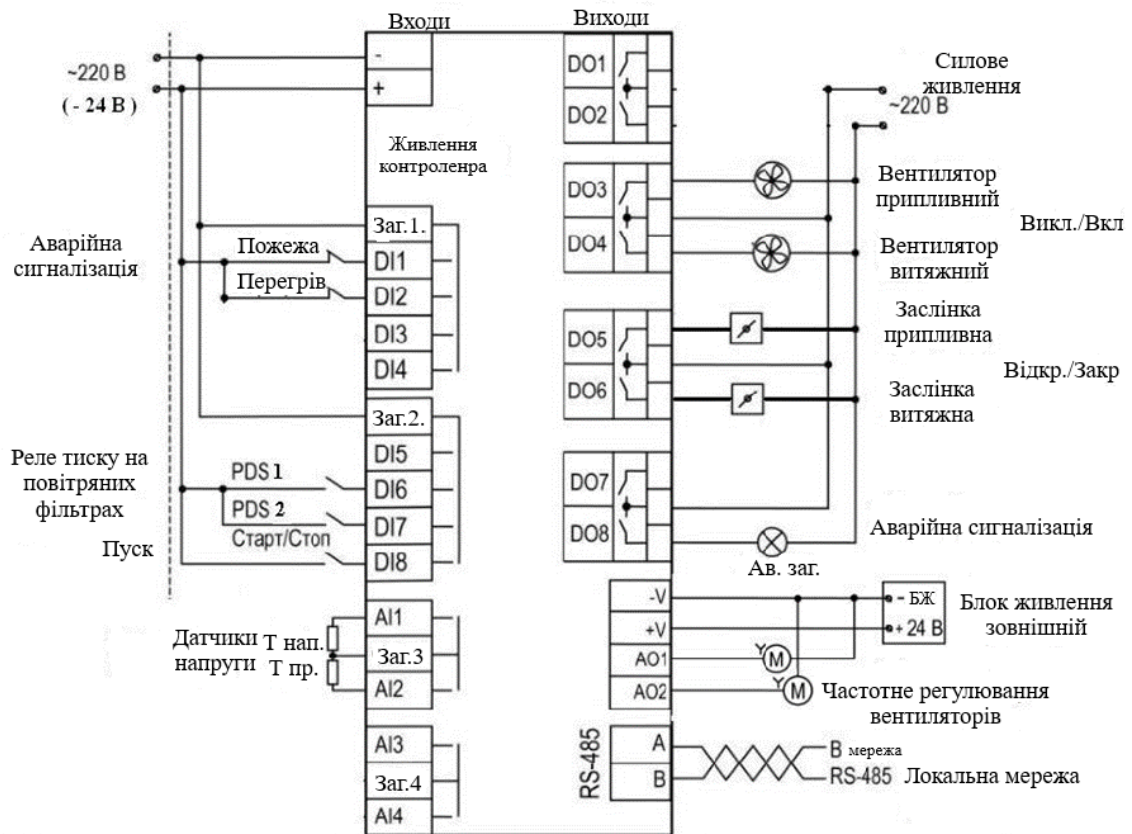


Рис. 6.17. Схема підключень МСХ06D

❖ Установка на ДИН-рейку: Контролер легко монтується на стандартну ДИН-рейку (35 мм), що дозволяє зручно інтегрувати його в щитки автоматизації.

6.8.5. Переваги використання МСХ06D

❖ Енергоефективність: Завдяки погодозалежному управлінню, контролер допомагає знизити витрати на опалення та вентиляцію, адаптуючи роботу системи до зовнішніх умов.

❖ Автоматизація: Контролер підтримує автоматичне керування системою вентиляції, що дозволяє підтримувати комфортний мікроклімат без постійного втручання людини.

❖ Інтеграція в систему автоматизації: Завдяки підтримці інтерфейсу RS-485, контролер легко інтегрується в системи автоматизації будівель, що забезпечує можливість віддаленого моніторингу та керування.

❖ Компактність і простота монтажу: Завдяки компактним габаритам і можливості монтажу на ДИН-рейку, МСХ06D легко встановлюється і не займає багато місця в щитку.

6.9. Система автоматизації припливно-витяжної вентиляції виконує кілька основних функцій, що сприяють її ефективній і безпечній роботі

Автоматизована система вентиляції з ентальпійним рекуператором спрямована на забезпечення високої енергоефективності за рахунок оптимальної роботи всіх її компонентів. Це досягається інтеграцією ключових елементів, таких як контролери, датчики, частотні перетворювачі, а також сам рекуператор. Система забезпечує адаптивну взаємодію всіх складових, що дозволяє їй швидко реагувати на зміни умов та підтримувати комфортний мікроклімат у приміщенні.

Основні компоненти автоматизації

❖ Контролер – головний елемент системи, що аналізує дані з датчиків та керує роботою вентиляторів, заслінок і рекуператора. Контролер підтримує зворотний зв'язок із датчиками температури та вологості, що дозволяє йому адаптивно налаштовувати роботу всіх елементів системи відповідно до внутрішнього та зовнішнього клімату.

❖ Датчики температури та вологості – моніторять мікроклімат як усередині приміщення, так і зовні. Інформація з цих датчиків дозволяє системі змінювати обсяг подачі свіжого повітря і оптимально регулювати параметри роботи вентиляційних компонентів.

❖ Частотний перетворювач – регулює швидкість обертання вентиляторів, що дозволяє адаптувати потужність системи до потреби в повітрообміні. Наприклад, у періоди зниженої завантаженості приміщень або вночі частотний перетворювач може зменшувати швидкість вентиляторів, що значно економить електроенергію.

❖ Ентальпійний рекуператор – відповідає за утилізацію до 90% тепла і 60–70% вологи з витяжного повітря, що дозволяє зменшити витрати на підігрів припливного повітря, особливо в холодний період. Рекуперація енергії та вологи сприяє підтримці комфортного мікроклімату при мінімальних енергетичних витратах.

Функціональні можливості автоматизованої системи

- ❖ Підтримка температури припливного та кімнатного повітря** – система контролює температуру на основі даних з датчиків, забезпечуючи оптимальний клімат у приміщенні.
- ❖ Контроль чистоти фільтрів – диференційне реле тиску відстежує стан фільтрів і повідомляє про необхідність їх заміни або очищення, що підвищує ефективність системи.
- ❖ Управління повітряними заслінками – заслінки автоматично відкриваються та закриваються залежно від потреби у вентиляції, що допомагає уникати втрат тепла чи холоду.
- ❖ Частотне управління вентиляторами – забезпечує оптимальний обсяг повітрообміну без зайвих витрат енергії.
- ❖ Ведення журналу аварій – система автоматично фіксує несправності або відхилення від норми, повідомляючи оператора про можливі проблеми.
- ❖ Віддалене управління – завдяки підтримці мережі RS-485 система може керуватися дистанційно, що підвищує зручність експлуатації.

Взаємодія компонентів для забезпечення енергоефективності

Інтеграція контролера, датчиків, частотних перетворювачів та ентальпійного рекуператора забезпечує високу енергоефективність та адаптивність системи до змінних умов. Зворотний зв'язок між контролером і датчиками дозволяє швидко коригувати параметри роботи, підтримуючи стабільний мікроклімат і зменшуючи експлуатаційні витрати. Завдяки частотним перетворювачам вентилятори можуть працювати на знижених обертах при зменшенні потреби у вентиляції, що додатково зменшує витрати на електроенергію.

Система здатна зменшити витрати на обігрів і охолодження повітря на 30–50% порівняно з традиційними системами, що підвищує економічну ефективність, особливо для пасивних будинків.

Шафа керування () вентиляцією побудована на основі програмованого реле тиску DTV500X-OEM REGIN та частотних перетворювачів Danfoss VLT Micro Drive FC 51. Датчики температури SENSIT PTS 45-100 контролюють температуру зовнішнього, припливного і кімнатного повітря. Частотні перетворювачі забезпечують плавний запуск вентиляторів і контроль їхньої продуктивності, а реле перепаду тиску фіксує стан фільтрів, сигналізуючи про необхідність їх обслуговування.



Рис.6.18. Шафа керування вентиляцією

Система налаштовується через програмований інтерфейс реле, а за допомогою сенсорного пульта управління можна здійснювати дистанційне керування системою.

Впровадження автоматизованих систем припливно-витяжної вентиляції з інтеграцією в систему управління будівлею (BMS) є важливим елементом сучасного енергоефективного будівництва. Це сприяє не лише економії енергії, а й створенню комфортного та здорового мікроклімату. Тенденції у проектуванні таких систем передбачають використання адаптивних алгоритмів управління, які зважають на зміни у внутрішньому та зовнішньому середовищі.

Застосування сучасних технологій, таких як машинне навчання та штучний інтелект, у перспективі дозволить зробити систему вентиляції ще більш ефективною та адаптивною до потреб користувачів.

Така послідовність забезпечує логічне та зрозуміле пояснення всіх функцій і взаємодій компонентів системи автоматизації припливно-витяжної вентиляції з ентальпійним рекуператором.

7. Техніко-економічне обґрунтування

7.1. Оцінка ефективності проєкту

Техніко-економічне обґрунтування автоматизації приточно-витяжної вентиляції з ентальпійним рекуператором є важливим етапом, для оцінки ефективності впровадження системи припливно-витяжної вентиляції з ентальпійним рекуператором в умовах конкретного будівельного об'єкта, зокрема пасивного будинку. Аналіз включає оцінку енергетичних та економічних вигод від впровадження системи, порівняння початкових інвестицій з очікуваними витратами на експлуатацію, а також розрахунок окупності системи.

Впровадження системи припливно-витяжної вентиляції з ентальпійним рекуператором є ключовим аспектом енергозберігаючого будинку. Ентальпійний рекуператор дозволяє утримувати значну частину тепла та вологи, що значно зменшує втрати енергії під час вентиляції. З технічної точки зору, це призводить до зниження потреби у зовнішньому джерелі тепла, оскільки теплова енергія витяжного повітря утилізується та передається припливному повітрю.

Впровадження системи використання ентальпійного рекуператора дозволяє зберігати до 90% тепла, що виводиться з приміщення, і утримувати від 60% до 70% вологості, що критично для підтримання здорового мікроклімату. Впровадження такої технології скорочує витрати на опалення в зимовий період та на охолодження в літній період на 30-50%, що підтверджено міжнародними стандартами пасивних будинків (Passive House Institute).

Сучасні автоматизовані системи на базі контролерів MCX06D, датчиків температури Sensit PTS 45-100 та частотних перетворювачів DANFOSS VLT MICRO DRIVE FC 51 надають можливість не лише підтримувати стабільний клімат, але й значно знижувати витрати на експлуатацію системи. Автоматизація дозволяє оперативно коригувати режими роботи вентиляційної системи залежно від змін у зовнішньому та внутрішньому середовищі. Це веде до економії енергії

шляхом гнучкого регулювання об'ємів повітрообміну та роботи вентиляторів. Наприклад, частотне регулювання швидкості вентиляторів дозволяє знижувати споживання електроенергії на 20-30%, особливо в режимах зменшеної вентиляції.

Обране обладнання, зокрема рекуператори, вентилятори та інші ключові елементи системи, розраховане на тривалу експлуатацію. Наприклад, більшість ентальпійних рекуператорів мають експлуатаційний ресурс не менше 10-15 років за умови регулярного обслуговування. Завдяки високому рівню надійності, система потребує мінімального втручання з боку користувача, що скорочує витрати на технічне обслуговування.

7.2. Економічна оцінка

Згідно з ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та змістпроектної документації на будівництво» із Зміною № 1 розробляється для об'єктів, які потребують детального обґрунтування відповідних рішень та визначення варіантів і економічну доцільності їх будівництва.

Розрахунок витрат на придбання обладнання наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Витрати на придбання обладнання

№ з.п	Найменування	Кіл-ть	Ціна, без ПДВ, грн	Ціна, з ПДВ, грн	Загальна вартість, грн
Основне обладнання					
1	Літня вставка ВЛ ВУТ 500\530\600г.	1	495,20	619,00	619,00
2	Решітка МВ 150Бвс Вентс	1	53,6	67,00	67,00
3	Приточно-витяжна установка Blauberg Komfort Ultra EC S2 300-E S2 white	1	55071,20	68839,0	68839,00
4	Повітряна заслінка засувкою ВЕНТС КР 125	1	673,60	842,00	842,00
5	Електропривід для повітряної заслінки BELIMO	1	3688,00	4610,00	4610,00

6	Датчик перепаду тиску DTV500X-OEM REGIN	1	925,40	1156,75	1156,75
7	Перетворювач частоти DANFOSS VLT MICRO DRIVE FC 51	1	12192,00	15240,00	15240,00
8	Канальний датчик температури SENSIT PTS 45- 100	1	2400,00	3000,00	3000,00
9	Вільно програмований контролер MCX06D	1	10244,00	12805,00	12805,00
Повітропроводи					
10	Пластивент204*60 8020 Вентс	15	4776,00	5970,00	5970,00
11	Пластивент 100 м ² 10035 Вентс	1	40,80	51,00	51,00
12	Пластивент 125 м ² 2020 Вентс	6	1425,60	1782,00	1782,00
13	Пластивент 150 м ² 2030 Вентс	8	3270,40	4088,00	4088,00
14	Спіровент 200/2 Вентс	7	2648,80	3311,00	3311,0
15	Фасонні елементи 0,55	6 м ²	1680,00	2100,00	2100,00
16	Відведення 45204*60 82810 Вентс	2	280,00	350,00	350,00
17	Відведення 45200, 0,55 Вентс	6	595,20	774,00	774,00
18	Відведення 90204*60, 8281 Вентс	4	438,40	548,00	548,00
19	Відведення 90204*60 8282 Вентс	3	170,40	213,00	213,00
20	Відведення 90204*60/100, 821 Вентс	1	79,20	99,00	99,00
21	Відведення 90204*60/125, 822 Вентс	7	576,80	721,00	721,00
22	Відведення 90244*60/150, 823 Вентс	1	91,20	114,00	114,00
23	Відведення 125, 222 Вентс	13	821,60	1027,00	1027,00
24	Відведення 150.323 Вентс	7	716,80	896,00	896,00
25	Відведення 200, 0,55 Вентс	6	936,00	1170,00	1170,00
26	Трійник204*60. 838 Вентс	2	209,60	262,00	262,00

27	Трійник 150/125, 333+312 Вентс	1	136,80	171,00	171,00
28	Трійник 150, 333 Вентс	3	319,20	399,00	399,00
29	Трійник 200/125, 0,55 Вентс	1	136,80	171,00	171,00
30	Трійник 200/125, 0,55 Вентс	1	150,40	188,00	188,00
31	Трійник 200, 0,55Вентс	1	176,80	221,00	221,00
32	Ніпель 200, 0,55 Вентс	1	59,20	74,00	74,00
33	Ніпель 204, 818 Вентс	4	153,60	192,00	192,00
34	Ніпель 122, 252 Вентс	2	112,00	140,00	140,00
35	Ніпель 150, 353 Вентс	4	265,00	332,00	332,00
36	Перехід 200/125, 0,55Вентс	1	95,20	119,00	119,00
37	Перехід 200/150, 0,55Вентс	3	259,20	324,00	324,00
38	Перехід 150/204*60, 312+812Вентс	4	486,40	608,00	608,00
39	Перехід 150/125, 312 Вентс	4	121,60	152,00	152,00
Матеріали					
40	Ізоляція самоклеюча залюмінієвим покриттям, Пенофол С10мм	12м ²	576,00	720,00	720,00
41	Перфострічка 18*06,мм	50 м.п.	40,00	50,00	50,00
42	Скотч АРТО50/50 Вентс	4	601,60	752,00	752,00
43	Дюбель	50	40,00	50,00	50,00
44	Саморізи	200	-	0,00	0,00
Разом:			107776,60	129331,92	129331,92

Розрахунок на монтаж повітропроводів і комплектуючих таблиця 5.

Таблиця 5

Монтаж повітропроводів і комплектуючих

№ З.п	Назва монтажних робіт	Вартість, грн.
1	Монтаж відводу, товщиною 0,5мм/0,7мм.	250,00

2	Утеплення каналів, фасонних виробів алюфомом (самоклеючий).	200,00
3	Монтаж вентиляційної решітки	200,00
4	Монтаж шумоглушників середнього розміру	500,00
5	Монтаж приточно-витяжної установки Blauberg Komfort Ultra EC S2 300-E S2 white	2500,00
Разом		3650,00

Розрахунок на додаткові витрати наведено в таблиці 6.

Таблиця 6

Додаткові витрати

№	Прайс на додаткові витрати	Вартість, грн.
1	Транспортні витрати	1000
2	Різка пробивання отворів	1500
3	Монтажні кріпельні матеріали	1500
4	Замовлення спеціальної техніки, авто вишки	2000
Разом		6000

*Стандартна гарантія на всі роботи: 1 рік

Витратні матеріали для розробки та впровадження проєкту становить:

$$C_{lab} - 5000,00 \text{ грн.} \quad (1.)$$

Заробітна плата за розробку проєкту для команди з трьох фахівців, які працює один місяць, витрати становитимуть:

$$C_{lab} = \text{Зпл.фах.} \times \text{кількість}$$

$$C_{lab} = 15,000 \times 3 = 45,000 \text{ грн.} \quad (2.)$$

Розрахунок витрат на заробітну плату працівників наведено в таблиці 7.

Таблиця 7.

Розрахунок витрат на заробітну плату працівників

Вид робіт, професія, посада	Обсяг робіт		Годинна оплата праці, грн.	Основна оплата праці, грн.	Додаткова оплата праці, грн.	Всього оплата праці, грн.
	Одиниця виміру	Кількість				
1	2	3	4	5	6	7
1. Заготовчі роботи	години	4	87,50	350,00	70,00	420,00
2. Підготовчі роботи	години	4	87,50	350,00	70,00	420,00
3. Монтажні роботи	години	8	100,00	800,00	160,00	960,00
4. Налагоджувальні роботи	години	4	87,50	350,00	70,00	420,00

Всього:	23				2220,00
----------------	-----------	--	--	--	----------------

1) гр. 4 – погодинна ставка робітника котрий виконує монтажно-налагоджувальні роботи - **87,00**

2) гр. 5 = гр. 3 × гр. 4;

3) гр. 6 = гр. 5 × 20% преміальної доплати;

4) гр. 7 = гр. 5 + гр. 6.

7.2.1. Визначення суми загальних витрат

Загальні витрати для реалізації системи визначаються як сума витрат на придбання обладнання, комплектуючих та програмного забезпечення і витрат на заробітну плату для реалізації системи:

$$Z_{\text{вст}} = Z_{\text{к}} + SS_{\text{зпм}}$$

$$Z_{\text{вст}} = 129331,92 + 3650,00 + 6000,00 + 2220,00 = \mathbf{141201,92 \text{ грн.}} \quad (3.)$$

7.2.2. Основними експлуатаційними витратами після впровадження системи є споживання електроенергії для роботи вентиляторів, заміна фільтрів та періодичне технічне обслуговування (таблиця 8).

Розрахунок вартості витрат на технічне обслуговування роботи системи надано в таблиці 8.

Таблиця 8

Вартість витрат на технічне обслуговування роботи системи

№ з.п	Найменування робіт	Опис робіт	Частота виконання	Орієнтовна вартість (грн)
1	Заміна фільтрів	Заміна повітряних фільтрів для забезпечення належної якості повітря та ефективної роботи системи	1 раз на 6 місяців	2100-4200

2	Технічне обслуговування	Огляд і чистка вентиляторів, датчиків, рекуператора, перевірка роботи електрообладнання	1 раз на рік	3000-5000
3	споживання електроенергії для роботи автоматизованої приточно-витяжної вентиляції з центральним рекуператором	Витрати на електроенергію для підтримки роботи вентиляційної установки	Постійне споживання, річні витрати	6300-12600

7.2.3. Техніко – економічні показники впровадження автоматизованої приточно-витяжної вентиляції з центральним рекуператором наведено в таблиці 9.

Таблиця 9

Техніко-економічні показники впровадження системи

Показник	Будинок без енергозберігаючих технологій	Пасивний будинок із системою центральним рекуператора
Ефективність	Збереження до 50-70%, що потребує додаткових витрат на обігрів та охолодження	Збереження до 90% тепла і 60-70% вологи, знижуючи витрати на обігрів та охолодження
Початкові інвестиції	Низькі початкові інвестиції, але вищі експлуатаційні витрати на енергію	192,631.92 грн, з врахуванням повної системи автоматизації
Експлуатаційні витрати	Високі витрати на енергію (до 50%)	До 12600 грн. на рік за рахунок економії електроенергії та ефективного контролю повітрообміну
Економія енергії	Відсутність економії, відсутність великого тепла втрачається без повторного використання	Зниження витрат на опалення та кондиціонування становить до 30-50% щороку
Термін окупності		Зменшення витрат на опалення та охолодження 7 років

Комфорт і стабільність мікроклімату	Різні перепади температури та вологості, обмежений комфорт	Постійний рівень температури та вологості, автоматичне регулювання
Вплив на навколишнє середовище	Високе споживання енергії, значні викиди CO ₂ через неефективне опалення	Знижене споживання енергії, менше викидів CO ₂ за рахунок енергоефективності
Автоматизація і контроль	Немає автоматичного регулювання, підвищені витрати на енергію через перевірку контролю	Автоматизація оперативно коригувати режими роботи вентиляційної системи залежно від змін у зовнішньому та внутрішньому середовищі

Висновки. Завдяки впровадженню автоматизованої системи, економія енергії на опалення та кондиціонування може сягати 30-50%. Для пасивного будинку площею 150 м² це означає зменшення витрат на опалення від 2100 до 19500 грн. на рік, залежно від кліматичних умов та конструктивних особливостей будинку. Економія на кондиціонуванні в літній період також може становити до 30% порівняно зі звичайними системами вентиляції.

Термін окупності системи вентиляції з ентальпійним рекуператором становить в середньому 5-7 років досягнутої економії енергії. Для будинків у північних регіонах з високими витратами на опалення термін окупності може бути скороченим до 4-5 років, а в південних регіонах з меншою потребою в опаленні цей термін може збільшуватися до 8-10 років.

7.3. Розрахунок окупності впровадження автоматизації для пасивного будинку

Параметри:

- Площа будинку: 150 м².

Розрахунок повітрообміну на основі площі будинку:

Необхідний обмін повітря становить 3 м³/год на 1 м². для будинку площею 150 м²:

$$V' = 150 \text{ м}^2 \times 3 \text{ м}^3 / \text{год} / \text{м}^2 = 450 \text{ м}^3 / \text{год} \quad (4.)$$

Розрахунок масовщини втрата повітря:

$$m = V \times \rho = 450 \text{ м}^3/\text{год} \times 1.3 \text{ кг/м}^3 = 585 \text{ кг/год} \quad (5.)$$

- Щільність повітря: 1.3 кг/м³.
- Теплоємність повітря: 1005 Дж/(кг·С).
- Зовнішня температура в опалювальний період: -5С.
- Внутрішня температура: +20 С.
- Опалювальний період: 182 дні.
- Ефективність рекуператора: 90%.
- Тариф на електроенергію: 4,32 грн/кВт·год.
- Споживання електроенергії на місяць: 420 кВт

1. Розрахунок річної економії електроенергії (E_{econ})

Річна економія електроенергії, яка забезпечить річну грошову економію

$$S_{econ} = 27,518.84 \text{ .грн при тарифі } 4.32 \text{ грн/кВт}\cdot\text{год:}$$

$$E_{econ} = \frac{S_{econ}}{\text{тариф}}$$

$$E_{econ} = \frac{27,518.84}{4.32} \approx 6,370.55 \text{ кВт/год} \quad (6.)$$

2. Тепловтрати без рекуператора (Q_o)

$$Q_o = m \cdot c \cdot \Delta T = 585 \text{ кг/год} \times 1.005 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{С)} \times 25 \text{ С} \quad (7.)$$

$$Q_o = 14,681.25 \text{ Вт} = 14.68 \text{ кВт} \quad (8.)$$

3. Тепловтрати з рекуператором (Q_r)

Ефективність рекуператора 90% означає, що він знижує тепловтрати на 90%, залишаючи лише 10% втрат.

$$Q_r = Q_o \times (1 - \eta) = 14.68 \text{ кВт} \times (1 - 0.9) = 14.68 \times 0.1 = 1.468 \text{ кВт} \quad (9.)$$

4. Річна економія електроенергії (E_{econ})

За опалювальний період у 4,368 годин:

$$E_{econ} = (Q_o - Q_r) \cdot t = (14.68 - 1.468) \text{ кВт} \times 4,368 \text{ год.} \quad (10.)$$

$$E_{econ}=6,370.55 \text{ кВт/год} \times 4,368=27,518.84 \text{ кВт/год.} \quad (11.)$$

Інвестиції на впровадження системи (C_{total}):

Включає вартість обладнання, матеріалів, зарплати і монтажу:

$$C_{total}=C_{sys}+C_{mat}+C_{lab}+C_{inst} \quad (12.)$$

$$C_{total}=138,981.92+5,000+45,000+3,650=192,631.92 \text{ грн.}$$

Термін окупності проєкту обчислюється як відношення інвестицій до річної економії електроенергії:

$$\text{Payback} = \frac{C_{total}}{E_{econ}};$$

$$\text{Payback} = \frac{192,631.92}{27,518.84} \approx 7 \text{ року} \quad (13.)$$

На основі розрахунків інвестиції становлять 192,631.92 грн, а термін окупності проєкту складає приблизно **7 років**.

13.4. Порівняння з альтернативними рішеннями

У випадку, якщо встановлюється система вентиляції без рекуператора, втрати тепла з витяжним повітрям можуть бути суттєвими. У зимовий період це веде до постійної потреби у підігріві припливного повітря, що збільшує витрати на опалення. За даними досліджень, витрати на енергію можуть бути на 30-50% вищими в порівнянні з системами з рекуперацією. Для будинків з високими енергетичними стандартами, таких як пасивні будинки, відсутність рекуператора може зробити їх недоцільними з точки зору енергоефективності.

Традиційні системи вентиляції без автоматизації не можуть гнучко реагувати на зміни умов експлуатації, що призводить до надлишкового споживання енергії. Автоматизація системи на базі контролерів MSX06D дозволяє оптимізувати роботу системи, регулюючи інтенсивність повітрообміну залежно від поточних потреб. Це забезпечує додаткову економію електроенергії та підвищує комфорт у приміщеннях.

Сучасний український ринок починає адаптуватися до європейських стандартів, таких як концепція майже нульового енергоспоживання (nZEB). Впровадження стандартів nZEB, хоча й збільшує вартість проєктів на 50%, може окупитися менше ніж за 20 років завдяки високим цінам на енергоносії. Навіть за мінімальних вимог до енергоефективності, термін окупності може становити від 15 до 27 років.

Потреба в енергоощадних технологіях в Україні зростає, особливо з огляду на поточні енергетичні виклики та високі ціни на енергію. Приклади нових житлових комплексів, де впроваджуються інноваційні рішення для скорочення енерговитрат, демонструють важливість використання систем, подібних до припливно-витяжної вентиляції з ентальпійним рекуператором.

Впровадження системи припливно-витяжної вентиляції з ентальпійним рекуператором у пасивному будинку є технічно та економічно обґрунтованим. Вона не лише забезпечує значну економію енергії, але й сприяє підвищенню комфорту в приміщеннях. Враховуючи окупність системи в середньому за 5-7 років, її використання є доцільним як з фінансової, так і з енергетичної точки зору.

Висновок

Автоматизація припливно-витяжної вентиляції з ентальпійним рекуператором є інноваційним та важливим рішенням для енергоефективних будівель, зокрема пасивних будинків. Запропонована система дозволяє утримувати до 90% теплової енергії витяжного повітря і до 70% вологи, що суттєво знижує потребу в додатковому обігріві або охолодженні приміщень. Це досягається завдяки автоматизованому управлінню, яке забезпечує можливість регулювати роботу вентиляторів за допомогою частотних перетворювачів, зменшуючи енергоспоживання системи на 30-50%.

Одним із ключових аспектів впровадження вентиляційної системи з ентальпійним рекуператором є її економічна ефективність. Початкові інвестиції окупаються завдяки значній економії енергії на опаленні та кондиціонуванні приміщень, а термін окупності складає 5-7 років, що є прийнятним у рамках середньострокових інвестицій у будівництво та експлуатацію енергоефективних будівель.

Проведений аналіз літератури, сучасних технологій і концепції пасивного будинку дозволив розробити оптимізоване рішення, яке забезпечує комфортний мікроклімат у приміщеннях з мінімальними тепловтратами. Важливо, що запропонована система автоматизації відповідає стандартам Європейського зеленого курсу, що є особливо актуальним для України в умовах енергетичної кризи та прагнення до енергетичної незалежності.

Результати техніко-економічного обґрунтування підтверджують, що використання ентальпійного рекуператора дозволяє суттєво знизити витрати на опалення та кондиціонування, автоматизована система вентиляції з ентальпійним рекуператором є перспективним інструментом для підвищення енергоефективності як житлових, так і комерційних будівель в Україні.

Література

- [1] Кругла купольна будова Самойлова [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vsviti.com.ua/ukraine/57674>.
- [2] Kassai M. & Kajtár L. “Energetic analysis of ventilation system of passive house”, 2010, 16th „Building Services, Mechanical and Building Industry days” International Conference.
- [3] H. J. Hua et al. “Effect of Supply and Exhaust Air Velocity on the Enthalpy and Temperature Exchange Efficiency of a Paper Heat Exchanger”, MATEC Web of Conferences. 2021. Vol. 335. P. 03006. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202133503006>
- [4] Peper S. and Feist W., “Energy efficiency of the Passive House Standard: Expectations confirmed by measurements in practice”, 2015, Passive House Institute Dr. Wolfgang Feist, URL: https://passiv.de/downloads/05_energy_efficiency_of_the_passive_house_standard.pdf
- [5] Niskanen J., Rohrer H. Passive houses as affiliative objects: Investment calculations, energy modelling, and collaboration strategies of Swedish housing companies. Energy Research & Social Science. 2020. Vol. 70. P. 101643. URL: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101643>
- [6] Zender-Świercz E. A Review of Heat Recovery in Ventilation. Energies. 2021. Vol. 14, no. 6. P. 1759. URL: <https://doi.org/10.3390/en14061759>
- [7] Zender-Świercz E. Review of IAQ in Premises Equipped with Façade-Ventilation Systems. Atmosphere. 2021. Vol. 12, no. 2. P. 220. URL: <https://doi.org/10.3390/atmos12020220>
- [8] Radomski B., Drojetzki L., Mróz T. Integration of a heat exchanger on the supply air with the ground-source heat pump in a passive house – case study. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 214. P. 012087. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/214/1/012087>

[9] Experimental assessment of the thermal performance and energy consumption of a single-family Passive House / I. M. Suárez Ramón et al. Renewable Energy and Power Quality Journal. 2020. Vol. 18. P. 615–620. URL: <https://doi.org/10.24084/repqj18.448>

Електронні ресурси

10. Підготовка презентацій [Електронний ресурс] // PPT-Online. – Режим доступу: <https://ppt-online.org/77862>.

Різновиди інноваційних будівельних конструкцій [Електронний ресурс] // SlideShare. – Режим доступу: <https://www.slideshare.net/slideshow/ss-23967262/23967262>.

11. Україна переходить до сучасних європейських практик реалізації політики енергоефективності [Електронний ресурс] // Урядовий портал. – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/news/derzhenergoefektivnosti-ukrayina-perehodit-do-suchasnih-yevropejskih-praktik-realizaciyi-politiki-energoefektivnosti>.

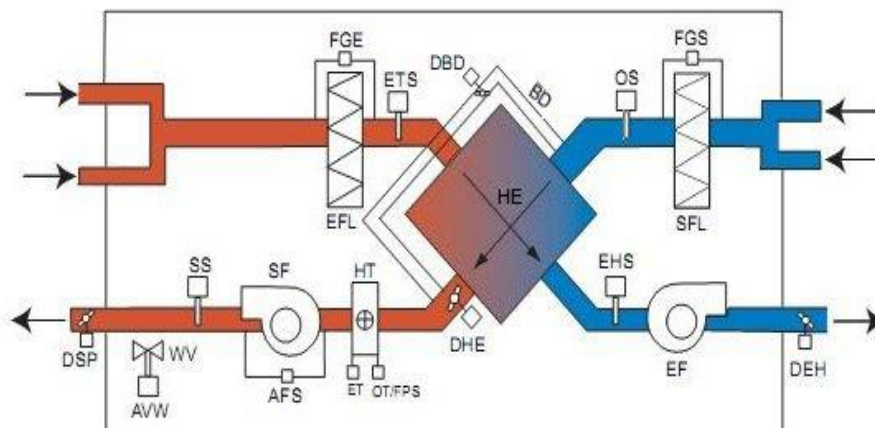
12. Комфорт у квадраті: як в Україні будується енергоефективне майбутнє [Електронний ресурс] // Ділова столиця. – 2024. – Режим доступу: <https://www.dsnews.ua/ukr/economics/komfort-u-kvadrati-yak-v-ukrajini-buduyetsya-energoefektivne-maybutnye-17092024-508146>.

13. Вентиляційні системи для будинків [Електронний ресурс] // AlterAir. – Режим доступу: <https://alterair.ua/ventilyatsiya/doma/>.

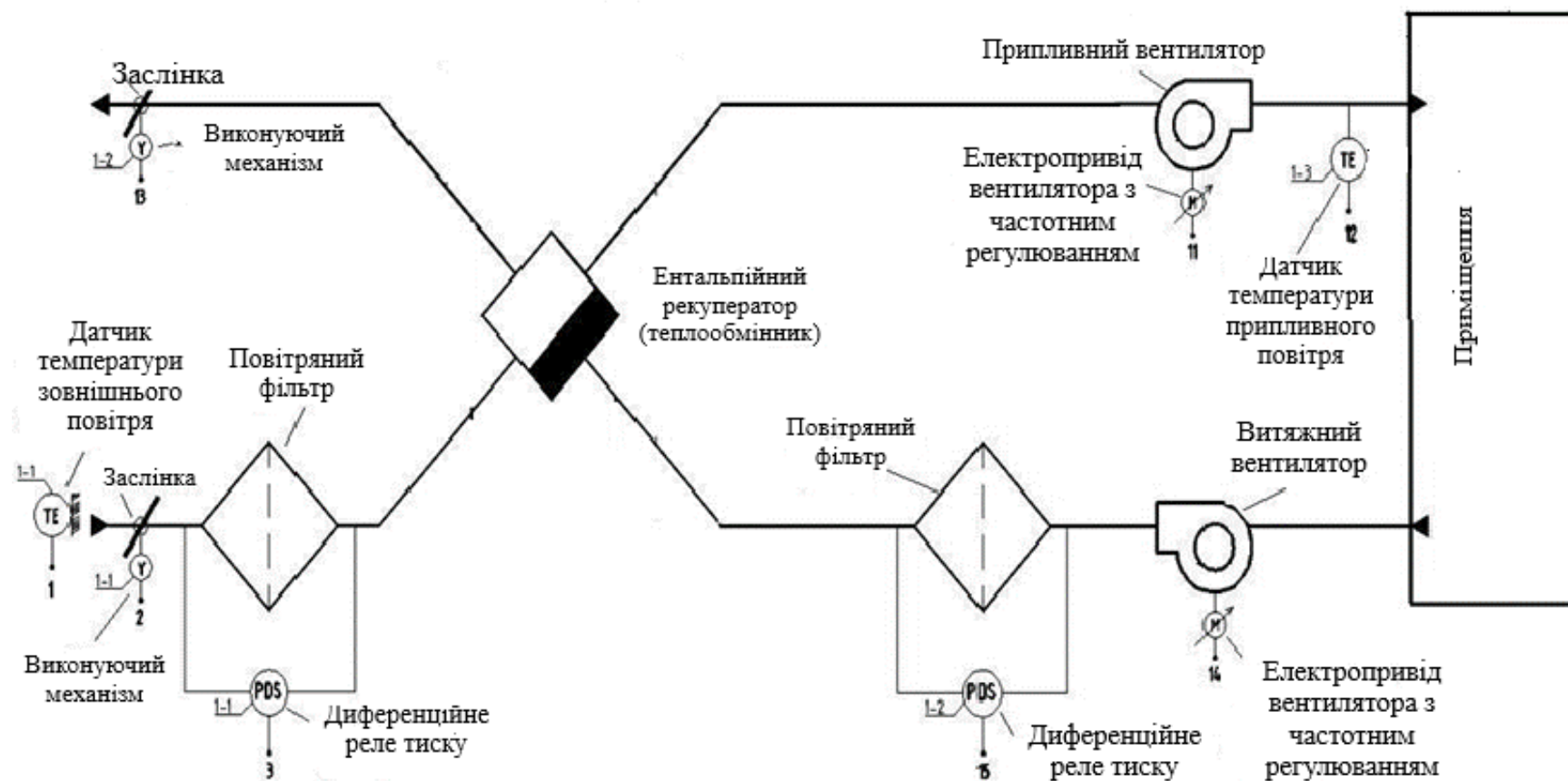
База даних будівель пасивного будинку [Електронний ресурс] // Passive House Database. – Режим доступу: <https://passivehouse-database.org/>, доступ 27 жовтня 2024 р.

14. Європейський інститут ефективності будівель (ВРІЕ). Принципи для будівель з майже нульовим споживанням енергії. Прокладаючи шлях до ефективної реалізації вимог політики (2011).

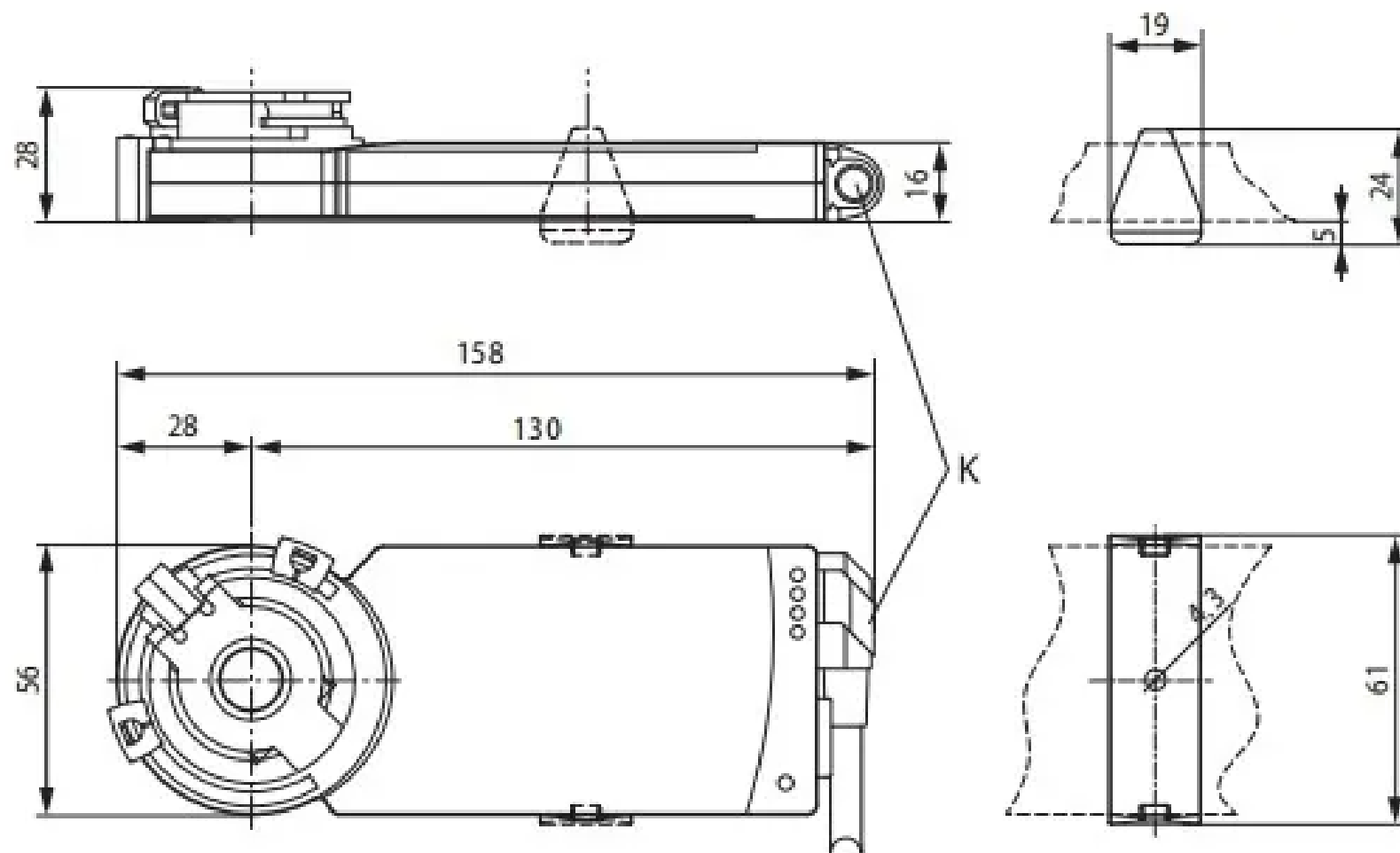
15. Технології та дизайн – 2015. – №2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2015_2_6.



- SS Датчик температури припливного повітря
- HE Теплообмінник
- ETS Датчик температури витяжного повітря
- DHE Повітряний клапан з електроприводом
- OS Датчик температури зовнішнього повітря
- BD Байпас
- EHS Датчик температури повітря, що видаляється
- DBD Байпасний клапан
- HT Повітрянагрівач
- SFL Фільтр на притоці
- OT Термостат захисту від перегріву
- EFL Фільтр на витяжці
- ET Аварійний термостат
- FGS Датчик фільтра припливного повітря
- AFS Датчик витрати припливного вентилятора
- FGE Датчик фільтра витяжного повітря
- FPS Термостат захисту від заморожування
- DEH Клапан витяжного повітря
- WVA Привід водяного клапана
- DSP Клапан припливного повітря
- WV Водяний клапан
- SF Припливний вентилятор
- EF Витяжний вентилятор

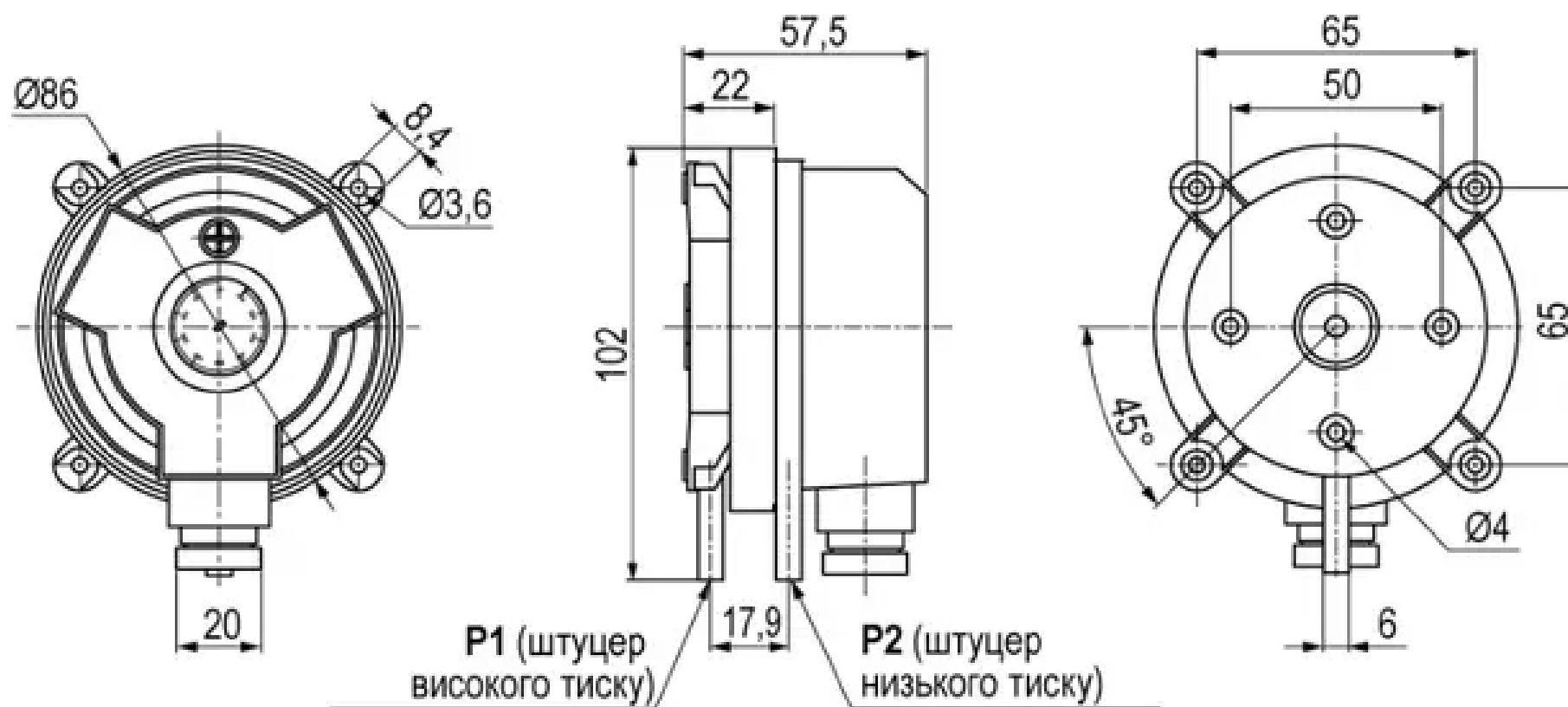


Функціональна схема автоматизації припливно-витяжної системи вентиляції з ентальпійним рекуператором(теплообмінником)

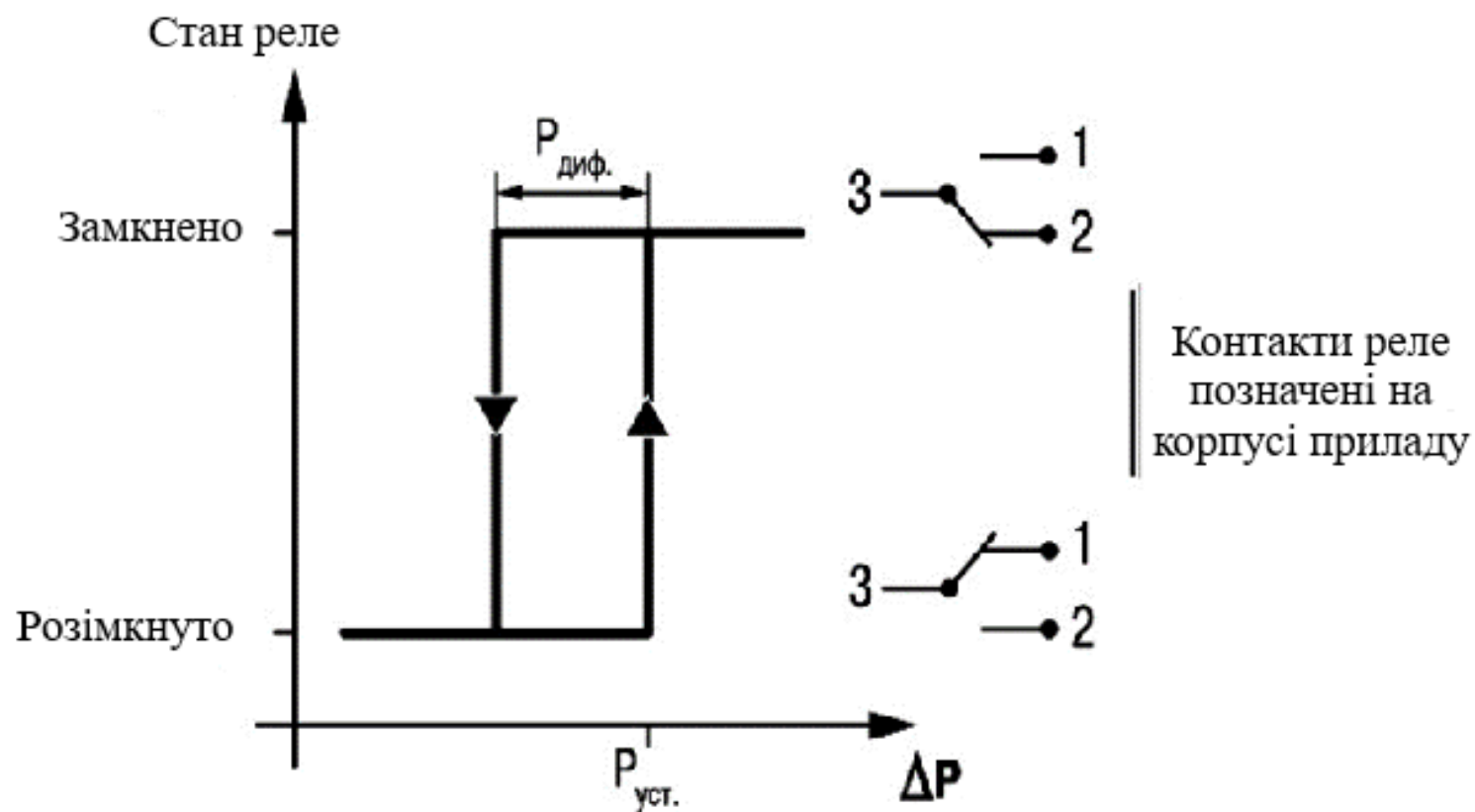


Габаритні розміри електропривода

Габаритні розміри:



Габаритні, монтажні і приєднувальні розміри реле тиску



Принцип роботи реле тиску

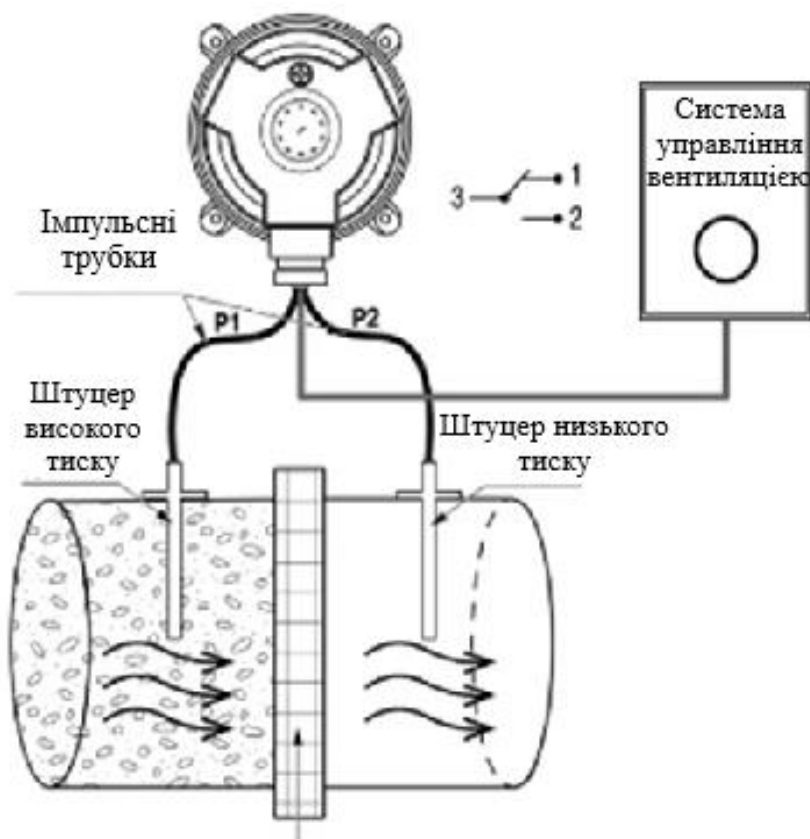


Схема роботи приладу в системі вентиляції
для контролю чистого фільтру

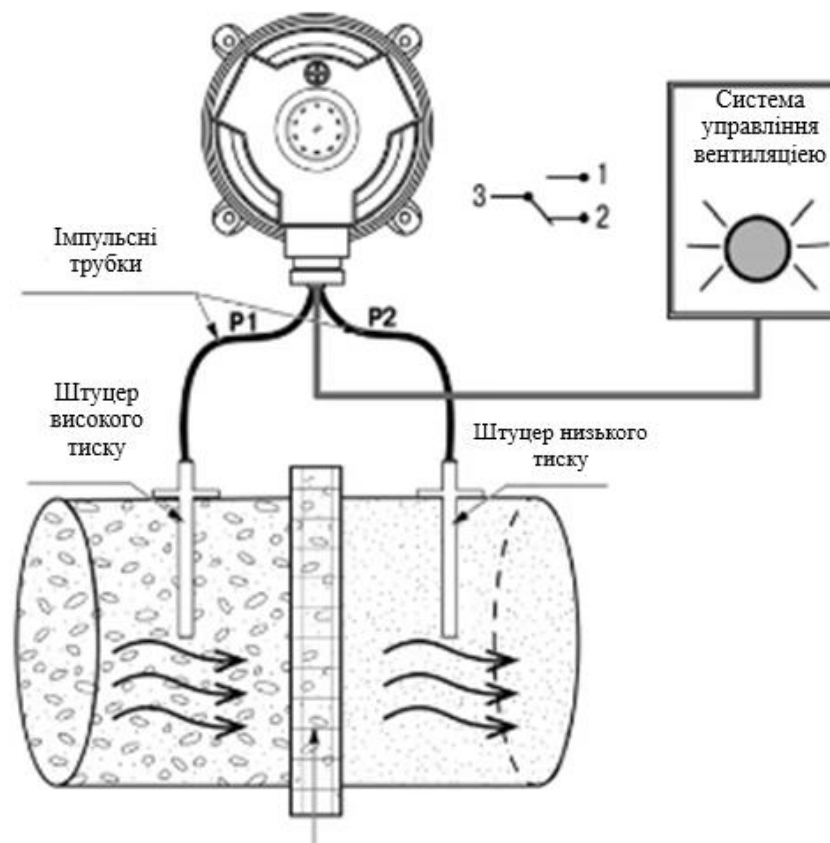


Схема роботи приладу в системі вентиляції
для контролю засміченого фільтру

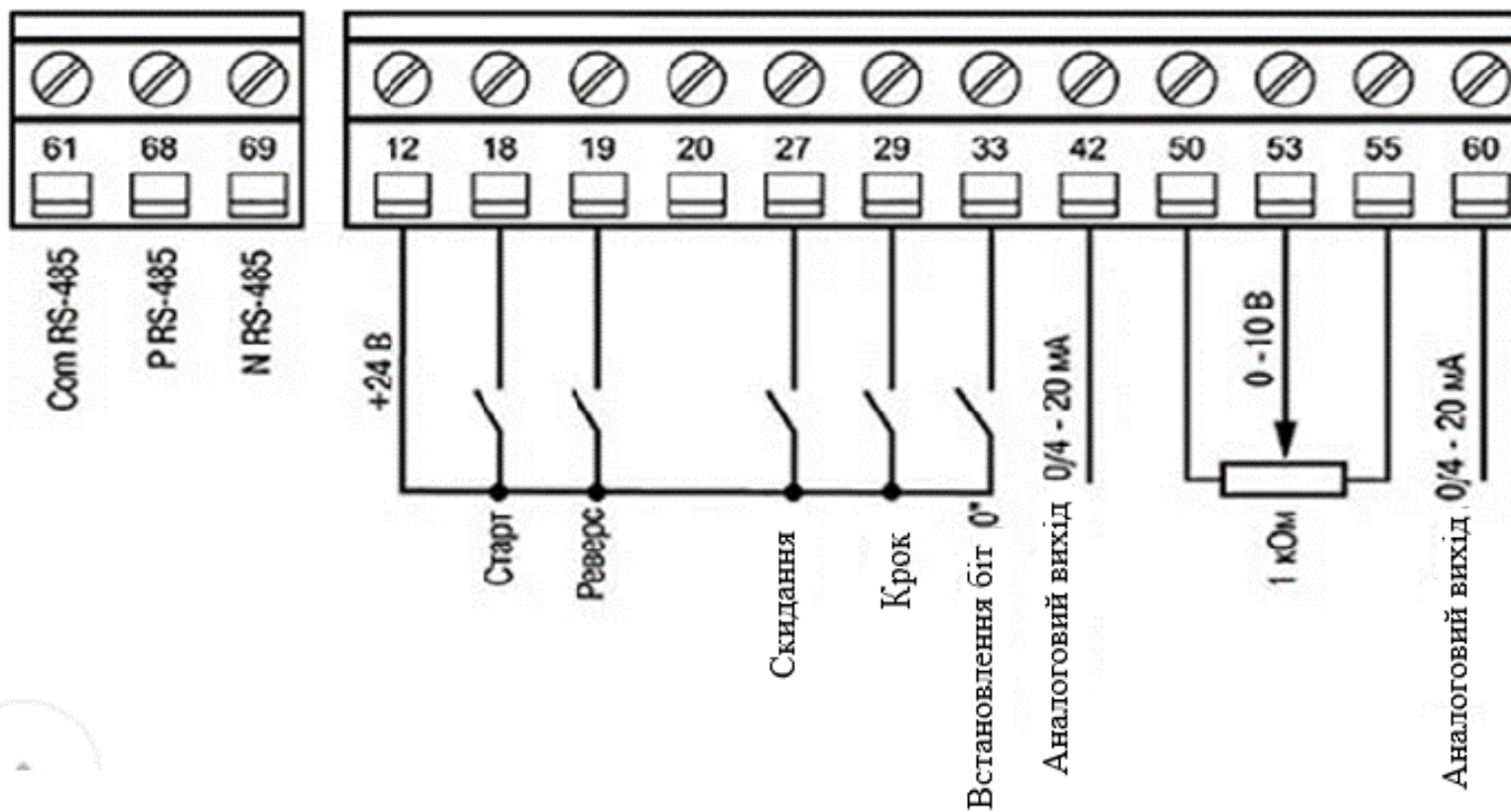


Схема електричних з'єднань DANFOSS VLT MICRO DRIVE FC 51

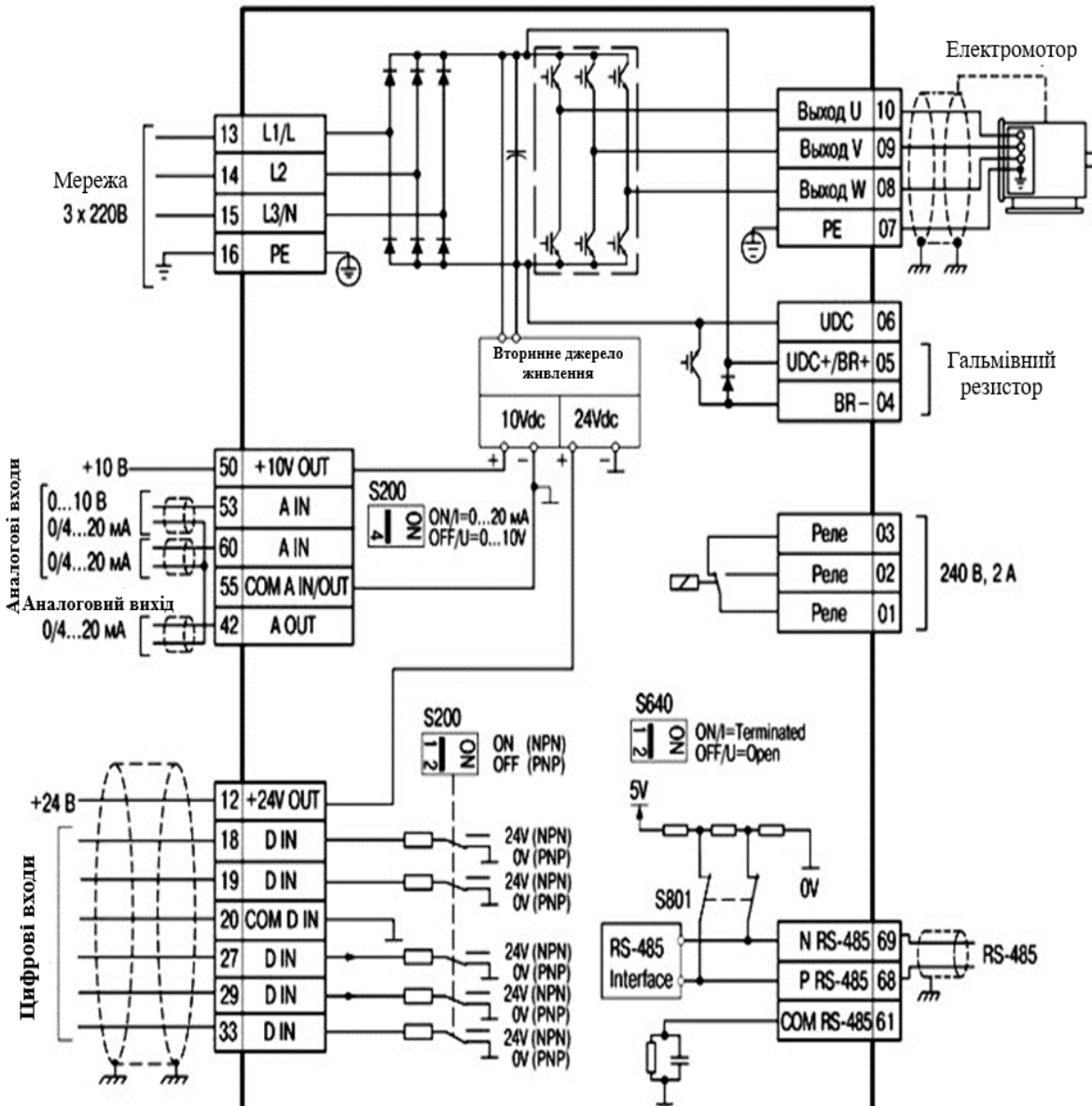
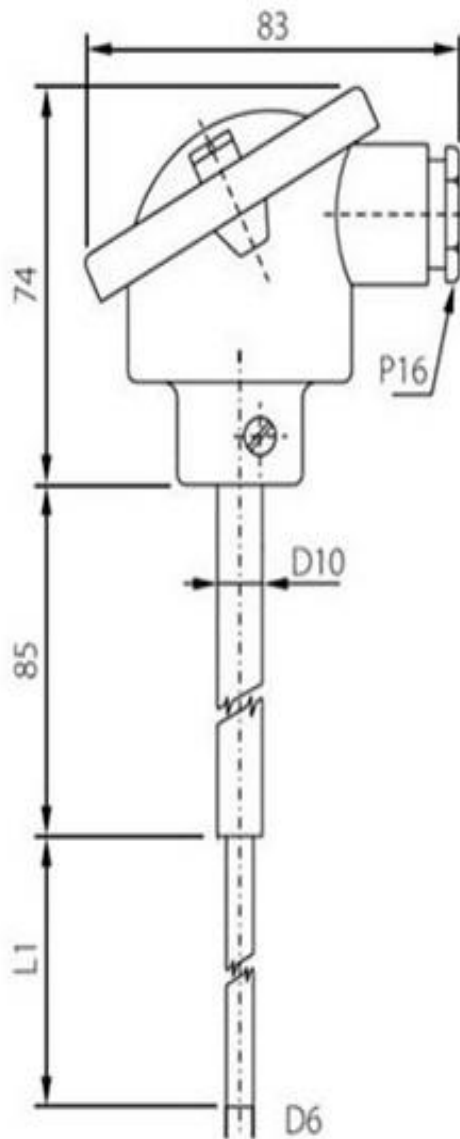
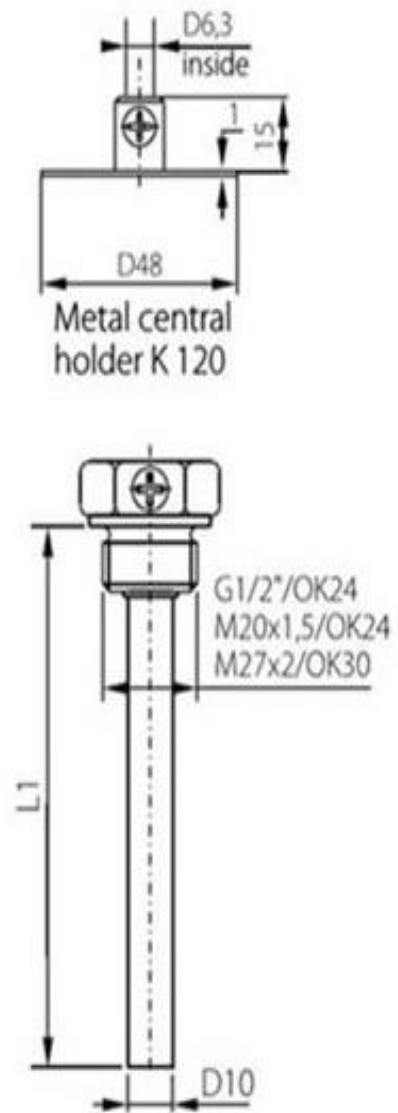


Схема приєднань частотного перетворювача

PTS 41, PTS 43,
PTS 45, PTS 51



Accessories
(PTS 41, PTS 43,
PTS 45, PTS 51)



Монтажні та приєднувальні розміри датчика температури

Додаток 3

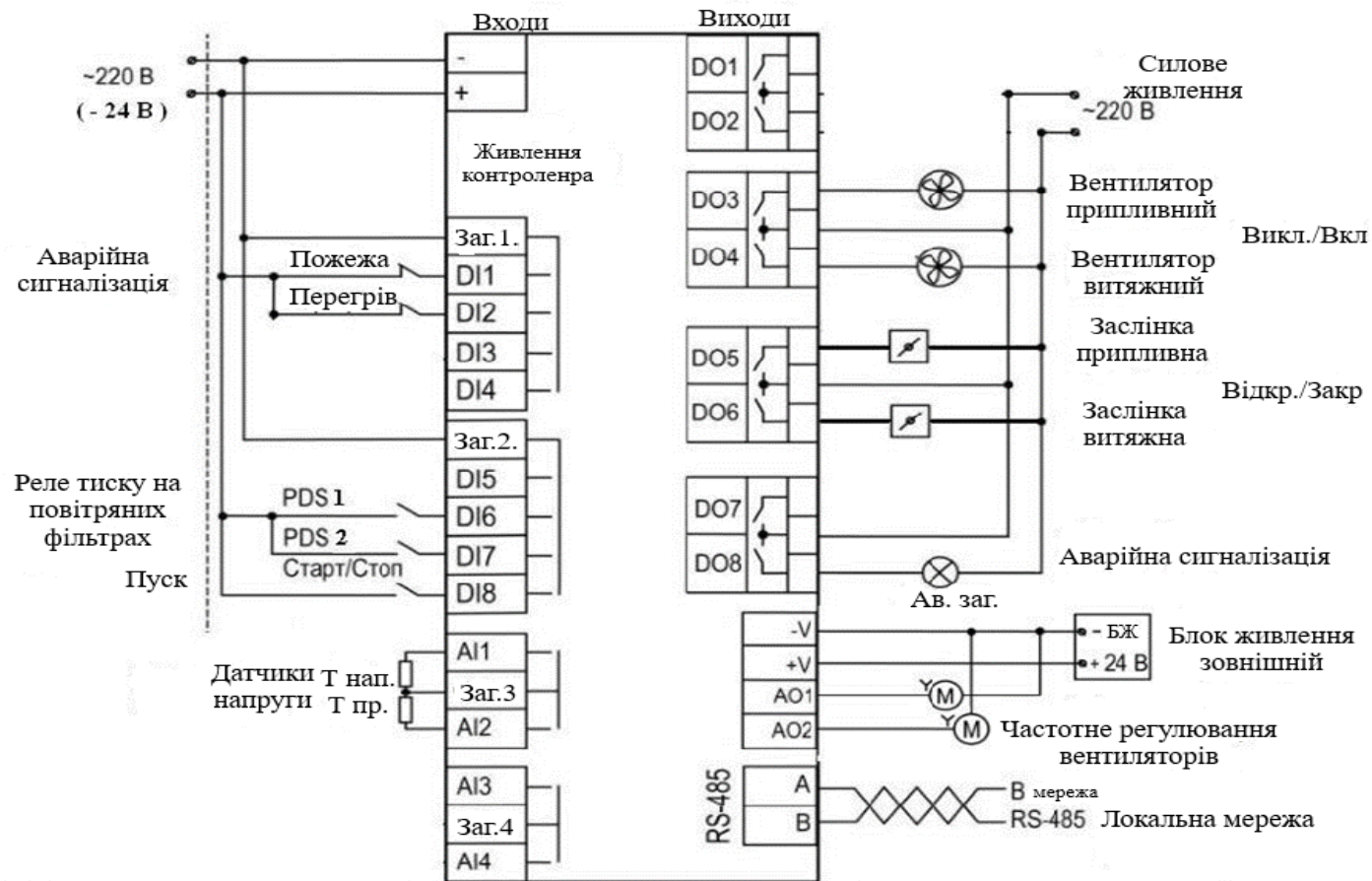


Схема підключень MSX06

Оптимізація автоматизованих систем вентиляції з ентальпійним рекуператором для підвищення енергоефективності пасивних будинків

Римма Митяй, здобувач вищої освіти¹, Сергій Іносов, к.т.н., доцент¹ (ORCID: 0000-0001-8305-5514)

¹ Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ, Україна

АНОТАЦІЯ

Дослідження присвячене оптимізації автоматизованих систем вентиляції з ентальпійним рекуператором для пасивних будинків. Метою роботи є підвищення енергоефективності будівель і забезпечення комфортних умов проживання за допомогою автоматизованого контролю мікроклімату. Ентальпійні рекуператори утримують тепло і вологу, знижуючи енергоспоживання на 25-30%. Автоматизація систем за допомогою BMS дозволяє оптимізувати роботу вентиляції, підтримуючи стабільний мікроклімат і зменшуючи екологічний вплив будівель.

Ключові слова: автоматизація вентиляції, ентальпійний рекуператор, пасивні будинки, енергоефективність, BMS.

1. ВСТУП

Пасивні будинки є перспективним напрямом сучасного будівництва, що спрямований на мінімізацію енергоспоживання без шкоди для комфорту мешканців. Основні принципи пасивного будинку, розробленого Вольфгангом Файстом у 1980-х роках, включають ефективну теплоізоляцію, герметичність, відсутність теплових містків, високоякісні вікна та вентиляцію з рекуперацією тепла. Завдяки цим технологіям енергоспоживання будинків знижується до 90%.

Для підтримання комфортного мікроклімату застосовують системи вентиляції з рекуперацією тепла, які забезпечують постійний приплив свіжого повітря без втрат тепла, що робить такі будинки ефективними навіть у складних кліматичних умовах.

2. МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є оптимізація автоматизованих систем вентиляції з ентальпійним рекуператором для підвищення енергоефективності пасивних будинків і створення комфортних умов проживання. Основними завданнями є: - аналіз роботи ентальпійного рекуператора з точки зору енергозбереження та підтримання рівня вологості; - розробка автоматизованої системи вентиляції, що дозволяє точно контролювати температурні параметри, вологість та рівень CO₂, адаптуючись до змін мікроклімату.

3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для досягнення поставлених цілей використано математичне моделювання процесів теплопередачі та масообміну, зокрема аналіз за допомогою діаграми Мольє. Модель процесів теплопередачі ґрунтується на дослідженнях [1] Міклоша Кассаї та Ласло Кайтара з Будапештського університету. Вивчено також вплив швидкості повітря на ентальпію, базуючись на роботах Хун ЦзяньХуа [2]. Праці Сьорена Пепера та Вольфганга Файста [3] підтвердили, що використання ентальпійних рекуператорів може знизити енергоспоживання на 40-60%.

4. ВИБІР СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ

Вибір вентиляційної системи з ентальпійним рекуператором базується на принципах пасивного будинку, що спрямовані на мінімізацію теплових втрат і максимальне енергозбереження. Згідно з міжнародними стандартами, пасивні будинки повинні знижувати енергоспоживання на 40-60% порівняно зі звичайними будівлями. Використання вентиляції з рекуперацією тепла

допомагає досягти цих показників і забезпечує комфортний мікроклімат. Дослідження показують, що в реальних умовах такі системи можуть скоротити енергоспоживання на 80-88%, як це підтверджено вимірюваннями в проєктах у Німеччині. Це свідчить про їх високу ефективність у різних кліматичних умовах.

Таким чином, використання вентиляційних систем з ентальпійним рекуператором є доцільним для пасивних будинків, оскільки вони значно зменшують енергоспоживання та забезпечують здоровий мікроклімат.

5. АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У дослідженні проаналізовано наукові праці, що висвітлюють ефективність автоматизованих систем вентиляції з ентальпійним рекуператором у пасивних будинках. Важливість таких систем підтверджується експериментальними даними з реальних об'єктів, сертифікованих за стандартами пасивного будинку, що забезпечує високу енергоефективність та комфорт.

Результати показують, що такі системи можуть значно підвищити енергоефективність. Наприклад, у дослідженні будинку на півночі Іспанії, сертифікованого Інститутом пасивного будинку у 2018 році, споживання первинної енергії становило 102,5 кВт·год/м² на рік, що нижче за стандартні 120 кВт·год/м². Температура в приміщенні стабільно підтримувалася на рівні 20-21°C, а ефективність рекуператора досягала 92,8% взимку, що підтверджує високий рівень теплової ефективності системи.

Дослідження, проведені Сьореном Пепером та Вольфгангом Файстом з Інституту пасивного будинку в Дармштадті, показали, що ентальпійні рекуператори знижують енергоспоживання на 30-40% у порівнянні з традиційними системами вентиляції. Дослідження Хун ЦзяньХуа продемонстрували, що за оптимальних умов ефективність рекуперації тепла може досягати 85%, що є особливо важливим для холодного клімату.

Крім енергозбереження, рекуператори забезпечують комфорт, підтримуючи оптимальну вологість у приміщеннях. У будинку в Іспанії система підтримувала вологість на рівні 45%, що запобігало утворенню конденсату та покращувало мікроклімат.

Загалом, наукові дослідження підтверджують, що автоматизовані системи вентиляції з ентальпійним рекуператором є ключовими для підвищення енергоефективності та забезпечення комфортного середовища в пасивних будинках, допомагаючи досягти високих стандартів сталого розвитку.

6. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Енергетична ефективність

Автоматизація системи вентиляції знижує енергоспоживання на 25-30% порівняно з традиційними системами без рекуперації, завдяки збереженню тепла витяжного повітря і його передачі припливному. Рекуперація не лише зберігає тепло, але й вологу, що покращує комфорт, особливо взимку.

Комфортний мікроклімат

Системи з ентальпійним рекуператором запобігають пересушуванню повітря взимку і надлишковій вологості влітку. Це досягається завдяки оптимальній швидкості припливного та витяжного повітря, моделюванню теплових і вологісних процесів, що забезпечує стабільний мікроклімат.

Інтеграція з BMS

Використання систем BMS дозволяє інтегрувати вентиляцію з іншими енергетичними системами будинку, автоматично регулюючи інтенсивність вентиляції за показниками температури, вологості та CO₂. Це оптимізує енергоспоживання для обігріву та охолодження.

Підвищення якості повітря

Системи з ентальпійним рекуператором підтримують стабільний рівень CO₂ та оптимальну вологість 45-55%, що позитивно впливає на здоров'я та комфорт мешканців.

Приклади впровадження

У проєкті пасивного будинку Wheaton College у Массачусетсі економія енергії досягла 50-80% завдяки ефективним вікнам, вентиляції з рекуперацією та герметичності. Ці рішення є не лише комфортними, але й екологічно та економічно вигідними.

7. ЕФЕКТИВНІСТЬ ПАСИВНИХ БУДИНКІВ

Дослідження показують, що пасивні будинки суттєво знижують енергоспоживання. Наприклад, у проєктах у Німеччині було зафіксовано середнє споживання тепла на рівні 13,4 кВт·год/м² на рік у Вісбадені, що на 80% менше, ніж у низькоенергетичних будинках. У Ганновері та Штутгарті ці показники становили 12,8 кВт·год/м², що підтверджує ефективність систем пасивних будинків.

Таблиця 1: Порівняння енерговитрат у різних проєктах

Проект пасивного будинку	Середнє споживання тепла (кВт·год/м ² на рік)	Економія порівняно з низькоенергетичними будинками (%)
Вісбаден	13,4	80%
Ганновер/Кронсберг	12,8	81%
Штутгарт/Фойєрбах	12,8	81%
Grempstrasse, Франкфурт-на-Майні	12,2	82%

Автоматизовані системи вентиляції з ентальпійним рекуператором є важливою складовою таких будинків.

Вони знижують енергоспоживання та забезпечують оптимальний мікроклімат, що підвищує комфорт та якість життя мешканців. Ці висновки підтверджуються реальними проєктами, які демонструють економію енергії та покращення комфорту.

8. ВИСНОВКИ

Автоматизовані системи вентиляції з ентальпійним рекуператором є важливим кроком до підвищення енергоефективності та створення комфортних умов проживання в пасивних будинках. Вони знижують енергоспоживання, підтримують оптимальний мікроклімат і сприяють екологічній стійкості будівель. Ці рішення допомагають досягти цілей сталого розвитку, зокрема зниження викидів CO₂.

Список літератури

[1] Kassai M. & Kajtár L. "Energetic analysis of ventilation system of passive house", 2010, 16th „Building Services, Mechanical and Building Industry days” International Conference.

[2] H. J. Hua et al. "Effect of Supply and Exhaust Air Velocity on the Enthalpy and Temperature Exchange Efficiency of a Paper Heat Exchanger", MATEC Web of Conferences. 2021. Vol. 335. P. 03006. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202133503006>

[3] Peper S. and Feist W., "Energy efficiency of the Passive House Standard: Expectations confirmed by measurements in practice", 2015, Passive House Institute Dr. Wolfgang Feist, URL: https://passiv.de/downloads/05_energy_efficiency_of_the_passive_house_standard.pdf

[4] Niskanen J., Rohrer H. Passive houses as affiliative objects: Investment calculations, energy modelling, and collaboration strategies of Swedish housing companies. Energy Research & Social Science. 2020. Vol. 70. P. 101643. URL: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101643>

[5] Zender-Świercz E. A Review of Heat Recovery in Ventilation. Energies. 2021. Vol. 14, no. 6. P. 1759. URL: <https://doi.org/10.3390/en14061759>

[6] Zender-Świercz E. Review of IAQ in Premises Equipped with Façade-Ventilation Systems. Atmosphere. 2021. Vol. 12, no. 2. P. 220. URL: <https://doi.org/10.3390/atmos12020220>

[7] Radomski B., Drojetzki L., Mróz T. Integration of a heat exchanger on the supply air with the ground-source heat pump in a passive house – case study. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 214. P. 012087. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/214/1/012087>

[8] Experimental assessment of the thermal performance and energy consumption of a single-family Passive House / I. M. Suárez Ramón et al. Renewable Energy and Power Quality Journal. 2020. Vol. 18. P. 615–620. URL: <https://doi.org/10.24084/repqj18.448>