

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра “Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент”

“Допущено до захисту ”

Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ

к.т.н., професор

_____Петро ПЛЄШКОВ

“ ____ ” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої
освіти
на тему
“Розробка та аналіз рішень підвищення енергоефективності
будівельних споруд з системами вентиляції та кондиціонування”

Виконав здобувачка вищої освіти
2 курсу магістратури, групи ЕНМ-22М
ОПП «Енергетичний менеджмент»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____Юлія ПОЛСТЯНОВА
« ____ » _____ 2023 р.

Керівник роботи

д.т.н., професор

_____Василь КЛИМЕНКО

« ____ » _____ 2023 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Плещков П.Г.

«_____» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Полстянова Юлія Олександрівна

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Розробка та аналіз рішень підвищення енергоефективності будівельних споруд з системами вентиляції та кондиціонування

Development and analysis of solutions to improve the energy efficiency of buildings with ventilation and air conditioning systems

2. Керівник роботи (проекту) Клименко Василь Васильович, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту 30.12.2023 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)

Збільшення ефективності роботи систем вентиляції та кондиціонування енергії у громадських будівлях завдяки впровадженню сучасного енергоефективного обладнання. Оцінка ситуації з енергопостачанням громадських об'єктів. Експертиза ефективності систем вентиляції та кондиціонування у громадських приміщеннях

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н, доц. Савеленко І.В.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ.</i>	<i>10.10.23</i>	
2	<i>Аналіз ситуації з енергопостачанням громадських будівель</i>	<i>17.10.23</i>	
3	<i>Розробка критеріїв для оптимального використання вентиляційних систем для зниження рівня витрат теплової енергії в громадських будівлях.</i>	<i>30.10.23</i>	
4	<i>Оцінка ефективності роботи вентиляційних систем та систем кондиціонування для громадських будівель.</i>	<i>18.11.23</i>	
5	<i>Розробка бізнес-плану підвищення ефективності вентиляційних системи на ринку кліматичних систем</i>	<i>03.12.23</i>	
6	<i>Охорона праці</i>	<i>10.12.23</i>	
7	<i>Висновки</i>	<i>16.12.23</i>	
8	<i>Оформлення пояснювальної записки та презентації магістерської роботи</i>	<i>30.12.23</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2023 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2023 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Полстянова Ю.О. Розробка та аналіз рішень підвищення енергоефективності будівельних споруд з системами вентиляції та кондиціонування

Development and analysis of solutions to improve the energy efficiency of buildings with ventilation and air conditioning systems

Спеціальність 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». - ОПП «Енергетичний менеджмент». - Центральноукраїнський національний технічний університет. - м. Кропивницький, 2023 р.

В роботі досліджено сучасний стан енергозбереження в Україні залишається важливим та потребує подальшого розвитку. Зменшення викидів в атмосферу вимагає впровадження технологій, що зменшують споживання теплової енергії.

Визначення класу енергоефективності будівель важливе під час будівництва чи реконструкції, впливаючи на перелік можливостей енергозбереження, які можуть бути запропоновані.

Таким чином, використання систем вентиляції з рекуперацією тепла стає доцільним рішенням, оскільки вони працюють за рахунок електричної енергії, що дозволяє ефективно використовувати тепло без його споживання будівлею.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення енергоефективності громадських будівель за рахунок використання рекуперативних систем вентиляції системи .

Об'єкт дослідження. Процеси енергоспоживання та теплогенерації в громадських будівлях за рахунок використання систем вентиляції.

Предмет дослідження. Чисельні методи розрахунку та математичні моделі інженерних систем для вибору систем вентиляції.

СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ, КЛАС ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ, РЕКУПЕРАЦІЯ, КРАТНІСТЬ ПОВІТРООБМІНУ.

ABSTRACT

Polstianova U. Development and analysis of solutions to improve the energy efficiency of buildings with ventilation and air conditioning systems.

Розробка та аналіз рішень підвищення енергоефективності будівельних споруд з системами вентиляції та кондиціонування.

Specialty 141 - "Electric Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics" - Educational Program "Energy Management" - Central Ukrainian National Technical University - Kropyvnytskyi, 2023.

The research explores the current state of energy conservation in Ukraine, which remains important and requires further development. Reducing emissions into the atmosphere necessitates the adoption of technologies that decrease the consumption of thermal energy.

Determining the energy efficiency class of buildings is crucial during construction or reconstruction, influencing the range of energy-saving options that can be proposed.

Therefore, the utilization of ventilation systems with heat recovery becomes a viable solution as they operate using electrical energy, allowing efficient heat utilization without consumption by the building.

The aim of the qualification work is to enhance the energy efficiency of public buildings through the use of recuperative ventilation systems.

Research Object. Processes of energy consumption and heat generation in public buildings through the use of ventilation systems.

Research Subject. Numerical methods for calculation and mathematical models of engineering systems for selecting ventilation systems.

VENTILATION SYSTEMS, ENERGY EFFICIENCY CLASS, RECOVERY, AIR EXCHANGE RATE

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЛЯХ ...	13
1.1.1 Оцінка рівня енергозбереження будівель	13
1.1.2 Аналіз використання інженерних систем у громадських будівлях	19
1.1.3 Нормативно-правове забезпечення щодо використання вентиляційних систем	23
Висновки до 1 розділу	29
2 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ	30
2.1 Аналіз параметрів вентиляційних систем	30
2.2 Припливно-витяжна вентиляція з рекуперацією	32
2.2.1 Пластинчасті рекуператори	34
2.2.2 Роторні рекуператори	35
2.2.3 Система кондиціювання повітря з центральним модулем	37
2.2.4 Чилер-фанкойл	38
2.2.5 Система вентиляції з рекуперацією енергії	41
2.2.6 Кліматичні спліт-системи	42
2.3 Основні вимоги до системи вентиляції	44
2.4 Вибір вентиляційних та кондиціонувальних систем	46
2.5 Методи обчислення вентиляції в приміщеннях	49
2.6 Розрахунок обміну повітря за масою викидів шкідливих речовин.	52

Висновки до розділу 2	58
3 АНАЛІЗ ДАНИХ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ БУДІВЛІ	59
3.1 Аналіз витрати енергії закладом охорони здоров'я	59
3.2 Аналіз стану вентиляційних систем будівлі	62
Висновки до розділу 3	64
4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЛІКАРНЯНОГО ЗАКЛАДУ	65
4.1 Вибір припливно-витяжної системи вентиляції для існуючої будівлі.	65
4.2 Техніко-економічний розрахунок ефективності впровадження вентиляційної установки	73
Висновки розділу 4	78
5 ОХОРОНА ПРАЦІ В МЕДИЧНИХ ЗАКЛАДАХ	79
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	82
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	83

ВСТУП

Впровадження ефективних заходів з підвищення енергоефективності громадських будівель є актуальним завданням, спрямованим на забезпечення сталого розвитку та оптимізацію використання енергетичних ресурсів. Дана робота спрямована на розв'язання цього завдання через вивчення і вдосконалення систем вентиляції в громадських об'єктах.

Першим крок передбачається проведення аналізу стану енергозабезпечення громадських будівель. На цьому етапі проводиться оцінка вже існуючих систем енергоспоживання в цих об'єктах. Аналіз ефективності поточних систем вентиляції та кондиціонування, визначає основні фактори, що впливають на витрати енергії.

Цей аналіз включає огляд існуючих технічних характеристик, вимірювання енергетичних параметрів та вивчення історій експлуатації. Результати цього етапу дозволяють нам отримати повний обсяг інформації щодо енергоспоживання громадських будівель і визначити області для подальших покращень.

Дослідження характеристик енергоспоживання громадськими будівлями відіграє важливу роль у визначенні оптимальних критеріїв для використання вентиляційних систем. Цей етап дозволяє не лише збагатити наше розуміння енергетичної ефективності, а й створити основу для вибору оптимальних рішень.

Під час аналізу детально досліджуються дані щодо витрат енергії громадськими будівлями. Це включає електроенергію, яку використовують освітлення, прилади, комп'ютери, а також теплову енергію, яка використовується для опалення чи кондиціонування.

Важливо врахувати пікові навантаження, що можуть виникати у громадських будівлях, наприклад, під час заходів, конференцій, або інших масових подій. Вентиляційна система повинна бути здатна ефективно працювати навіть при збільшених потребах у енергії.

Розглядаючи різноманітні кліматичні умови та режими роботи будівель, можна визначити оптимальні параметри вентиляційних систем для різних ситуацій. Наприклад, впровадження інтелектуальних систем, які реагують на зміни у погоді чи кількість присутніх людей.

Дослідження взаємодії вентиляційних систем з іншими енергоефективними технологіями в будівлі, такими як системи освітлення, теплові насоси, чи сонячні батареї. Спільна робота цих систем може значно зменшити загальні витрати енергії.

Формування критеріїв використання вентиляційної системи також повинно враховувати аспекти комфорту та безпеки для користувачів будівлі. Це включає вентиляцію з належним рівнем свіжості повітря та врахування вимог стандартів щодо якості повітря в приміщеннях.

Проведення цього дослідження надає нам об'єктивний підхід до визначення оптимальних параметрів для вентиляційних систем громадських будівель, сприяючи підвищенню їхньої енергоефективності та створенню більш комфортного та безпечного середовища.

Контроль повітрообміну та ефективність систем вентиляції у медичних закладах України відіграють критичну роль у забезпеченні безпеки пацієнтів та персоналу, здоров'я та безпеки працівників, а також в підтриманні стабільного функціонування лікарень та клінік.

У медичних закладах, де ризик інфекцій та перенесення хвороб є високим, ефективні системи вентиляції грають важливу роль у забезпеченні чистоти повітря. Вони видаляють забруднення, включаючи бактерії, віруси та аерозольні частки, що допомагає запобігти поширенню інфекцій.

Відповідна температура та вологість також важливі для забезпечення комфорту та відмінного стану обладнання в медичних приміщеннях. Системи вентиляції регулюють ці параметри, щоб створити оптимальне середовище для пацієнтів та медичного персоналу.

Ефективні системи вентиляції здатні швидко виводити з повітря

шкідливі речовини, такі як лікарські гази чи хімічні речовини, що можуть виникнути під час медичних процедур. Це має важливе значення для забезпечення безпеки медичного персоналу.

Вентиляційні системи в медичних закладах також розроблені для мінімізації ризику крос-контамінації, коли вони контролюють потік повітря та вирівнюють тиск в різних зонах лікарень, запобігаючи перенесенню інфекцій між пацієнтами.

Ефективні системи вентиляції в медичних закладах допомагають відповідати стандартам щодо якості повітря та умов роботи, встановленим регуляторними органами, що забезпечує високий рівень безпеки та якості медичної допомоги.

Хоча вентиляційні системи є необхідним елементом медичних закладів для забезпечення чистого повітря та створення комфортних умов, важливо звертати увагу на їхнє регулярне обслуговування та контроль, оскільки будь-які неполадки можуть створити ризики для здоров'я пацієнтів та персоналу. Також, забезпечення відповідності стандартам та наявність ефективних систем моніторингу допомагає запобігти можливим проблемам та забезпечити надійну роботу вентиляційних систем у медичних закладах.

Підвищення енергоефективності будівлі за рахунок сучасних систем вентиляції може бути досягнуте за допомогою різноманітних технологічних та інженерних рішень. Ось декілька способів, якими це можна здійснити:

- Тепловий обмін з рекуперацією;
- Системи регулювання вентиляції за попитом;
- Використання енергоефективних вентиляторів та обладнання;
- Інтеграція з системами автоматизації будівель;
- Використання сенсорів та інтелектуальних алгоритмів;

- Ізоляція та ущільнення будівельної оболонки;

Критичний вибір та оптимальне поєднання цих підходів може допомогти максимізувати енергоефективність будівлі, забезпечуючи при цьому комфорт та безпеку для її користувачів.

Ці підходи можуть бути використані окремо або в поєднанні, залежно від конкретних потреб та характеристик будівлі. При виборі рішень важливо враховувати специфіку будівлі, кліматичні умови та вимоги користувачів для досягнення оптимальної енергоефективності.

Метою кваліфікаційної роботи є оптимізація енергоефективності громадських будівель закладів охорони здоров'я через впровадження вентиляційних систем.

З метою досягнення результату в роботі вирішувалися ряд наукових завдань:

1. Здійснено аналіз стану енергозабезпечення закладів охорони здоров'я.
2. Вивчено характеристики енергоспоживання закладами охорони здоров'я для визначення критеріїв використання вентиляційних систем.
3. Проведено дослідження ефективності вентиляційних систем та систем кондиціонування для громадських будівель.

Об'єктом дослідження є процес енергозабезпечення громадських будівель, включаючи вентиляційні системи. Предметом є підходи та методи розрахунку для вибору вентиляційної системи.

У роботі застосовувався метод аналізу повітрообміну в приміщеннях для відбору оптимального вентиляційного обладнання.

Науковою новизною отриманих результатів є подальший розвиток підходів до моделювання та аналізу характеристик і режимів роботи систем вентиляції та кондиціонування з метою підвищення рівня

енергоефективності громадських будівель.

Практичне значення роботи полягає в тому, що отримані результати порівняння систем вентиляції з рекуперацією, які використовують пластинчатий рекуператор та роторний регенератор з низьким споживанням електроенергії, дозволять значно підвищити енергетичну ефективність існуючих вентиляційних систем у будівлях та промислових спорудах.

Науково-технічна конференція магістрантів ЦНТУ, 25 грудня 2023;
Полстянова Ю.О. Дослідження рівня енергоефективності будівель при використанні енергоефективних вентиляційних систем.

Публікації. Результати кваліфікаційної роботи були оприлюднені:
Полстянова Ю.О. Дослідження рівня енергоефективності будівель при використанні енергоефективних вентиляційних систем, науково-технічна конференція магістрантів ЦНТУ, 25 грудня 2023;

РОЗДІЛ 1

1 АНАЛІЗ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЛЯХ

1.1.1 Оцінка рівня енергозбереження будівель

У сучасних умовах глобальної економічної нестабільності проблема енергозбереження та підвищення енергоефективності будівель та інфраструктури стає надзвичайно актуальною. Використання енергозберігаючих технологій є ефективним засобом протистояння наслідкам зміни клімату та відкриває можливість об'єднання екологічних переваг із економічною вигодою [2].

Розпочаток енергозбереження пов'язаний із ефективним виробництвом енергії, де важливу роль відіграють енергозберігаючі технології та рішення, базовані на використанні відновлюваних джерел енергії, таких як вітер та вода. Вирішення ключових завдань у сфері організації ефективного енергопостачання будівель передбачає вимір, відображення, оцінку і оптимізацію енергетичних потоків.

Енергоефективність - це раціональне використання енергетичних ресурсів з метою оптимізації кількості використовуваної енергії для забезпечення необхідного рівня енергозабезпечення будівлі [3,4].

Відзначимо, що, навпаки від енергозбереження, спрямованого переважно на зменшення споживання енергії, енергоефективність орієнтована на раціональне витрачання енергії. Це дозволяє енергетичним компаніям зменшити нераціональні витрати на паливо, що позитивно позначається на екології, зменшуючи викиди шкідливих газів у атмосферу.

Для забезпечення енергоефективності використовуються спеціальні пристрої, які автоматично припиняють постачання тепла, вентиляції та електроенергії при відсутності людини. Також підвищення енергоефективності [5, 6] досягається через використання

енергозберігаючих ламп, впровадження автоматизаційних методів і шляхом застосування архітектурних рішень.

Один з ефективних методів заощадження енергії - використання системи "розумний дім", яка автоматизує [7] управління інженерними системами будинку, такими як опалення, вентиляція і освітлення.

Електронний інтелект автоматично регулює температуру в приміщенні та переводить будинок у "сплячий режим" у відсутність господарів, мінімізуючи функціонування вентиляції та опалення. Через Інтернет власник будинку може активувати всі системи, готуючи будинок до свого повернення. Розуміючи, що встановлення та використання такої системи є витратними, варто зауважити, що зростання популярності енергозберігаючих технологій викликане наростаючою актуальністю питань енергозбереження.

Щороку тарифи на енергоресурси зростають, що пояснює попит на енергоефективні технології, які дозволяють суттєво зменшити витрати на комунальні послуги.

Відповідно до оцінок експертів, тепловтрати будівлі розподіляються, як показано на рисунку 1.1: 20% - інфільтрація нагрітого повітря; 50% - низький опір теплопередачі конструкцій обгородження; 30% - неефективне використання гарячої води та неконтрольоване опалення.

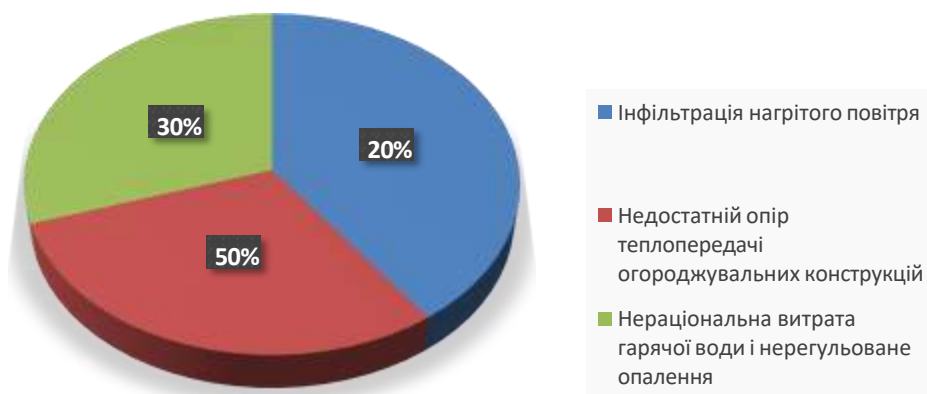


Рис. 1.1 – Залежність тепловтрат в будівлі за експертним методом
Зменшення споживання вичерпних природних ресурсів, витрачених

на системи опалення, вентиляції та кондиціонування (ОВК) [1,2], є критичним завданням у зв'язку з обмеженістю цих ресурсів. На сучасному етапі в розвинених країнах Європейського союзу активно вивчається напрямок "зеленого будівництва" або енергоефективного проектування та будівництва будівель.

"Зелене будівництво" представляє собою підхід до проектування, будівництва та експлуатації будівель з метою зменшення енерго- і ресурсоспоживання, при цьому зберігаючи або підвищуючи комфортні умови мікроклімату. Основні завдання, які вирішуються через зелене будівництво, включають:

- Мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище;
- Зменшення споживання природних ресурсів у процесі експлуатації будівель;
- Підвищення енергетичної ефективності будівель та споруд.

Згідно з європейською класифікацією енергоефективних будівель [8], будівлі і споруди можна класифікувати за рівнем річного споживання енергії, як показано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Класифікація громадських будівель і споруд

Клас енергоефективності	Типи будівель	Питоме річне споживання енергії, кВт·год/м ³
A+	Будівля нульової енергії	0
A	Пасивний будинок	15-30
B,C	Будівля низького енергоспоживання	50- 66
A,B,C	Нова будівля	30-60
D,F,G	Нова будівля	100-150
D,F,G	Стара будівля	250-300

Згідно з вимогами Євросоюзу, починаючи з 2020 року в Європі буде

дозволено будівництво лише тих будівель і споруд, які відповідають стандартам енергоефективності, не нижче рівня пасивного будинку [9].

В Україні, з свого боку, проектування та будівництво нових будівель і споруд, а також реконструкція існуючих, проводиться відповідно до вимог законодавства, зокрема, Закону України "Про енергетичну ефективність будівель" та ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування".

У процесі розгляду питань проектування та вибору системи вентиляції визначається тип будівлі та характеристики приміщень (санітарні, пожежні, вибухозахисні). Потрібно врахувати характеристики виділених забруднень (вологи, парів, газів, пилу), обчислити кількість повітря, необхідного для однієї людини (за винятком складських приміщень), визначити кратність повітрообміну та установити температурний режим, який має підтримуватися в приміщеннях.

На основі цих умов виділяються різні типи будівель, такі як житлові, промислові, сільськогосподарські та громадські. Кожен тип будівель має свої вимоги до вибору систем кондиціонування.

У житлових будівлях переважно використовується природна вентиляція, яка забезпечується шляхом влаштування протягів та відмінності температур між зовнішнім середовищем та приміщеннями. Приточна та витяжна вентиляція також можуть застосовуватися для забезпечення необхідних умов.

У промислових будівлях використовується переважно природна вентиляція, але іноді вона може бути недостатньою, зокрема в ливарних цехах, де виникає накопичення шкідливих газів. Технологічний супровід сільськогосподарських комплексів також передбачає системи вентиляції для забезпечення оптимальних умов зберігання.

В громадських будівлях з великою кількістю людей застосовується система вентиляції для очищення повітря, яка може бути централізованою або індивідуальною для кожної конструктивно виділеної площі.

Вентиляція використовується також для забезпечення оптимальних умов в приміщеннях.

Найбільш поширений громадських будівлях тип вентиляції – припливно-витяжний. Тому більш детально зупинимось на перевагах і недоліках різновидів даного типу вентиляції.

Використання систем вентиляції з тепловим обміном дозволяє зберігати теплову енергію, яка вилучається з вентиляційного повітря перед викиданням на зовнішній повітря. Це дозволяє підвищити теплову ефективність будівлі та зменшити навантаження на системи опалення. Тепловий обмін з рекуперацією має наступні:

Переваги:

- Зменшення витрат на опалення через відновлення тепла з витраченого повітря.
- Покращення енергоефективності та зниження викидів CO₂.

Недоліки:

- Потребує регулярного обслуговування теплових обмінників.
- Вартість установки та обслуговування може бути високою.

Використання систем, які регулюють вентиляцію відповідно до актуальних потреб приміщення, дозволяє уникнути зайвого витрати енергії на обслуговування вентиляційних систем при непотрібних умовах. Системи регулювання вентиляції за попитом мають наступні:

Переваги:

- Зменшення енерговитрат завдяки адаптації системи до реальних потреб будівлі.
- Покращення комфорту для користувачів за рахунок оптимального контролю над вентиляцією.

Недоліки:

- Високі витрати на встановлення і програмування системи.
- Потребує системи моніторингу та регулярного обслуговування.

Заміна застарілого обладнання на більш енергоефективне, таке як вентилятори зі змінною швидкістю або вентилятори з ефективними моторами, може значно знизити енергоспоживання системи вентиляції. Використання енергоефективних вентиляторів та обладнання має наступні:

Переваги:

- Зниження споживання електроенергії та витрат палива.
- Зменшення викидів шкідливих речовин завдяки ефективному обладнанню.

Недоліки:

- Висока вартість придбання та встановлення сучасного обладнання.
- Залежність від технічної ефективності обладнання.

Сучасні системи вентиляції можуть бути інтегровані з системами автоматизації будівель, що дозволяє ефективно контролювати і регулювати вентиляцію в залежності від різних факторів, таких як температура, вологість та кількість людей в приміщенні. Інтеграція з системами автоматизації будівель має наступні:

Переваги:

- Оптимальний контроль та управління всією інфраструктурою будівлі.
- Зменшення витрат на вироблення енергії через ефективне використання ресурсів.

Недоліки:

- Великі витрати на встановлення та програмування систем автоматизації.
- Можливі проблеми з кібербезпекою та приватністю даних.

Встановлення сенсорів, які вимірюють параметри повітря, може допомогти системі вентиляції реагувати на зміни у реальному часі. Використання інтелектуальних алгоритмів дозволяє оптимізувати роботу вентиляції для максимальної ефективності. Використання сенсорів та

інтелектуальних алгоритмів має наступні:

Переваги:

- Адаптація системи в реальному часі для оптимальної ефективності.
- Зменшення витрат завдяки точному контролю параметрів повітря.

Недоліки:

- Високі витрати на встановлення та обслуговування сенсорів.
- Залежність від якості сенсорів та алгоритмів.

Зменшення витрат повітря через неплановані щілини та ущільнення будівлі може значно знизити навантаження на системи вентиляції, забезпечуючи ефективнішу роботу. використання теплової ізоляції для ущільнення будівельної оболонки несе наступні:

Переваги:

- Зменшення витрат на опалення та кондиціювання повітря.
- Покращення комфорту та зниження шуму зовнішнього середовища.

Недоліки:

- Можливі проблеми з вентиляцією та впровадженням ефективних систем для забезпечення свіжого повітря.
- Залежність від якості будівельних матеріалів та проектування.

1.1.2 Аналіз використання інженерних систем у громадських будівлях

Інженерні системи будівель та споруд визначаються як засоби, спрямовані на забезпечення комфорту проживання людей і здійснення технологічних процесів. Ці системи є споживачами різних видів енергії (теплової, електричної тощо) та інших ресурсів, які необхідні для

життєдіяльності і виробничих процесів [11].

До таких систем відносяться ті, що використовують тепло (опалення, вентиляція, гаряче водопостачання), електроенергію (освітлення, електроприводи агрегатів, механізмів і т. д.) та різноманітні ресурси (вода, газ, різні види палива).

Системи опалення та вентиляції дозволяють зберігати в приміщеннях необхідні параметри температури, вологості та обміну повітря. Згідно з чинними нормами, опалення будівель рекомендується проводити водяним теплоносієм за допомогою місцевих нагрівальних приладів. До системи опалення також входять зовнішні мережі, що подають гарячу воду від теплоцентралей до теплових пунктів і відводять відпрацьований теплоносій.

Наразі глобальна система типізації опалення будівель часто не враховує вимог до підтримки температурно-вологісних параметрів повітря в приміщеннях, особливо санітарно-побутових.

У деяких випадках альтернативні рішення, незважаючи на додаткові витрати, можуть стати більш вигідними, поліпшуючи санітарно-гігієнічні умови та зменшуючи захворюваність працівників. Також може бути застосоване потрібне скління для запобігання конденсації на закритих поверхнях в приміщеннях з підвищеною вологістю.

Ефективний захист від інфільтрації через двері може бути досягнутий за допомогою повітряних завіс, що також сприяють економії енергії при опаленні будівель [11].

Системи вентиляції адміністративно-побутових будівель можуть бути забезпечені природним або механічним спонуканням відповідно до необхідного повітрообміну або технічних можливостей [11].

В таблиці 1.2 наведені системи вентиляції, які використовуються в громадських будівлях.

Таблиця 1.2 – Системи вентиляції для громадських будівель

Системи вентиляції та кондиціонування	Потребують встановлення
Витяжна система	
Система центрального кондиціонування	+
Припливо- витяжна система з рекуперацією	+
Чиллер-фанкойл	+
Припливна система	
Природня вентиляція	+

В системах вентиляції для транспортування припливного і витяжного повітря раціональним вибором обладнання є вертикальні повітроводи в вентиляційних несучих або приставних блоках, включених в будівельні індустріальні вироби, принципова схема примусово-витяжної вентиляції наведена на рис. 1.2. Горизонтальні ділянки припливних і витяжних повітропроводів можуть бути виконані як частина будівельних конструкцій або з неметалічних коробчатих матеріалів.



Рисунок 1.2 - Принципова схема примусово-витяжної вентиляції

В комплекті із зазначеним устаткуванням входять нерегульовані жалюзійні решітки з площею до $0,5 \text{ м}^2$, які також виготовляють з неметалу. Розташування обладнання з припливними і витяжними решітками в приміщеннях передбачає забезпечення повноцінної циркуляції повітря без застійних зон. Блоки припливних установок розміщують максимально збільшено, забезпечуючи централізоване розташування з урахуванням необхідного рівня чистоти повітря на зовнішніх повітрозабірних пристроях. Враховується зони розподілу шкідливих речовин на території будівництва для того, щоб припливне повітря відповідало санітарно-гігієнічним вимогам.

Для видалення обробленого повітря рекомендується використовувати обладнання типу дефлекторів у системах природної вентиляції або дахові вентилятори у системах механічної вентиляції. Деякі приміщення адміністративного та побутового призначення оснащуються обладнанням кондиціонування повітря, що дозволяє автоматично створювати та підтримувати задані параметри температури, вологості, обміну, швидкості та складу повітря [12]. Це обладнання є необхідним для забезпечення комфортних умов праці при екстремальних кліматичних умовах та виконання різних операцій службами інформаційно-технічного та лабораторного призначення.

Залежно від обсягу обслуговуваних приміщень системи кондиціонування можуть бути локальними, призначеними для одного чи кількох приміщень, або централізованими - для великої групи приміщень. Різні види регулювання повітря можуть бути використані, такі як якісне регулювання, при якому одному об'єму повітря присвоюються різні параметри, або більш економічне регулювання, яке змінює витрату припливного і витяжного повітря при постійних інших параметрах, включаючи температуру. Зокрема, системи кондиціонування повітря з блочно-модульними агрегатами, оснащеними уніфікованими електронними системами регулювання, є перспективними для ефективної

експлуатації та зменшення витрат.

1.1.3 Нормативно-правове забезпечення щодо використання вентиляційних систем

Нормативно-правове забезпечення щодо використання вентиляційних систем визначається рядом норм і правил, включаючи ДБН (Державні будівельні норми) та інші регуляторні документи. Зокрема, відповідно до ДБН В.2.2-9:2018 системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, включаючи системи аварійної протидимної вентиляції, повинні проектуватися з додержанням вимог таких норм:

1. ДБН В.2.6-31: Вимоги щодо енергозбереження будинків.
2. ДБН В.2.5-39: Вимоги до систем водопостачання і каналізації в будівлях.
3. ДБН В.2.5-56: Вимоги до систем тепло- та холодопостачання.
4. ДБН В.2.5-67:2013: Вимоги до опалення, вентиляції та кондиціонування в будівлях. Особливий акцент на опалення, вентиляцію та кондиціонування в цьому випадку.
5. ДБН В.2.5-77: Вимоги до систем газопостачання та газового обладнання.
6. НПАОП 0.00-1.51: Загальні вимоги охорони праці при розробці проектів, будівництві та експлуатації об'єктів.

Також зазначено, що норми ДБН В.2.5-67:2013 застосовуються при реконструкції, новому будівництві, капітальному ремонті, термомодернізації та технічному переоснащенні існуючих систем опалення та внутрішнього теплопостачання, вентиляції, повітряного опалення, кондиціонування та охолодження повітря у приміщеннях

будівель і споруд різного призначення.

Ці норми та правила спрямовані на забезпечення ефективності та безпеки вентиляційних систем в будівлях різного призначення, зокрема, засобами опалення, вентиляції та кондиціонування.

Згідно з наданою інформацією, для забезпечення цілодобового та цілорічного підтримання необхідних параметрів у виробничих та громадських приміщеннях пропонується використовувати системи кондиціонування повітря та системи припливної вентиляції з двома установками, одна з яких є резервною. Резервна установка повинна забезпечувати 50% потрібного повітрообміну та температуру не менше 12 °С у холодний період.

Згідно з ДБН В.2.2-9:2018, який вказує на необхідність класу енергоефективності "С" для громадських споруд, системи вентиляції та кондиціонування повинні також відповідати класу енергоефективності будівлі, а також ДСТУ 2339. Рекомендується застосовувати технічне оснащення класу енергоефективності "А".

Згідно із зазначеною інформацією, вимоги щодо енергозбереження для систем вентиляції, опалення та кондиціонування слід враховувати згідно з ДБН В.2.5-67. Зазначений документ визначає, що огорожувальні конструкції споруд і будинків повинні бути спроектовані таким чином, щоб розрахунок значень приведенного опору теплопередачі, визначених з урахуванням теплопровідних включень відповідно до ДСТУ 9191-22, набував значень менше, ніж нормативні, зазначені в ДБН В.2.5-67.

Це вказує на те, що важливим аспектом проектування є забезпечення ефективної теплоізоляції огорожувальних конструкцій будівлі або споруди. Використання матеріалів з низьким коефіцієнтом теплопередачі та врахування теплопровідних включень є ключовими факторами для досягнення нормативних значень опору теплопередачі, встановлених у відповідності до ДБН В.2.5-67. Такий підхід сприяє підвищенню енергоефективності будівлі та зменшенню енерговитрат на опалення,

вентиляцію та кондиціонування.

Під час розробки системи механічної загально-обмінної вентиляції та кондиціонування повітря необхідно враховувати визначення специфічної потужності вентиляції та відповідну категорію SPF відповідно до ДСТУ Б EN 13779. Розподіл специфічної потужності вентиляції за SPF відображений у рисунку 1.3.

Позначка категорії	Значення P_{SFP} , Вт/(м ³ /с)
<i>SFP1</i>	<500
<i>SFP2</i>	500 - 750
<i>SFP3</i>	750 - 1250
<i>SFP4</i>	1250 - 2000
<i>SFP5</i>	2000 - 3000
<i>SFP6</i>	3000 - 4500
<i>SFP7</i>	>4500

Рис. 1.3. Розподіл ефективності потужності вентиляції [1]

Згідно з ДСТУ Б EN 13779, питома вентиляційна потужність (SFP) для будівлі або вентиляційної системи визначається як загальна електрична потужність, яку споживають всі вентилятори системи повітрообміну, розділена на загальну витрату повітря, яка транспортується у будівлі за умов розрахункового навантаження [14].

$$SFP = \frac{P_{sf} + P_{ef}}{Q_{max}} \quad (1.1)$$

де SFP - це питома вентиляційна потужність для будівлі або вентиляційної системи, виражена в Вт·с/м³; Q_{max} - розрахункова витрата повітряного потоку через будівлю (найбільша з витрат припливного або витяжного повітря), виміряна у м³/с; P_{sf} - повна потужність припливних вентиляторів при розрахунковій витраті повітря, виміряна в Вт; P_{ef} - повна потужність витяжних вентиляторів при розрахунковій витраті повітря, виражена в Вт.

Питому потужність окремого вентилятора визначається за наступною

формулою:

$$PSFP = \frac{P}{Q_v} \quad (1.2)$$

де: P – споживана потужність двигуна вентилятора, Вт; Q_v – продуктивність вентилятора по повітрю, м³/с.

Крім того, питому вентиляційну потужність можна визначити за допомогою наступної формули:

$$PSFP = \frac{\Delta P \cdot Q_v}{\eta_{tot}} \quad (1.3)$$

де: ΔP – повний тиск вентилятора, Па; η_{tot} – повний коефіцієнт корисної дії вентилятора та електропривода.

Питому вентиляційну потужність важливо враховувати при проектуванні для порівняння різних проектних рішень для всієї будівлі, окремих систем або вентиляторів та вибору оптимального рішення. Найнижчу категорію SFP (або максимальне значення питомої вентиляційної потужності) слід приймати відповідно до рисунку 1.4.

Застосування	Категорія SFP з розрахунку на вентилятор	
	Типовий діапазон	Типове значення
Припливний вентилятор: - система кондиціонування повітря;	SFP 1 - SFP 5	SFP 4
- система вентиляції без теплоутилізації	SFP 1 - SFP 4	SFP 3
Витяжний вентилятор: - система кондиціонування повітря або система вентиляції з теплоутилізацією;	SFP 1 - SFP 5	SFP 3
- система вентиляції без теплоутилізації	SFP 1 - SFP 4	SFP 2

Рис. 1.4 - Значення питомої вентиляційної потужності SFP [1]

Питома вентиляційна потужність визначається впливом втрат тиску, ефективності вентилятора і двигуна. З метою зменшення енергоспоживання важливо мінімізувати втрати тиску в окремих компонентах (секціях) відповідно до технічних характеристик системи. У випадку, якщо конкретна компонента (секція) має високий спад тиску, досягнення необхідної категорії SFP можна забезпечити шляхом зниження спаду тиску в інших компонентах.

Категорія SFP (Specific Fan Power) визначає питому вентиляційну потужність і грає ключову роль у вимірюванні ефективності вентиляційних систем та кондиціювання повітря в будівлях. Ця категорія вказує на кількість електроенергії, яку споживає вентилятор для переведення конкретного обсягу повітря в одиницю часу. Розглянемо деякі ключові аспекти теми категорії SFP:

Визначення категорії SFP:

- SFP вимірюється у ват-секундах на кубічний метр (Вт·с/м³).
- Величина SFP є показником енергоефективності вентиляційної системи:

$$SFP = (P + Q_v \cdot \Delta P) / Q_{\max} \cdot \eta_{\text{tot}} \quad (1.4)$$

де P - споживана потужність двигуна вентилятора, Q_v - продуктивність вентилятора по повітрю, ΔP - повний тиск вентилятора, $Q_{\max}$ - розрахункова витрата повітряного потоку.

Складові SFP:

- Повний тиск вентилятора (ΔP): Втрати тиску у всіх компонентах системи, включаючи фільтри, канали та інші елементи.
- Повний коефіцієнт корисної дії (η_{tot}): Ефективність вентилятора та його електродвигуна.

Зниження SFP:

- Зменшення втрат тиску в окремих секціях системи дозволяє

знизити значення SFP.

- Оптимізація дизайну та технічних параметрів сприяє підвищенню ефективності та зниженню споживання енергії.

Регулювання категорій SFP регламентовано ДБН В.2.5-67 та ДСТУ Б EN 13779, які встановлюють стандарти та вимоги для визначення категорій SFP у будівлях.

Категорія SFP використовується для порівняння різних проєктів та вибору оптимального рішення з точки зору енергоефективності.

Висновки до 1 розділу

Здійснений аналіз стану енергозбереження адміністративних будівель вказує на несумісність існуючих об'єктів із класом енергозбереження «С».

- Однією з ключових причин цього є ірраціональна витрата теплової енергії, яка вимагає негайної уваги та оптимізації.

Обґрунтована ефективність використання систем вентиляції, включаючи їхню роль як складову інженерних систем громадських будівель.

Визначено важливість правильної експлуатації та сучасних підходів до вентиляційних систем для забезпечення комфортних умов у приміщеннях.

Проведений аналіз нормативно-технічного та нормативно-правового середовища щодо використання та проектування вентиляційних систем.

Визначено вимоги до забезпечення комфортних умов у приміщеннях, що регулюються нормативами та стандартами.

Вдосконалення ефективності вентиляційних систем грає важливу роль у підтримці комфортного мікроклімату та раціонального використання енергії.

РОЗДІЛ 2

2 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ

2.1 Аналіз параметрів вентиляційних систем

Важну роль у покращенні умов праці, забезпеченні санітарно-гігієнічних норм та підвищенні ефективності охолоджуючих пристроїв охолоджувальних систем енергетичних установок виконують вентиляційні системи. Систему можна визначити як взаємопов'язану групу елементів чи об'єктів. Кожна система, будучи об'єктом, має вхідні параметри, що визначають її вплив на навколишнє середовище, та вихідні параметри, за якими проводять спостереження за системою або які характеризують вплив даної системи на навколишнє середовище. Вентиляція означає сукупність заходів та пристроїв для організації повітрообміну з метою забезпечення встановленого стану повітря в приміщеннях та на робочих місцях згідно з ДБН (Державні будівельні норми) [5].

Під терміном "вентиляційна система" розуміється комплекс будівельних елементів, апаратів та інших пристроїв, що взаємодіють через систему повітропроводів, утворюючи єдиний технологічний комплекс для обробки, транспортування, подачі та видалення повітря.

Системи вентиляції призначені для забезпечення у приміщеннях різних призначень допустимих метеорологічних параметрів.[5]

Навіть при різноманітті систем вентиляції, обумовленому функціональністю приміщень, характером технологічних процесів, видом виділень шкідливих речовин і т. ін., їх можна класифікувати згідно з такими характеристиками:

- за функціональністю (припливні та витяжні);
- за сферою застосування (місцеві та загальнообмінні);
- за способом переміщення повітря (природні та механічні);

- за конструктивними особливостями (канальні та безканальні).

За функціональністю

Припливні системи призначені для введення чистого повітря в вентилязовані приміщення, яке, при необхідності, може бути піддане спеціальній обробці, такій як очищення, нагрівання, зволоження і інші процеси.

Витяжні системи призначені для ефективного видалення забрудненого повітря з приміщень. Зазвичай в приміщеннях передбачаються як припливні, так і витяжні системи, і їхні потужності повинні бути взаємно согласовані. Іноді в приміщеннях використовують лише витяжну або лише припливну систему, де повітря надходить зовні або з сусідніх приміщень через відведені отвори або виводиться назовні або до сусідніх приміщень.

За областю застосування

Місцеві вентиляційні системи обслуговують обмежені ділянки приміщень. Ці системи, як правило, ефективні для визначених завдань, але не завжди вирішують всі проблеми вентиляції через різні характеристики виділення шкідливих речовин, розташування робочих місць та інші фактори. Для забезпечення вентиляції в цілому приміщенні або в значній його частині використовують загальнообмінні системи, що включають припливні та витяжні компоненти.

За способом руху повітря

Рух повітря в системах вентиляції може здійснюватися за допомогою природного тиску, який виникає через температурні різниці між зовнішнім повітрям і повітрям в приміщенні, або через вплив вітру на будівлю (природна вентиляція). Інший варіант - це використання механічної сили, зокрема вентиляторів, для створення тиску і переміщення повітря (механічна вентиляція).

За конструктивними особливостями

З точки зору конструкційних особливостей, вентиляційна система

може мати розгалужену мережу повітропроводів для переміщення повітря, або ж бути побудованою без використання каналів, наприклад, коли вентилятор встановлено безпосередньо в стіні, перекритті та інших місцях.[3]

2.2 Припливно-витяжна вентиляція з рекуперацією

Забезпечення комфортних умов у будівлях є ключовим аспектом людського життя, а вентиляційні системи відіграють важливу роль у цьому процесі. Без ефективних систем вентиляції громадських та виробничих об'єктів неможлива повноцінна їхність. Однією з інноваційних технологій в цьому контексті є децентралізована система вентиляції для всього будинку.

Така система може забезпечити рівномірний та контрольований обмін повітря у всьому будинку, включаючи силові вентилятори, спеціальні канали, фільтри та арматуру. Створення оптимального мікроклімату в приміщеннях можливе завдяки раціональним вентиляційним системам, які використовують високоефективні технічні рішення.

У той же час важливо враховувати, що забезпечення необхідних мікрокліматичних умов є великим споживачем енергії. Багато теплової енергії витрачається у процесах, які відбуваються у будинках, і це тепло часто може бути використане повторно, оптимізуючи вентиляційні процеси. В зростаючих умовах цін на енергію пошук шляхів енергозбереження стає першочерговим завданням для максимізації продуктивності за мінімальні витрати паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР).

Доцільно звернути увагу на економію тепла і у вентиляційній системі, котра забезпечується за допомогою пристроїв рекуперації. Технологією утилізації енергії, найбільш підготовленої для практичної

реалізації забезпечення комунально-побутових потреб населення, є застосування пристроїв рекуперації. Найбільш ефективними рішеннями є установка систем рекуперації тепла витяжного повітря.

Припливно-витяжні установки з рекуператорами спрямовані на те, щоб у приміщенні завжди було свіже, чисте повітря і при цьому здійснювалося енергозбереження. Таке обладнання може утримувати до 70% теплової енергії яка прагне вийти назовні і при цьому контролювати вологість повітря в системі.

Рекуператори – припливно-витяжні установки, в яких встановлений теплообмінник поверхневого типу, де теплообмін між повітрям з приміщення і повітрям з вулиці здійснюється безперервно через стінку, що розділяє їх, при цьому не змішуючись.

У сучасних системах вентиляції найчастіше використовують пластинчасті рекуператори, роторні рекуператори, водяні рециркуляційні рекуператори.

На основі аналізу існуючих видів рекуператорів, найкращим серед розглянутих видів є пластинчасті рекуператори, оскільки вони відрізняються простотою конструкції та обслуговування і дешевизною.[4].

У контексті євроінтеграції в Україні проводиться процес узгодження будівельних норм зі стандартами ЄС, що призвело до прийняття ряду нових стандартів [16, 17 та ін.]. Проведений аналіз ринку систем кондиціонування повітря та вентиляційного обладнання підтвердив, що у сучасний період основними видами таких систем є:

1. Центральна система кондиціонування повітря;
2. Система чилер-фанкойл із центральною припливною установкою;
3. Система прямого розширення холодоагенту в повітроохолоджувачі (DX) із змінним потоком холодоагента та припливно-витяжною установкою з теплоутилізацією, що включає як теплоутилізатор з утилізацією явної теплоти (HRV), так і теплоутилізатор [18] із повною утилізацією теплоти та вологи (ERV);

4. Спліт-системи та природна вентиляція приміщень.

2.2.1 Пластинчасті рекуператори

Пластинчасті рекуператори функціонують так, що припливне та витяжне повітря проходять через обидва боки пластинного блоку. У такому випадку ефективно усунута пряма взаємодія між припливним та витяжним потоками повітря.

Важливо оснастити ці рекуператори системами відведення конденсату, оскільки ймовірне утворення конденсату на поверхнях пластин. Випадання конденсату може викликати утворення льоду, тому необхідно встановлювати систему розморожування [22].

Регулювання процесу теплообміну в пластинчастому рекуператорі може проводитися за допомогою перепускного клапана, який контролює витрати повітря, що протікають через рекуператор. Цей тип рекуператора позначається відсутністю рухомих частин.

У літній період його використання може знизити потребу у кондиціонері або зменшити витрати електроенергії на 2-5 разів під час його функціонування. Взимку це значно зменшить енерговитрати на опалення приміщень. Температурний режим повітря в рекуператорі представлено на рис. 2.1.

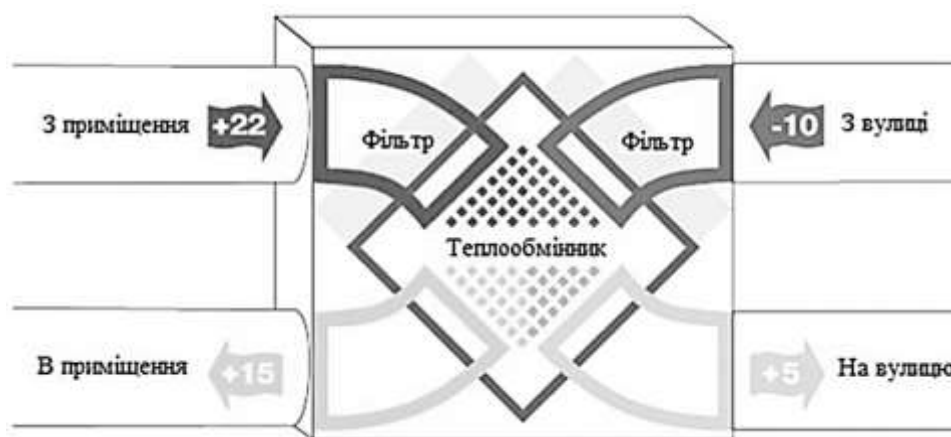


Рисунок 2.1 – Температурний режим та напрям руху повітря у

рекуператорі.

Теплообмін в рекуператорі здійснюється безперервно через стінку, що відокремлює теплоносії. Найбільш вживаними матеріалами для пластинчастих рекуператорів є алюміній, пластик, нержавіюча сталь та папір. Схему ефективності використання рекуперації показано на рисунку 2.2.

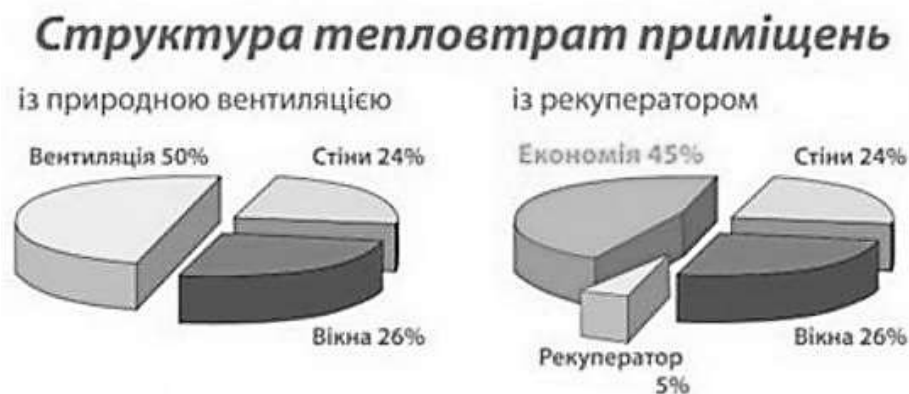


Рисунок 2.2 – Використання рекуперації

2.2.2 Роторні рекуператори

У роторних рекуператорах відбувається повний обмін температур між двома потоками повітря. Теплообмін здійснюється за допомогою безперервного обертання ротора між витяжним та припливним каналами. Зазначимо, що у таких рекуператорах може виникати проблема, пов'язана із переміщенням запахів і забруднювачів, які виділяються людьми, меблями та будівельними матеріалами, в потік припливного повітря. Адекватне розташування вентиляторів вирішує цю проблему.

Рівень теплової рекуперації може бути регульований швидкістю обертання ротора.

Важливо відзначити, що роторні рекуператори містять рухомі частини. [19] Принцип роботи роторного рекуператора показано на рисунку 2.3.

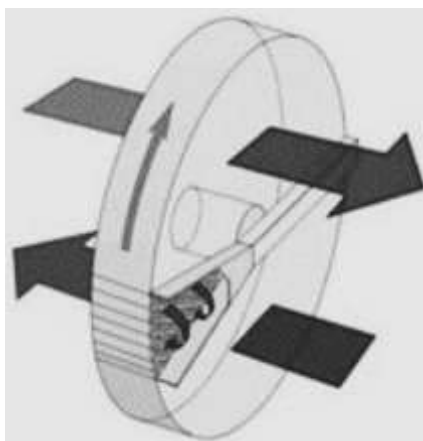


Рисунок 2.3 – Принцип дії роторного рекуператора

Для забезпечення оптимального мікроклімату рекомендується встановлення припливно-витяжної системи із роторним рекуператором.

Роторні регенеративні теплообмінники зворотного отримання тепла ефективно передають тепло та частково вологість. Процес передачі тепла та вологості відбувається на роторі, який входить однією частиною в потік гарячого витяжного повітря і іншою – в потік припливного повітря. При обертанні ротора, теплообмінна поверхня теплообмінника чергується між потоками витяжного і припливного повітря, забезпечуючи ефективний обмін тепла і вологості.

Роторні теплообмінники зворотного отримання тепла визначаються своєю конструкцією як надзвичайно ефективні, демонструючи високий коефіцієнт корисної дії (ККД).

У температурному режимі ККД може досягати 80%, а вологісному – 70%. Застосування роторних регенеративних теплообмінників включає їхнє використання у вентиляційних системах для подачі та видалення повітря.

Ротаційні регенеративні теплообмінники оптимально працюють в діапазоні витрат повітря від 300 м³/год до 80 000 м³/год.

Стандартні умови передбачають швидкість потоку повітря в межах

2-4 м/с та температуру повітря від -20°C до $+55^{\circ}\text{C}$.

Потужність електродвигуна залежить від розмірів ротора і коливається від 90 Вт до 750 Вт.[27]

Головною перевагою роторних регенеративних теплообмінників є зниження опалювальних витрат. Це відбувається завдяки зменшенню споживання теплової енергії та експлуатаційних витрат, пов'язаних із зволоженням повітря, що в цій системі передбачено. Результатом є зменшення витрат електроенергії на зволоження і, відповідно, на охолодження, що призводить до зменшення розмірів та витрат на системи охолодження.[18]

Ще однією важливою перевагою рекуперативних теплообмінників є їхній позитивний вплив на збереження довкілля, зменшуючи рівень забруднення.

Отже, загальні переваги можна узагальнити наступним чином:

- Здатність переносити вологість, зменшуючи потребу в додатковому зволоженні повітря, особливо взимку.
- Компактні габарити в плані, приблизно 450 мм (що є значно меншими, ніж у пластинчастих теплообмінниках).
- Зменшена ймовірність замерзання, відмінності від пластинчастих теплообмінників.
- Скорочений термін окупності інвестицій порівняно з пластинчастим теплообмінником.

З метою створення оптимального мікроклімату в адміністративно-побутових приміщеннях найбільш ефективними є комбіновані системи опалення та вентиляції.

2.2.3 Система кондиціювання повітря з центральним модулем

Система кондиціювання повітря з центральним модулем має модульну організацію та включає в себе центральний кондиціонер, секції

охолодження/нагріву повітря, а також систему контролю та розгалужені канали, що направляються до відповідних приміщень.

Зазвичай в центральних кондиціонерах, які не мають системи регулювання об'єму повітря, холодне або тепле повітря, яке виділяється під постійним тиском та сталої кількості, поширюється через розгалужені канали, забезпечуючи охолодження або обігрів кожного приміщення. У випадку, наприклад, коли обсяг повітря для певного приміщення зменшується шторкою для зниження температури під час нагріву, обсяг повітря, що розподіляється в інші кімнати, збільшується, забезпечуючи зміну температури в інших приміщеннях.

Центральні кондиціонери, відмінно від побутових, призначені для обслуговування великих приміщень, таких як стадіони, театри, кінозали, виробничі цехи і інші.

Система кондиціювання повітря, відома як "чилер-фанкойл", є професійною системою, спроектованою для створення і підтримки комфортного мікроклімату всередині будівлі. У цій системі використовується особлива незамерзаюча рідина замість стандартного газового холодоагента. Охолодження пристрою забезпечується холодильною установкою, спроектованою для підтримки необхідного температурного режиму рідини.

2.2.4 Чилер-фанкойл

Система "чилер-фанкойл" дозволяє незалежно регулювати температури в кількох приміщеннях одночасно. Декілька фанкойлів можна підключити до одного чилера, а також до системи припливної вентиляції та теплообмінників центрального кондиціонера.

Відмінності від загальної вентиляційної системи полягають в тому, що можна регулювати роботу загального теплового режиму всієї системи

та роботу кожного фанкойлу з виносного пульта управління.

Поступово можна підключати споживачів по етапах, що дозволяє частково вводити об'єкт в експлуатацію. Відстань між чиллером і фанкойлом не обмежується і визначається можливостями насосної станції і теплоізоляцією трубопроводів.

У більш складних системах вентиляції використовуються припливно-витяжні вентиляційні установки (центральні кондиціонери) з очищенням, зволоженням і рекуперацією повітря. Фанкойли регулюють температуру повітря за допомогою корекції обсягу повітря або води, використовуючи частоту обертання вентилятора або клапан з приводом. Загальний принцип роботи полягає в тому, що повітря потрапляє в теплообмінник, де його нагрівають або охолоджують до потрібної температури, після чого воно подається в приміщення. На рис.2.4 зображена принципова схема системи «чилер – фанкойл»



Рисунок 2.4 - Принципова схема функціонування системи "чилер – фанкойл"

Теплообмінники з мікроканалами і захисним покриттям використовуються як конденсатори для чилерів, підвищуючи ефективність і, в той самий час, зменшуючи обсяг холодоагенту та масу конденсаторного блоку. Чилери з робочою продуктивністю від 350 до 1400

кВт використовують холодоагент R134a. Ці агрегати побудовані на основі напівгерметичних двовинтових компресорів з вбудованим відокремлювачем масла, спеціально оптимізованими для роботи при високому тиску.

У теплообмінниках реалізовано прямий прохід холодоагента, а внутрішнє рифлення труб допомагає підвищити ефективність теплообміну між водою і холодоагентом.

Переваги системи опалення "чилер-фанкойл" перед традиційною системою опалення включають можливість швидкого прогрівання приміщення за допомогою роботи вентилятора з максимальною швидкістю обертання двигуна. Це забезпечує ефективне і швидке перемішування повітря в приміщенні, створюючи рівномірне поле температур і сприяючи тепловому комфорту. Крім того, система дозволяє швидко охолоджувати приміщення при відключенні, що забезпечує високу гнучкість регулювання порівняно з традиційними системами опалення.

Опалення приміщень в неробочі години може здійснюватися в режимі природної конвекції. Помітними перевагами є також низькі витрати електроенергії, які компенсуються за рахунок більш гнучкого регулювання теплової потужності, відсутності перегріву в перехідний період і ефективного використання теплоти для опалення приміщень.

Сучасні чиллери можна класифікувати за різними ознаками [10]. По першому критерію - типу охолодження конденсатора, вони поділяються на чиллери з водяним і повітряним охолодженням. У випадку повітряного охолодження конденсатор обдувається потоком повітря від вентилятора, а при водяному охолодженні використовується проточна вода. Використання проточної води або установки градирень дозволяє значно зменшити розміри і вартість чилера.

Щодо другого критерію - наявності режиму обігріву, чилери поділяються на ті, що працюють з тепловим насосом (реверсивні), і ті, що працюють без нього. Моделі з тепловим насосом мають можливість як

охолоджувати, так і нагрівати теплоносії.

Третій критерій - конструктивне виконання - розподіляє чилери на ті, що мають вбудований або з виносним конденсатором. Чилери з повітряним охолодженням можуть бути моноблочними (з вбудованим конденсатором) або без конденсатора. В першому випадку чилер є автономною холодильною машиною, до якої підключають трубопроводи від насосної станції, а в другому конденсатор виконується у вигляді окремого блоку, що дозволяє розміщувати чилер всередині приміщення, а конденсатор виносити на дах.

Важливим напрямком для підвищення ефективності теплопостачання і скорочення споживання газу є використання систем опалення "чилер-фанкойл". На жаль, на сьогодні ця система не є широко поширеною в Україні і в основному використовується на великих громадських об'єктах, таких як торгові центри, кінотеатри і т.п.

2.2.5 Система вентиляції з рекуперацією енергії

Система вентиляції з рекуперацією енергії використовує ентальпійний теплообмінник повітря-повітря (ERV), що передає тепло та вологу від усталеного відпрацьованого повітря до свіжого всмоктуваного повітря. Це ефективне та збалансоване вентиляційне рішення, яке видаляє зайву вологу, запахи та забруднення, зберігаючи енергію та підвищуючи комфорт у приміщенні. ERV системи дозволяють передавати вологу від витяжного, зволоженого повітря до припливного (сухого) за допомогою мембрани, що покриває пластину рекуператора. Змішування потоків в рекуператорі не відбувається, оскільки волога передається через мембрану за допомогою дифузії. Пластина рекуператора, подібна до губки, забезпечує передачу вологи з потоку в потік, не випадаючи у конденсат. Цей механізм підвищує ККД системи, передаючи приховане тепло витяжного повітря.

2.2.6 Кліматичні спліт-системи

Кліматичні спліт-системи представляють собою ефективний метод кондиціювання повітря. Ця технологія передбачає використання розділеної системи, де компресорні та конденсаторні блоки встановлюються окремо від випарника, зазвичай на зовнішній частині приміщення.

Таким чином, це централізоване кондиціонерне обладнання, яке вирізняється ефективністю та низьким рівнем шуму, забезпечуючи при цьому належну обробку повітря в кожному окремому приміщенні.

Зміна обсягу подачі повітря в кожному приміщенні не впливає на процес охолодження чи обігріву кожної кімнати, оскільки керування цими параметрами здійснюється незалежно.

Важливим плюсом є низьке споживання енергії та мінімізація шуму пристрою. На рис. 2.5 можна побачити схему спліт-системи.



Рис.2.5 – Схема спліт-системи

Переваги спліт-системи:

1. Спліт-система забезпечує точне налаштування мікроклімату у приміщенні, враховуючи навіть найвибагливіші потреби користувачів. Постійно вдосконалюються системи зміни параметрів спліт-кондиціонерів, що дозволяє легко коригувати їх без спеціальної підготовки персоналу.

2. Однією з ключових переваг кондиціонерів типу спліт-система є відокремлення зовнішнього блоку, який є найбільшим і гучним елементом, від внутрішнього блоку. Внутрішній блок не обмежений вимогами щодо місця установки, що дозволяє розміщати його з урахуванням найменшого дискомфорту для користувачів.

3. Спліт-системи забезпечують можливість не лише охолодження приміщення влітку, але й обігріву в зимовий період при невеликих морозах. Такий дует функцій гарантує комфортні умови протягом усього

року.

2.3 Основні вимоги до системи вентиляції

При визначенні оптимальної системи кліматизації проектувальники керуються різнобічними критеріями, які відображають потреби та пріоритети замовника. Важливо враховувати, що критерії вибору для інвесторів, які будують об'єкти для продажу або оренди, можуть відрізнятися від вимог фахівців, що розробляють проекти будівель. Інвестори, які прагнуть до швидкості будівництва та максимальної надійності конструкцій, можуть пріоритетно ставити ці аспекти. Проте, з економічної точки зору, це часто веде до відмови від високих стандартів якості повітря, які, за думкою експертів, є необхідними.

Вибір системи кліматизації в будівлі повинен ґрунтуватися на ретельно розглянутому технічному завданні, що включає конкретні вимоги до мікроклімату (теплова комфортність, мінімальна кількість зовнішнього повітря та циркуляція повітря, рівень шуму та інші параметри). Важливо враховувати прагнення до довговічності системи, оцінювати майбутні витрати на обслуговування та експлуатацію. Також слід враховувати естетичні вимоги дизайнера, замовника та користувача.

Деякі критерії вибору типу системи є критичними, їх відповідність визначається "так" чи "ні": система може або не може відповідати цим ключовим вимогам. Система, що не відповідає критичним критеріям, не розглядається в проекті, за винятком випадків, коли замовник настоює на її включенні. Ось деякі з цих ключових критеріїв.

Один з основних аспектів при виборі системи - це взаєморозуміння між замовником і проектувальником з приводу функціональності системи. Навіть якщо система виявляється якісною з інших поглядів, вона повинна відповідати вимогам функціональності. Проте проектувальник може

переконати замовника, що змінивши свої вимоги, він зможе отримати більший ефект від запропонованого рішення.

Вимоги до продуктивності систем стають важливими факторами при виборі, особливо при відомих параметрах будівлі. Температура зовнішнього повітря, інтенсивність сонячної радіації і технологічні навантаження, як правило, внутрішні теплові та газові виділення, визначаються тими, хто вирішує проектні завдання. Неправильний вибір цих факторів може призвести до непрацездатності систем кондиціонування або надмірного резерву потужності.

Рекомендована система повинна розташовуватися в області будівлі, призначеної для неї. Незалежно від надійності, ефективності та низької шумової активності системи, вона стає непридатною, якщо відсутнє відведене місце для її розташування.

Початкові капітальні вкладення включають вартість системи, а також вплив на витрати електроенергії, займану площу, будівельні роботи та огорожі, а також можливість подальшого перепланування чи встановлення додаткового обладнання. Термін служби системи також пов'язаний з капітальними витратами.

Основна увага приділяється витратам на енергію, яка зазвичай є основною складовою експлуатаційних витрат. Використання "безкоштовного" холоду взимку, утилізація тепла для вентиляції, рівень пікового навантаження через акумулятори тепла впливають на витрати електроенергії. Чи потрібний системі періодичний нагляд чи постійний обслуговуючий персонал? Яка вартість технічного обслуговування та ремонту в порівнянні? Для систем з водяним охолодженням важливим є розгляд витрат на воду, хімічну підготовку та водовідведення.

Оскільки не існує універсально оптимальної системи для кожного проекту, також немає одного правильного методу для представлення результатів вибору систем. Один із способів зведення значної кількості інформації в короткий формат - використання конденсованої таблиці. У

простих проектах для прийняття рішення може бути достатньо таблиці з грубими оцінками (добре, краще, дуже добре) і прилученого документа для замовника. Така таблиця містить інформацію про розглянуті системи, їх переваги та недоліки для конкретного проекту за параметрами, такими як комфорт, розташування, капітальні та експлуатаційні витрати.

2.4 Вибір вентиляційних та кондиціонувальних систем

Відсутність єдиної оптимальної системи є характерною як для різних типів проектів, так і для конкретних проектів. Деякі системи підходять для конкретного проекту, тоді як інші - ні. Мета вибору полягає у відсіюванні непридатних варіантів, а потім у порівнянні переваг працюючих систем.

Система охолодження повинна виводити тепло з приміщень відповідно до теплових навантажень, а система опалення повинна забезпечувати обігрів відповідно до тепловтрат. Це стосується як будівлі в цілому, так і кожного окремого приміщення. Проектувальник повинен розрахувати пікові навантаження для кожного приміщення та кожної системи, уникаючи використання наближених значень питомих показників, виведених з практики. Також слід зазначити, що потужність установки не може бути меншою за розрахункову.

При виборі схем кондиціонування повітря важливо враховувати нерівномірність розподілу теплових навантажень в приміщеннях, що обслуговуються, виражену градієнтом теплового навантаження. Його значення визначається співвідношенням відносного теплового навантаження окремих приміщень q_i до середньої розрахункової по всій площі будівлі, обслуговується кондиціонуванням повітря q_{cp} :

$$D_q = q_i / q_{cp} \quad (2.1)$$

Що більше відхилення градієнтів від 1, тим більше регулюючих можливостей повинна мати система кондиціювання повітря.

Зональне регулювання пікових навантажень тривають всього кілька годин на рік, і вони можуть виникати в різні часи доби або місяці для приміщень, розташованих на різних сторонах будівлі. Внутрішні зони потребують постійного охолодження протягом усього року, незалежно від зовнішніх параметрів повітря.[27].

Для забезпечення постійної підтримки заданої температури у кожному приміщенні система повинна мати необхідну продуктивність відповідно до графіка. Це означає, що повинна бути можливість регулювання продуктивності системи для кожного приміщення (або групи приміщень) незалежно від інших.

Різні типи систем використовують різні методи регулювання продуктивності, які можуть впливати на розмір систем та експлуатаційні витрати.

Система опалення повинна компенсувати тепловтрати через зовнішні стіни та дах, а також забезпечувати нагрівання введеного в будівлю зовнішнього повітря (через вентиляцію) або потрапляння внутрішнього повітря через нещільності (інфільтрація). Подача тепла внутрішній зоні не повинна компенсувати тепловтрати через вікна в приміщеннях периметральної зони.

Для забезпечення комфортних умов в холодний період року система опалення також повинна захищати людей від холодних потоків повітря від вікон і зовнішніх стін з недостатньою теплоізоляцією.

Системам вентиляції необхідно забезпечити свіжим, очищеним повітрям осіб, що перебувають у приміщенні. Загалом обсяг вентиляційного повітря повинен відповідати встановленим рекомендаціям і стандартам.

Вимоги до вентиляційної системи передбачають зниження концентрації різних забруднень повітря до безпечного рівня. Головним

чином це стосується біологічних забруднень, що виникають внаслідок присутності людей, тому багато вимог до вентиляції виражені у величині припливного повітря в м³/год на особу.[27]

Однак у приміщеннях можуть існувати інші джерела шкідливих викидів: копіювальне обладнання, факси, лазерні принтери, килими, декоративні матеріали і навіть меблі.

Вирішення має відповідати виділеному для неї простору. Для окремих систем критичними можуть стати різні аспекти, такі як висота поверху чи зазор між обладнанням та стелею.

Розміщення також враховує інші фактори, такі як наявність простору для прокладання повітроводів, машинні зали чи компактні кімнати. Вторгнення у приміщення може бути фізичним, наприклад, під час встановлення фанкойлів, чи акустичним, вираженим у шумі від обладнання під стелею або в сусідній кімнаті, - що важливо як для багатьох клієнтів, так і для більшості архітекторів.[29]

Візуальне вторгнення також може виникнути, і якщо неможливо зробити систему непомітною, вона повинна гармонізувати з дизайном інтер'єру.

Стандарти та нормативи є обов'язковими для врахування проєктувальниками, які розробляють системи. Зокрема, важливо відповідати чинним стандартам та нормативам під час розробки системи, а також отримати будівельний дозвіл, що передбачає проходження проєкту через органи нагляду. Проєктувальники пропонують альтернативні рішення, які потребують узгодження з наглядовими органами. Розумно обговорити ці питання перед офіційним поданням на узгодження та, зрозуміло, до початку будівництва. У зв'язку з цим важливо, щоб проєктувальник був ознайомлений з усіма наглядовими органами, що мають відповідні юридичні повноваження, та міг вирішувати спірні питання на всіх рівнях, де треба дозвіл.

2.5 Методи обчислення вентиляції в приміщеннях

Для визначення продуктивності системи вентиляції необхідно провести розрахунки повітрообміну. Величина повітрообміну залежить від різних факторів, таких як кратність повітрообміну, видалення вологи, наявність зайвих тепловиділень, наявність шкідливих речовин та інші.

У 2004 році була випущена оновлена версія Стандарту ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2004 "Вентиляція для прийнятної якості повітря в приміщеннях", розроблена Американським національним інститутом стандартів (ANSI) та Американським товариством інженерів з опалення, охолодження та кондиціювання повітря (ASHRAE). Внесені зміни та доповнення спрямовані на вдосконалення рекомендацій з розрахунку кількості зовнішнього повітря та методик досягнення прийнятної якості повітря всередині приміщення. Це включає визначення та зміну питомих норм повітрообміну та методів, що ґрунтуються на розрахунку припустимих концентрацій забруднюючих речовин.

Внесені зміни та доповнення в розрахунки, особливо при використанні мультизональних систем, ускладнили завдання інженерів щодо визначення необхідного обсягу зовнішнього повітря. Раніше для цього використовувались стандартні значення, такі як 8,6 м³/год, 17,3 м³/год або 25,6 м³/год, у відповідності до санітарних норм, множені на кількість проживаючих осіб. Однак стало очевидно, що такий спрощений підхід не гарантує необхідної якості повітря усередині приміщень.

Комітет ASHRAE при розробці Стандарту 62.1-2004 виніс зміни, відповідно до яких витрата зовнішнього повітря повинна бути визначена як сума окремих потоків повітря, необхідних для врахування тепла, вологи та забруднюючих речовин, що надходять в приміщення від людей, матеріалів та технологічних процесів.

Згідно з цим, рекомендується визначати загальний обсяг зовнішнього

повітря, складаючи санітарну норму свіжого повітря для 1 особи (27 м³/год) та норму подачі повітря на кожні 100 м² площі приміщення (36 м³/год). Це дозволяє адаптувати обсяг повітрообміну в приміщеннях відповідно до їхнього розміру та кількості присутніх осіб.

Якість внутрішнього повітря визначається численними факторами, такими як якість зовнішнього повітря, конструктивні особливості вентиляційних систем, їх управління та технічне обслуговування, а також присутність джерел забруднення та їх потужність. Стандарт ASHRAE 62.1-2004 встановлює вимоги до проектування вентиляційних систем з урахуванням цих факторів, щоб забезпечити прийнятний рівень якості повітря в приміщеннях.

У внутрішньому повітрі не повинно бути забруднюючих речовин у концентраціях, що перевищують гранично допустимі значення і можуть впливати на здоров'я або викликати дискомфорт. Серед таких забруднень варто виділити гази, пари, аерозолі, мікроорганізми, тютюновий дим, антропотоксини, радіонукліди та подразники, що викликають алергічні реакції і неприємні запахи. Ці речовини можуть потрапляти в приміщення зовнішнім повітрям або виходити внаслідок виділення від технологічних процесів, будівельних матеріалів, обробки повітря в системах кондиціонування, а також інших джерел у самому приміщенні.

Стандарт ASHRAE 62.1-2004 пропонує методи визначення необхідного обсягу зовнішнього повітря, враховуючи питомі норми повітрообміну та допустимі концентрації забруднюючих речовин. Для кожного приміщення визначається обсяг подавання повітря, зазвичай розраховуваний за стандартом ДБН В.2.5-67:2013. Згідно з цим стандартом, у приміщеннях без природного провітрювання (де вікна не відчиняються), витрата повітря повинна бути не менше 60 м³/год на особу. Для спалень іноді використовують менше значення - 30 м³/год на особу, оскільки в стані сну людина споживає менше кисню. Розрахунок враховує лише тих, хто тривалий час перебуває в приміщенні.

Після визначення обсягу повітрообміну за стандартом ДБН В.2.5-67:2013, відповідно до кількості осіб, необхідно розрахувати повітрообмін враховуючи його кратність - параметр, який вказує, скільки разів повітря в приміщенні повністю замінюється протягом однієї години. Для забезпечення нормальних умов необхідно, щоб принаймні один повітрообмін відбувався протягом цього періоду.

Іншими словами, для визначення необхідного обсягу повітря ми повинні враховувати два значення повітрообміну: за кількістю осіб і за його кратністю, а потім вибрати більше з отриманих значень. [32].

Розрахунок нормативного повітрообміну за кількістю людей в приміщенні:

$$L = n_o * L_n, \quad (2.1)$$

де L – мінімальна продуктивність припливної вентиляції, м³/год; n_o – кількість людей, що постійно перебувають в приміщенні;

L_n – норма витрати повітря на 1 людину в стані спокою – 30 м³/год;

L_n – норма витрати повітря на 1 людину типового значення – 60 м³/год

Розрахунок повітрообміну за кратністю повітрообміну в приміщенні:

$$L = n^{-1} * A_{\text{пр}} * H_{\text{пр}}, \quad (2.2)$$

L – мінімально допустима продуктивність припливної вентиляції, м³/год; $A_{\text{пр}}$ – площа приміщення, м²; $H_{\text{пр}}$ – висота приміщення, м;

n^{-1} – нормована кратність повітрообміну:

Для приміщень з висотою стелі 6 метрів і більше рекомендується використовувати стандартну кратність, рівну 6.

Розрахунок повітрообміну за надлишковою теплотою виконується наступним чином:

$$L = \frac{3.6 \sum Q_{\text{надл}}}{c * \rho * (t_{\text{вих}} - t_{\text{вх}})},$$

(2.3)

де $\sum Q_{\text{надл}}$ – надлишок явної теплоти в приміщенні, Вт; C – теплоємність повітря, $c=1,005$ кДж/(кгС); ρ – щільність повітря, $\rho = 1,2$ кг, м³; $t_{\text{вих}}$ – температура вихідного повітря з приміщення за межами зони, що обслуговується, або робочої зони, °С; $t_{\text{вх}}$ – температура вхідного повітря.

Розрахунок повітрообміну за умови надлишку вологи в повітрі приміщення:

$$L = \frac{M}{\rho \cdot (d_{\text{вих}} - d_{\text{вх}})}, \quad (2.4)$$

M – надлишок вологого повітря у приміщенні, г/год;

ρ – щільність повітря при температурі 20°С, $\rho = 1,2$ кг, м³;

$d_{\text{вих}}$ – вологовміст повітря, який видаляється з робочої зони приміщення, г/кг;

$d_{\text{вх}}$ – вологовміст зовнішнього повітря, г/кг.

2.6 Розрахунок обміну повітря за масою викидів шкідливих речовин

Шкідливі речовини, які піддаються асиміляції вентиляційними системами, включають газоподібні забруднювачі, що виділяються при диханні та через шкіру (аміак, сірководень, ацетон і ін.), а також хімічні розчинники, що виділяються меблями та оздоблювальними матеріалами у приміщенні. Концентрація кисню та вуглекислого газу у повітрі впливає на фізіологічні показники дихання, зокрема, концентрація кисню зменшується при вдиханні та збільшується вуглекислого газу. Ці зміни пов'язані з метаболічними процесами в організмі людини. Концентрація вуглекислого газу слугує індикатором якості повітря.

Інші виділення шкідливих газів в приміщеннях (фенолформальдегід, ацетон, аміак тощо), які виділяються від меблів та оздоблювальних

матеріалів, можуть бути перетворені в еквіваленти вуглекислого газу. Забруднюючі речовини від меблів асимілюються повітрообміном, розрахованим за концентрацією CO_2 . Фонова кратність обміну повітря від 0,1 до 0,2 год^{-1} зазвичай є достатньою для асиміляції викидів від меблів та оздоблювальних матеріалів при відсутності людей в приміщенні.

Класифікація "Параметри мікроклімату в приміщеннях" визначає чотири рівні якості повітря у приміщенні, що залежать від рівня вуглекислого газу:

- 1-й клас (оптимальний мікроклімат, висока якість) - концентрація вуглекислого газу не перевищує $400 \text{ см}^3/\text{м}^3$;
- 2-й клас (оптимальний мікроклімат, середня якість) - концентрація вуглекислого газу від 401 до $600 \text{ см}^3/\text{м}^3$;
- 3-й клас (допустимий мікроклімат, допустима якість) - концентрація вуглекислого газу від 601 до $1\,000 \text{ см}^3/\text{м}^3$;
- 4-й клас - неприпустимо висока концентрація вуглекислого газу, низька якість повітря - понад $1\,000 \text{ см}^3/\text{м}^3$.

Інформація щодо рівня вуглекислого газу в зовнішньому повітрі збирається метеостанціями, і середньорічні значення концентрації відповідно до [37] наведено нижче:

- сільська місцевість - $350 \text{ см}^3/\text{м}^3$;
- малі міста - $375 \text{ см}^3/\text{м}^3$;
- забруднений центр великого міста - $400 \text{ см}^3/\text{м}^3$.

Зазначено, що вентиляція повинна рівномірно розподіляти повітря у приміщенні, забезпечуючи однаковий рівень шкідливих речовин, включаючи вуглекислий газ, у всіх точках приміщення (рис. 2.4). Зазвичай, вентиляційні системи, які забезпечують змішання повітря, мають високу кратність обміну повітря, що не менше 3 год^{-1} .

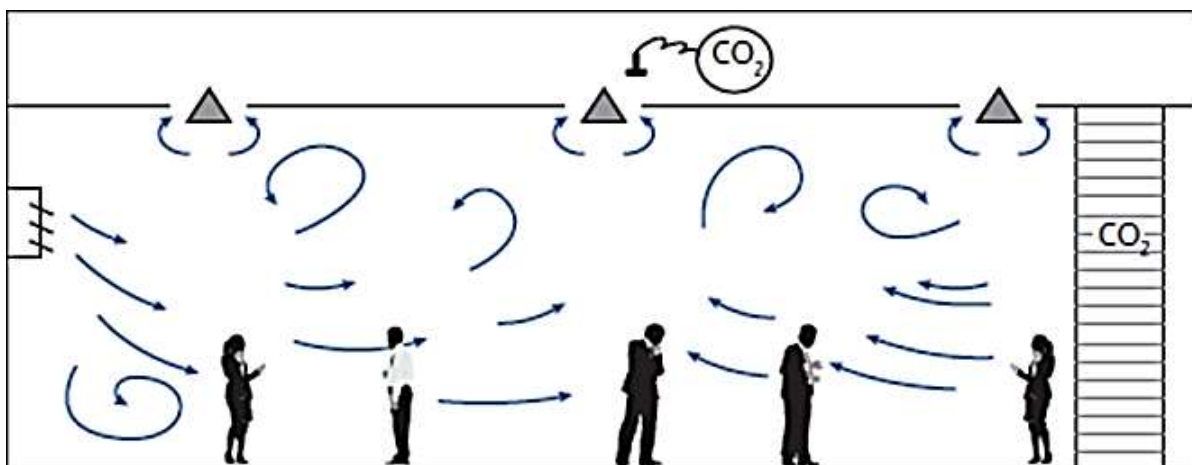


Рисунок 2.4 – Характер розподілення вуглекислого газу при перемішувальній вентиляції.

До категорії вентиляційних систем з перемішуванням належать вентиляційні системи із рециркуляцією повітря, а також системи вентиляції, які інтегруються з вентиляторами, що використовуються в системах кондиціонування повітря, таких як спліт-системи і фанкойли.

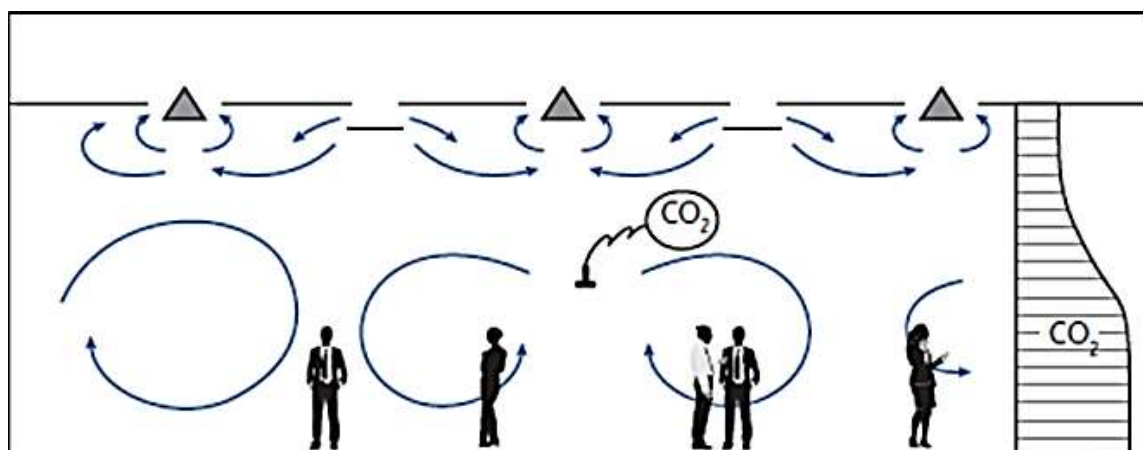


Рисунок 2.5 – Характер розподілення вуглекислого газу при короткозамкнутій вентиляції

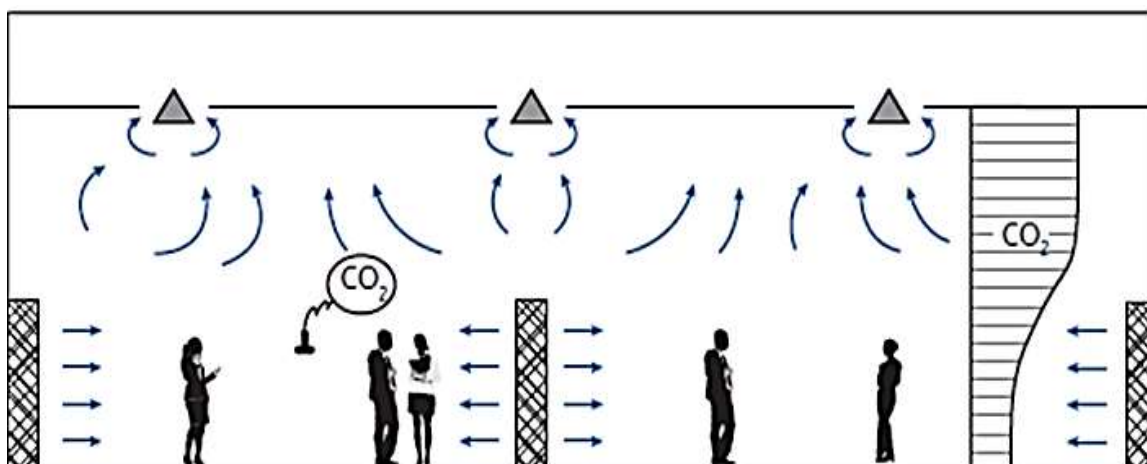


Рисунок 2.6 – Характер розподілення вуглекислого газу при витісняючій вентиляції

У багатьох адміністративних та офісних будівлях для створення систем розподілу повітря часто використовують підвісні стелі, де розташовані як припливні, так і витяжні пристрої. Зазвичай, у традиційних рішеннях кратність повітрообміну в цьому випадку не перевищує 1,0-1,5 год⁻¹.

У деяких випадках при ізотермічній вентиляції або при невеликому підігріві припливного повітря значна частина свіжого повітря може бути засмоктана витяжними решітками по короткій траєкторії, утворюючи так зване явище короткозамкненої циркуляції (рис. 2.5).

У такому випадку вуглекислий газ, від людей, накопичується в обслуговуваній зоні, і його концентрація виявляється значно вищою, ніж в повітрі, що відводиться. Це приклад неефективної організації вентиляційної системи. Важливо відзначити, що молекулярна маса вуглекислого газу перевищує масу повітря більше ніж в 1,5 рази, тому при слабкому потоці він може залишатися в нижній частині приміщень.

Необхідна кількість повітря, що необхідно видаляти з приміщення

знаходиться за формулою:

$$L = \frac{m_t}{(q_{\text{вих}} - q_{\text{вх}})}, \quad (2.5)$$

де m_t – обсяг видалення кожної зі шкідливих і потенційно вибухонебезпечних речовин з приміщення [31];

$q_{\text{вих}}$ – концентрація забруднюючих та вибухонебезпечних речовин у повітрі, яке виводиться за межі зони, обслуговуваної абсорбційною зоною, виражена у мг/м³;

$q_{\text{вх}}$ – концентрація шкідливих та вибухонебезпечних речовин у витяжному повітрі, виражена у мг/м³. [31]

Розрахунок розподілу концентрації вуглекислого газу в приміщеннях може бути визначений досить точно, але у більшості випадків завдання моделювання теплового режиму та обміну повітрям реалізуються лише для унікальних об'єктів [38].

На рис. 2.7 представлено приблизну картину розподілу концентрації вуглекислого газу при вентиляції за принципом витісняючого потоку (а) та в зоні впливу припливної струменевої вентиляції (б).

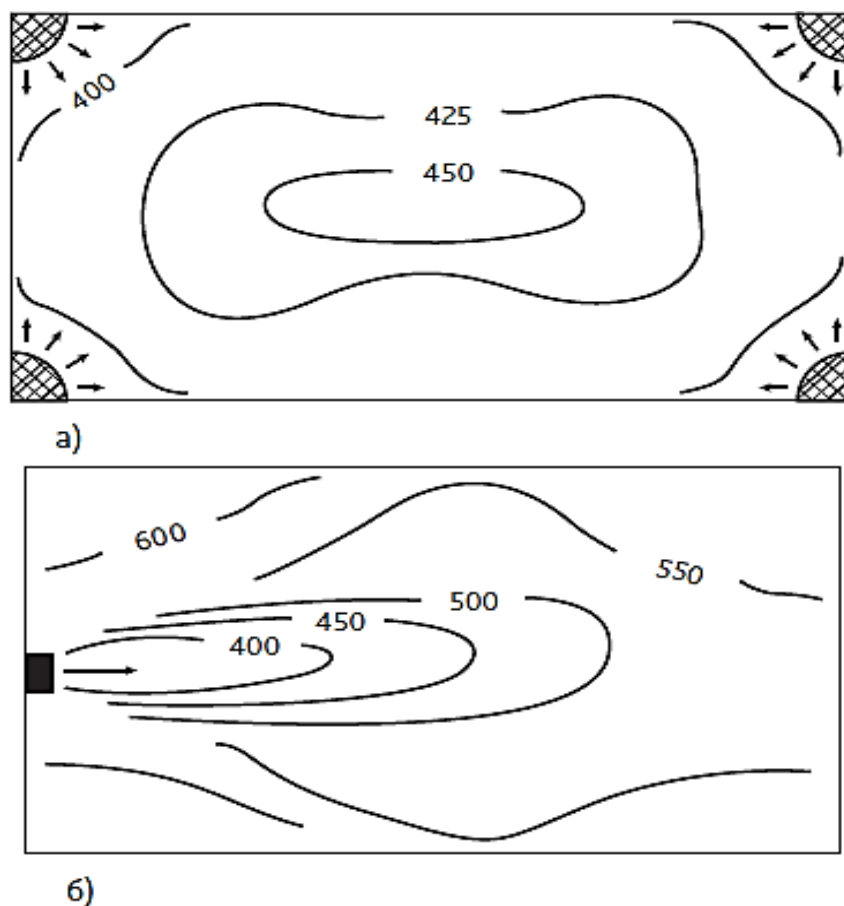


Рисунок 2.7 – Ізолінії концентрацій вуглекислого газу в плані приміщення

а) - при витісняючій вентиляції

б) в струмені припливного повітря

Рівень вуглекислого газу може служити показником якості повітря в приміщеннях житлових і громадських будівель.

При виборі систем вентиляції важливим критерієм адаптивності є тривалість свіжого повітря, або ефективність розподілу повітря. Важливо забезпечити такий шлях свіжого припливного повітря, який коротший та уникне перетинання з брудними зонами, де відбувається виділення шкідливих речовин.

Висновки до розділу 2

Аналіз літературних джерел та нормативної документації стосовно вибору вентиляційної системи виявив різноманітні класифікації за різними критеріями. Особливий акцент було зроблено на вентиляційних припливно-витяжних установках із системами рекуперації тепла, включаючи пластинчасті теплообмінники та роторні рекуператори. Для оптимального вибору системи важливо враховувати ключові критерії, такі як функціональні вимоги, продуктивність, капітальні витрати та вимоги до розміщення та комфорту.

РОЗДІЛ 3

3 АНАЛІЗ ДАНИХ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ БУДІВЛІ

3.1 Аналіз витрати енергії закладом охорони здоров'я

Районна поліклініка № 2 була введена в експлуатацію у 1981 році. У будівлі розташовані адміністративні приміщення, санвузли, кабінети, палати, роздягальня, їдальня, технічні підсобні приміщення.

Режим роботи: від сьомої ранку до вісімнадцятої години вечора щодня, крім суботи та неділі. Вихідна інформація про районну поліклініку наведена у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Загальні показники райполіклініки

Показник	Оцінка
Вартість об'єкта, грн.	4300000
Залишкова вартість, грн.	810000
Довжина будівлі, м.	73,20
Ширина будівлі, н.	12,10
Висота будівлі, н	16
Площа забудови, кв.м.	974
Будівельний об'єм будівлі, куб.н.	14990
Опалювальний об'єм будівлі, куб.м.	11930
Загальна площа, кв.м.	4820
Кондиційована площа, кв.м.	3850
Кількість поверхів, од.	4
Основний матеріал стін	Цегла силікатна
Товщина зовнішніх стін, м.	0,57
Кількість вікон, всього, од.	186
в тому числі:	х
- дерев'яних, од.	170
- металопластикових, од.	16
Кількість дверей, од.	11

Загальна кількість працюючих складає приблизно 140 осіб, включаючи лікарів та технічний персонал, а також кількість відвідувачів, яка становить 630 осіб.

У 2019 році був проведений капітальний ремонт огорожуючих конструкцій.

Поліклініка збудована як чотирьохповерхова окрема будівля. Зовнішні стіни виготовлені із силікатної цегли товщиною 450 мм, покриті зовнішньою штукатуркою та ізоляційним шаром товщиною 100 мм (жорсткий утеплювач). Зовнішній фасад не має видимих пошкоджень.

Вікна частково замінені на металопластикові однокамерні склопакети загальною площею 686 м². Вхідні двері також замінені на металопластикові, загальна площа дверей - 84 м².

Дах є плоским, розташованим безпосередньо над опалювальними приміщеннями. Перекриття виконане з залізобетонної багатопустотної панелі товщиною 220 мм, ззовні утеплене шаром керамзитового утеплювача (150 мм) та подвійним шаром гідроізоляції – рубероїдом. Площа даху становить 1363,1 м².

Підвал є неопалювальним (або технічним підпіллям), розташованим під всією площею будівлі, напівцокольним.

У таблиці 3.2 подані фактичні дані щодо споживання енергоресурсів за період 2019-2021 років.

Таблиця 3.2. Вибірка споживання енергоресурсів по роках

Показник	Одиниця виміру	За роки		
		2019	2020	2021
Теплова енергія				
Фактичне споживання	Гкал.	356	276	292
Вартість поставленої послуги	грн.	472715	369066	390760
Питоме споживання	Гкал/м ³ .	0,03	0,024	0,025

Продовження таблиці 3.2

Показник	Одиниця виміру	За роки		
		2019	2020	2021
Електроенергія				
Фактичне споживання	кВт*год.	84150	84700	94900
Вартість поставленої послуги	грн.	151479	152381	170741
Питоме споживання	кВт*год. на м2	18,4	18,45	20,1

Спостерігається тенденція до скорочення споживання теплової енергії, з приростом, меншим на 18 % порівняно з 2019 роком. Однак, незважаючи на цей аспект і зменшення витрат на опалення будівлі, відзначається зростання витрат на електроенергію та збільшення тарифів на всі види ресурсів, що суттєво впливає на фінансове навантаження поліклініки. Таким чином, виникає необхідність розгляду питання щодо проведення енергомодернізації будівлі.

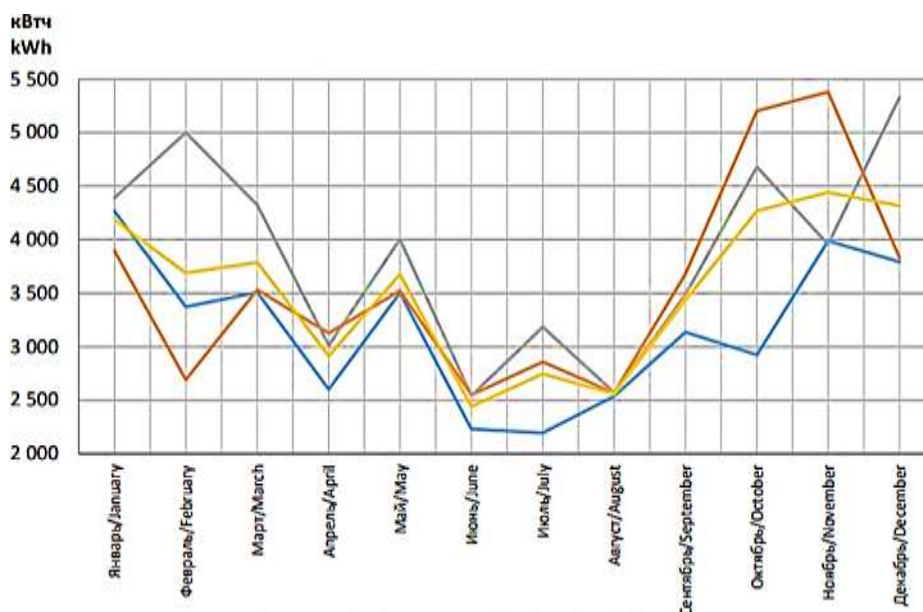


Рисунок 3.1 – Динаміка споживання електроенергії по роках

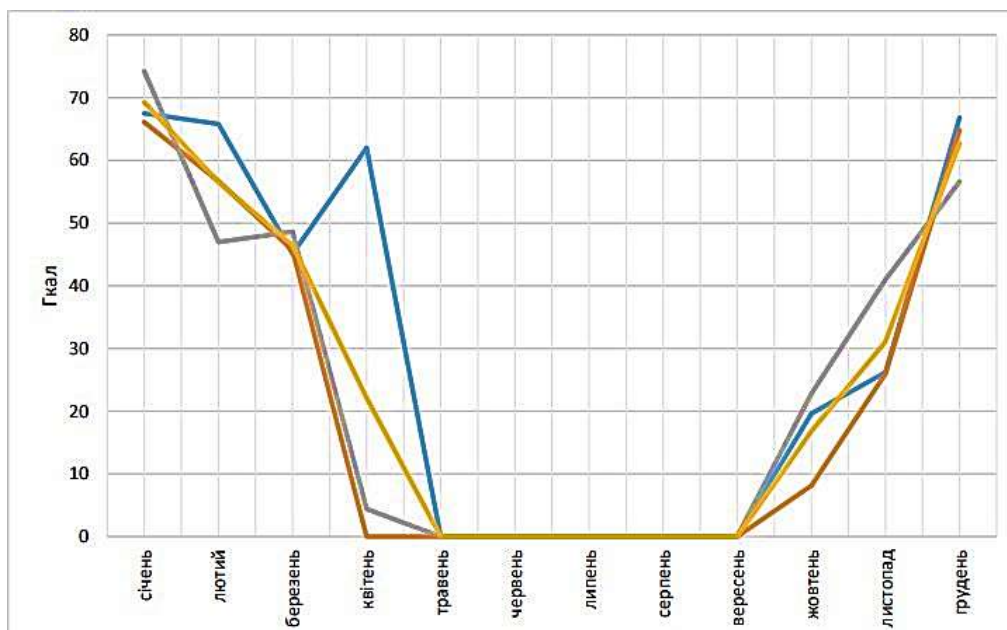


Рисунок 3.2 – Динаміка споживання теплової енергії за 2019-2021 рр.

Також на рис. 3.1-3.2 можна відслідковувати динаміку використання електроенергії та тепла протягом трьох років у кількості кВт/год та в Гкал. Очевидно, що споживання теплової енергії відсутнє влітку, а взимку воно має високі показники.

3.2 Аналіз стану вентиляційних систем будівлі

У більшості приміщень закладу застосовується природна вентиляція, що є застарілою. Також працює механічна вентиляційна система, яка охоплює близько половини будівлі з східної сторони, від першого до останнього поверху.

Система припливно-витяжної вентиляції розташована в підвальному приміщенні та обладнана пластинчастим рекуператором, фільтрами, вентиляторами та калорифером, що є додатковим споживачем електроенергії. Повітря забирається через забірні шахти, розташовані на південній стороні, віддалені від будівлі на 15 метрів.

При огляді системи вентиляції виявлено, що механічна система не

працює та потребує ремонту.

Під час реконструкції даху будівлі виникли помилки, а саме – не були виведені вентиляційні канали природної вентиляції на поверхню даху (рис. 2.10); їх залишили під покрівлею. Це призвело до значного зниження тяги в шахтах і, внаслідок цього, практично відсутньої природної вентиляції.



Рисунок 3.3 – Зовнішній стан елементів системи вентиляції

Для вирішення низки питань щодо вентиляції будівлі можна висунути ряд пропозицій. В першу чергу, важливо уникати відновлення та активації старої системи припливно-витяжної вентиляції з підігрівом повітря, оскільки ця система є неефективною та споживає значну кількість електроенергії.

Відповідно до державних будівельних норм (ДБН В.2.2-10-2001) для будівель і споруд, зокрема, пункту 7.58, рециркуляція повітря та утилізація теплоти витяжних установок є неприпустимою.

Даний медичний заклад відповідає всім категоріям чистоти приміщень, крім категорії А (особливо чисті). Тому для поліклініки може бути запропоновано замінити застарілу систему припливно-витяжної вентиляції на нову систему із водяним нагрівачем.

Висновки до розділу 3

Для ефективного розрахунку та вибору вентиляційної установки необхідні вихідні дані, зокрема кількість подаваного свіжого повітря. Оглянуті різні методи розрахунку повітрообміну, включаючи метод врахування маси шкідливих речовин.

Аналіз енергоспоживання поліклініки за останні 3 роки показав тенденцію зменшення споживання енергоресурсів, але рівень залишається високим, вимагаючи уваги та подальших заходів для покращення ефективності використання енергії.

РОЗДІЛ 4

4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЛІКАРНЯНОГО ЗАКЛАДУ

4.1 Вибір припливно-витяжної системи вентиляції для існуючої будівлі.

Вибір відповідної системи вентиляції – завдання, яке потребує ретельного підходу. Тому часто вдаються до використання інженерного обладнання за допомогою програмного забезпечення, яке пропонує комплексне рішення за заданими параметрами.

Для розрахунку вентиляційної установки можна скористатися різноманітними програмами підбору, серед яких Visual AHU відіграє важливу роль.

Програмне забезпечення Visual AHU – це система, розроблена для виробників систем вентиляції та кондиціонування повітря на базі операційної системи Windows (рис.4.1). Стандартне програмне забезпечення Visual AHU використовує налаштовані бази даних для швидкого вибору та створення стандартних одиниць. Його функціонал охоплює оновлення, такі як Visual AHU Manufacturing, інтеграцію з Autodesk Inventor та Autodesk Revit, а також отримання сертифікату EUROVENT. Завдяки програмі Visual AHU клієнти отримують можливість отримати сертифікат Eurovent та вигідно користуватися всіма перевагами цього програмного рішення.

Ця програма має ряд переваг, зокрема:

- унікальний модуль введення даних з налаштованими базами даних;
- створення шаблону блоку для швидкого вибору;
- унікальна 3D-візуалізація;
- просте перетягування для позиціонування компонентів;
- можливість зміни розміру та переміщення заслінок, впускних

отворів та відводів;

- автоматичне секціонування залежно від довжини профілю;
- можливість приєднати або розділити розділ у будь-якому місці;
- зміна розміру всіх розділів;
- можливість додавання ручних компонентів до існуючого вибору;
- вставка символу для спеціальних або нестандартних компонентів;
- ручна заміна панелі для нестандартних конструкцій;
- багатомовність та підтримка різних одиниць вимірювання (метричні або імперські);
- система управління проектами.

Програмне забезпечення автоматично розраховує продуктивність, вартість, вагу, довжину та падіння тиску повітря для кожного компонента.

Стандартна версія програми відповідає вимогам сертифікації Eurovent.

Після розрахунку системи можна отримати наступні результати:

- масштабовані малюнки AutoCAD GA (DWG);
- список різання панелей;
- розбивка витрат на матеріали та час роботи;
- аркуш ваги для вставки в креслення клієнтів;
- характеристики продуктивності та технічні умови;
- обсяг поставки (PDF);
- пояснювальна записка та супровідний лист (PDF);
- криві вентиляторів (PDF);
- психрометричні діаграми;
- ескіз (PDF) (DWG).

В програмі підбору можливо вибрати декілька варіантів вентиляційного обладнання, таких як:

- проста приточна установка;
- приточно-витяжна установка;
- приточно-витяжна установка з рекуперацією тепла;

- з пластинчастим рекуператором;
- з роторним рекуператором.

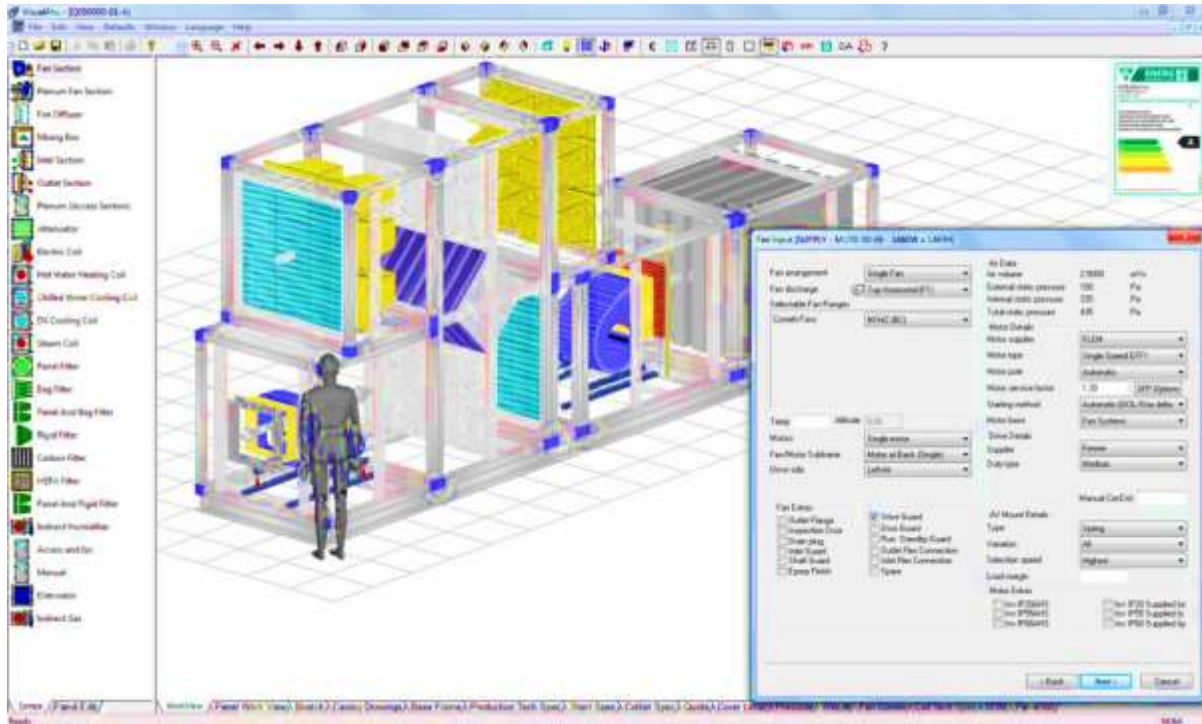


Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд інтерфейсу програми Visual ANU

В існуючих варіантах системи можна включити різноманітні теплообмінники, призначені для обігріву або охолодження приміщень, а також додаткові аксесуари, такі як шумоглушники, додаткові НЕРА-фільтри, карбонові фільтри та зволожувачі повітря.

З урахуванням незадовільного стану вентиляції у поліклініці пропонується розрахувати два варіанти припливно-витяжної установки з різними рекуператорами: пластинчато-перехресний та роторний.

Спочатку потрібно визначити обсяг повітря, необхідний для забезпечення комфортних умов для пацієнтів та персоналу. Зазначте, що поліклініку відвідують пацієнти з 7:30 до 16:30 години, і середня кількість осіб становить 670 чоловік, включаючи медичний персонал.

Далі розглянемо розрахунки вентиляційної системи з пластинчастим

рекуператором та електричним калорифером, щоб відтворити попередню застарілу систему, яка працювала до певного часу.

Для визначення обсягу повітря використовуватимемо формулу розрахунку витрати повітря на одну людину:

$$L = 630 * 30 = 18900 \text{ м}^3/\text{год}$$

У програмі введено основні початкові дані, включаючи обсяг свіжого повітря, необхідного для подачі в приміщення, зовнішній статичний тиск та конструктивні особливості, необхідні для вибору відповідної установки.

Unit Construction			
Unit Model	BL20		
Customer Unit Reference			
Quantity	1		
Access Side	Right		
Frame Material			
Panel Insulation	Mineral Wool - 50mm		
Panel Depth	46 +/- 2 mm		
Roof Type	None		
Base Frame	2mm galv steel base		
Length	5075 mm		
Width	1630 mm		
Height	2360 mm		
Weight Approx +/- 5%	2119kg		
	Supply	Extract	
Duty	20100	20100	m ³ /h
Total Static Pressure	659	652	Pa
External Static Pressure	250	250	Pa
Unit Velocity	3.38	3.38	m/s
Motor Power	11.00	11.00	kW

Рисунок 4.2 – Представлення вихідної інформації в діалоговому вікні програми Visual AHU

У програмі було підібрано установку, яка розрахована на максимальну витрату повітря 20000 м³ повітря з статичним тиском 250 Па (рис.4.2).

Plate Heat Exchanger					
Make		Recuperator		Model	
				FZ AL 12 N 1300 N 1 AE NS SM	
Winter Fresh Air			Winter Extract Air		
Air Volume		20100 m ³ /h	Air Volume		20100 m ³ /h
Total Load		181.24 kW	Total Load		181.24 kW
Efficiency		64 %	Efficiency		64 %
Pressure Drop		250 Pa	Pressure Drop		270 Pa
Inlet	DB Temp	-22.0°C	Inlet	DB Temp	20.0°C
	RH/WB	90.0 % / -22.1°C		RH/WB	30.0 % / 10.9°C
Outlet	DB Temp	-4.9°C	Outlet	DB Temp	-2.9°C
	RH/WB	8.6 % / -1.9°C		RH/WB	93.9 % / -3.2°C
Summer Fresh Air			Summer Extract Air		
Air Volume		20100 m ³ /h	Air Volume		20100 m ³ /h
Total Load		52.33 kW	Total Load		52.33 kW
Efficiency		60 %	Efficiency		60 %
Pressure Drop		296 Pa	Pressure Drop		290 Pa
Inlet	DB Temp	35.0°C	Inlet	DB Temp	22.0°C
	RH/WB	45.0 % / 25.1°C		RH/WB	50.0 % / 15.4°C
Outlet	DB Temp	27.2°C	Outlet	DB Temp	29.8°C
	RH/WB	70.4 % / 23.0°C		RH/WB	31.4 % / 18.1°C

Рисунок 4.3 – Результати програмного рішення вибору пластинчастого рекуператора

На рисунку 4.3 представлені вхідні та вихідні параметри пластинчастого рекуператора, спеціально розрахованого для функціонування протягом двох сезонів.

Однак, у зв'язку з тим, що дана установка не буде використовуватися влітку, звернемо увагу на отримані характеристики для холодного сезону, які були розраховані програмою. Зокрема, ефективність становить 62%, а температура після рекуператора на витяжці складає 4,7 °C.

Враховуючи позитивне значення температури, забезпечено відсутність обмерзання пластин рекуператора. Проте це значення недостатнє для створення комфортних умов у приміщеннях, тому ми вводимо в систему електричний калорифер потужністю 120 кВт, відповідно до вимог програми.

Згідно розрахунку обраний електричний обігрівач витрачає 115 кВт електроенергії із можливих 120 кВт, що свідчить про те, що споживання електроенергії є надто високим. В результаті ми отримали температуру

подаваного повітря у приміщенні на рівні 22 °C.

Unit Energy Use				
	Supply	Extract		
SPF	1.64	1.63	3.27	kW/(m ³ /c)
SPF Int	654	644	1298	w/(m ³ /s)
SPF Int Limit 2016	540			w/(m ³ /s)
SPF Int Limit 2018	460			w/(m ³ /s)
SPF Conform	No			

Рисунок 4.4 – Розрахунок SFP двигуна вентиляційної установки з пластинчастим рекуператором

При розрахунку витрати енергії (рис.4.4), внутрішній коефіцієнт SFP установки склав 1298 В/(м³/с), що суттєво перевищує стандартні значення для 2016 та 2018 років.

Значення SFP на один вентилятор склало 1630 Вт/(м³/с), потрапляючи в типові значення SFP4 для припливного вентилятора, але не враховуючи в SFP3 для витяжного вентилятора.

Для зниження цього показника необхідно зменшити тиск на компонентах установки. Один із варіантів - обрати інший пластинчастий рекуператор, більший за розміром. Проте більш ефективним рішенням для підвищення продуктивності установки буде вибір не BL20, а BL22, розрахованої на 22000 м³ повітря, що дозволить збільшити розмір рекуператора.

Другий варіант включає роторний регенератор і водяний обігрівач. Вхідні дані аналогічні попередньому розрахунку, тому перейдемо відразу до отриманих даних для роторного рекуператора (рис.4.5).

Роторні теплообмінники в порівнянні з пластинчастими мають декілька технічних переваг:

1. Роторні теплообмінники забезпечують високий коефіцієнт теплопередачі завдяки великій поверхні контакту теплоносіїв і можливості плавного обертання ротора, що дозволяє досягти ефективного теплообміну.

2. Роторні теплообмінники зазвичай компактніші і менше масивні, що спрощує їх транспортування та встановлення. Це робить їх привабливими для застосування в обмежених просторах.

4. Роторні теплообмінники добре працюють при низьких температурах і можуть ефективно використовуватися для рекуперації тепла в холодних умовах, що робить їх ефективними в холодильних та холодно-обігрівальних системах.

4. Роторні теплообмінники мають менше рухомих частин і зазвичай мають просту конструкцію, що підвищує їх надійність та тривалість служби.

5. Роторні теплообмінники менше схильні до утворення нальоту та обмазки, оскільки їх конструкція має менше елементів, які можуть забруднюватися, порівняно з пластинчастими аналогами.

6. В деяких випадках роторні теплообмінники можуть бути більш стійкими до агресивних хімічних середовищ, що робить їх відмінним вибором для конкретних умов експлуатації.

HEAT WHEEL Efficiency at balanced Flow 75.5 %					
Matrix Type			Contact us		
Model			BA2250x2250-2100H-014-0B000-0000-0		
Winter Fresh Air			Winter Extract Air		
Air Volume		20100 m ³ /h	Air Volume		20100 m ³ /h
Total Load		NaN kW	Total Load		NaN kW
Heat Recovery Efficiency		76 %	Moisture Recovery Efficiency		86 %
Pressure Drop		209 Pa	Pressure Drop		243 Pa
Inlet	DB Temp	-22.0°C	Inlet	DB Temp	21.0°C
	RH/WB	100.0 % / -22.0°C		RH/WB	50.0 % / 14.6°C
Outlet	DB Temp	10.8°C	Outlet	DB Temp	-11.5°C
	RH/WB	33.24 % / 4.5°C		RH/WB	100.00 % / -11.5°C
Summer Fresh Air			Summer Extract Air		
Air Volume		20100 m ³ /h	Air Volume		20100 m ³ /h
Total Load		NaN kW	Total Load		NaN kW
Heat Recovery Efficiency		76 %	Moisture Recovery Efficiency		0 %
Pressure Drop		246 Pa	Pressure Drop		246 Pa
Inlet	DB Temp	35.0°C	Inlet	DB Temp	24.0°C
	RH/WB	59.0 % / 28.0°C		RH/WB	50.0 % / 17.1°C
Outlet	DB Temp	26.6°C	Outlet	DB Temp	32.4°C
	RH/WB	95.41 % / 26.0°C		RH/WB	30.63 % / 19.8°C

Рисунок 4.5 – Результати програмного рішення вибору роторного рекуператора

Робоча ефективність роторного рекуператора досягає 76%, при цьому вихідна температура повітря після його проходження становить близько 11°C. Ці характеристики значно перевищують результати, отримані за використання пластинчастого рекуператора.

Для нагріву повітря будемо використовувати водяний теплообмінник, який витрачає у 2 рази менше електричної енергії. Крім того, цей теплообмінник може функціонувати як для обігріву, так і для охолодження повітря. При розрахунках значення SFP (рис. 4.6) залишається в межах припустимого для 2019 року, але перевищує рівень 2021 року, будучи більшим, ніж 550 Вт/(м³/с).

Unit Energy Use				
	Supply	Extract		
SPF	1.11	.97	2.08	kW/(m ³ /s)
SPF Int	394	404	798	w/(m ³ /s)
SPF Int Limit 2016	810			w/(m ³ /s)
SPF Int Limit 2018	550			w/(m ³ /s)
SPF Conform	2016			

Рисунок 4.6 - Розрахунок SFP двигуна вентиляційної установки з роторним рекуператором

Задовільне значення SFP було досягнуте за допомогою використання фільтрів класу очистки G4 завдовжки 600 мм, що призводить до зниження створеного тиску в цих елементах. Це дозволяє використовувати менш потужні вентилятори, оскільки обтікання повітря стає значно простішим при зменшенні загального тиску. Також можна зменшити загальний тиск, контролюючи швидкість повітря, що проходить через теплообмінник. Тобто при виборі типорозміру надається швидкість повітря на теплообміннику, що напряду залежить від розміру установки. Бажано, щоб ця швидкість становила приблизно 2,1-2,5 м/с на теплообміннику, тоді опір повітря буде значно меншим.

У випадку використання роторного рекуператора встановлювалися

ЕС-вентилятори, які відрізняються від АС-вентиляторів низьким споживанням електроенергії завдяки інтегральній електронній системі управління.

З технічної точки зору впровадження в роботу вентиляційної системи з роторним рекуператором, водяним нагрівачем та енергозберігаючими вентиляторами ЕС є більш доцільним. Завдяки використанню цих елементів та довших фільтрів загальний тиск, що створюється в установці вентиляції, значно зменшується, що призводить до зменшення електроспоживання вентиляторів.

4.2 Техніко-економічний розрахунок ефективності впровадження вентиляційної установки

Обрані системи з пластинчастим рекуператором та роторним включають різні компоненти, що призводить до різниці в капітальних витратах. Оцінювані витрати включають в себе вентиляційне обладнання та аксесуари, автоматику, монтажні роботи та транспортні витрати. Сумарні капітальні витрати представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Капітальні витрати на системи вентиляції

Складові витрат, €	ПВУ з рекуператором	
	Пластинчастого типу	Роторного типу
Вентиляційне обладнання	106080	140640
Системи кріплення	648	828
Системи сигналізації та автоматики	2334	1452
Витрати на монтажні роботи	5472	6936
Транспортні витрати	2400	2400
Всього	116934	152256

Аналіз отриманих даних з таблиці вказує на те, що вартість вентиляційної системи з роторним рекуператором є трошки вищою, ніж системи з пластинчастим рекуператором. Таким чином, капітальні витрати на систему з пластинчастим рекуператором становлять 116934 євро, тоді як на систему з роторним рекуператором – 152256 євро.

Визначимо різницю між капітальними затратами на ПВУ з різними типами рекуператорів за формулою:

$$E = E_1 - E_2 = 152256 - 116934 = 35322 \text{ €} \quad (4.2)$$

Внаслідок розбіжностей у капітальних витратах для двох вентиляційних систем з різними компонентами, різниця складає 35322 євро.

При розрахунку експлуатаційних витрат, враховуючи, що обладнання буде працювати протягом опалювального сезону приблизно 180 днів на максимальну потужність спожиту електроенергію визначається:

$$E = C_0 \cdot W_{\text{спож}} \cdot 24 \cdot 180, \quad (4.3)$$

де C_0 – тариф на електроенергію, що дорівнює 4,68 грн/кВт·год; $W_{\text{спож}}$ – спожита активна енергія.

Результати розрахунку спожитої електричної енергії наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Порівняльний аналіз використання ПВУ з різними типами рекуперації

Тип вентиляційної установки	Споживання ел. ен., кВт·год	Витрати, грн
ПВУ з пластинчастим рекуператором	288280	1401040,8

Продовження таблиці 4.2

Тип вентиляційної установки	Споживання ел. ен., кВт·год	Витрати, грн
ПВУ з роторним рекуператором	193240	939146,4
ПВУ без рекуператорів	436000	2118960

Для розрахунку чистої приведеної вартості при ставці дисконту 18% використаємо програмне забезпечення MS Excel та результати занесемо до таблиці 4.3

Таблиця 4.4. Розрахунок чистої приведеної вартості для ПР

Рік	K_i	K_{i2}	Пластинчастий теплообмінник		
			CF , тис. грн/рік	NPV , тис. грн/рік	$NPV2$, тис. грн/рік
0	1,000	1,000	4677360	-4677360,000	-4677360,000
1	0,847	0,920	717919,200	608406,102	660709,383
2	0,718	0,847	717919,200	515598,391	608058,524
3	0,609	0,779	717919,200	436947,789	559603,326
4	0,516	0,717	717919,200	370294,737	515009,445
5	0,437	0,660	717919,200	313809,099	473969,178
6	0,370	0,608	717919,200	265939,914	436199,342
7	0,314	0,559	717919,200	225372,809	401439,324
8	0,266	0,515	717919,200	190993,906	369449,276
9	0,225	0,474	717919,200	161859,242	340008,462
10	0,191	0,436	717919,200	137168,849	312913,739
11	0,162	0,401	0,000	0,000	0,000
12	0,137	0,369	0,000	0,000	0,000
13	0,116	0,340	0,000	0,000	0,000
14	0,099	0,313	0,000	0,000	0,000
15	0,084	0,288	0,000	0,000	0,000
16	0,071	0,265	0,000	0,000	0,000
17	0,060	0,244	0,000	0,000	0,000
18	0,051	0,224	0,000	0,000	0,000
19	0,043	0,206	0,000	0,000	0,000
20	0,037	0,190	0,000	0,000	0,000
			$NPV_1=$	-1450969,162	0,000
			$D=$	18,000	
			$IRR=$	8,659	

Таблиця 4.4. Розрахунок чистої приведеної вартості для РР

Рік	K_{i1}	K_{i2}	Роторний теплообмінник		
			CF , тис. грн/рік	NPV , тис. грн/рік	$NPV2$, тис. грн/рік
0	1,000	1,000	6090240	-6090240,000	-6090240,000
1	0,847	0,875	1179813,6	999842,034	1032497,872
2	0,718	0,766	1179813,6	847323,758	903576,510
3	0,609	0,670	1179813,6	718070,981	790752,728
4	0,516	0,587	1179813,6	608534,730	692016,526
5	0,437	0,513	1179813,6	515707,398	605608,878
6	0,370	0,449	1179813,6	437040,168	529990,396
7	0,314	0,393	1179813,6	370373,024	463813,908
8	0,266	0,344	1179813,6	313875,444	405900,451
9	0,225	0,301	1179813,6	265996,139	355218,275
10	0,191	0,263	1179813,6	225420,457	310864,456
11	0,162	0,231	0,000	0,000	0,000
12	0,137	0,202	0,000	0,000	0,000
13	0,116	0,177	0,000	0,000	0,000
14	0,099	0,155	0,000	0,000	0,000
15	0,084	0,135	0,000	0,000	0,000
16	0,071	0,118	0,000	0,000	0,000
17	0,060	0,104	0,000	0,000	0,000
18	0,051	0,091	0,000	0,000	0,000
19	0,043	0,079	0,000	0,000	0,000
20	0,037	0,069	0,000	0,000	0,000
			$NPV_1 =$	-788055,870	0,000
			$K =$	18,000	
			$IRR =$	14,268	

Розрахуємо простий термін окупності впровадження пластинчастого рекуператора згідно даних таблиць 4.1-4.2:

$$T_{ок} = \frac{K_{ПВУ}}{E} = \frac{4677360}{147720} = 6,5 \text{ року.}$$

Розрахуємо простий термін окупності впровадження роторного рекуператора:

$$T_{ок} = \frac{K_{ПВУ}}{E} = \frac{6090240}{242760} = 5,2 \text{ року.}$$

Отже, під час розрахунків виявили, що витрати будуть відшкодовані протягом 5,2, що свідчить про те, що за цей період експлуатаційні витрати на вентиляційну систему з роторним рекуператором компенсують капітальні витрати, і система стане прибутковою. Порівнюючи витрати енергоресурсів, можна відзначити, що вентиляційна установка з ротором споживає приблизно у 2 рази менше електроенергії, ніж попередня система, яка використовувала як теплову, так і електричну енергію.

Висновки розділу 4

1. Для вибору оптимальної вентиляційної установки необхідно провести розрахунки для двох варіантів з пластинчастим та роторним рекуператором. З розгляду видно, що установка з роторним рекуператором має кращі технічні характеристики і є більш доцільною для впровадження.

2. Велику роль у споживанні електроенергії відіграє наявність додаткового теплообмінника та вентиляторів. Вибір водяного теплообмінника та вентиляторів із системою управління знижує споживання електроенергії.

3. Загальні затрати на споживання електроенергії вентиляційною системою з роторним рекуператором становлять 6090240 грн, тоді як системою з пластинчастим рекуператором - 4677360 грн. Термін окупності роторної системи складає 5,2 місяців при ставці дисконту 18%, а внутрішня норма рентабельності - 8,6 вказує на отримання прибутку вже на 11 рік експлуатації.

Термін окупності пластинчастої системи складає 6,5 місяців при ставці дисконту 18%, а внутрішня норма рентабельності - 14,3 вказує на отримання прибутку вже на 11 рік експлуатації.

РОЗДІЛ 5

5 ОХОРОНА ПРАЦІ В МЕДИЧНИХ ЗАКЛАДАХ

В медичних закладах вимоги до охорони праці є особливо важливим елементом для забезпечення безпеки пацієнтів і медичного персоналу. Однією з ключових аспектів цих вимог є створення оптимального мікроклімату за допомогою ефективних систем вентиляції. Враховуючи особливості медичного середовища, низка стандартів та рекомендацій пов'язана з вентиляцією медичних приміщень.

Система вентиляції повинна надавати постачання свіжого та очищеного повітря для забезпечення оптимального рівня гігієни. Використання фільтрів високого класу, таких як HEPA, може ефективно усувати аерозольні частки та інші забруднення.

Забезпечення стабільного та комфортного мікроклімату передбачає можливість регулювання температури та вологості відповідно до нормативних вимог. Це важливо для забезпечення комфорту пацієнтів і підтримання оптимальних умов для медичного персоналу.

Ефективна система вентиляції повинна забезпечувати не лише достатню кількість свіжого повітря, але й контролювати об'єм повітря в приміщенні. Це особливо важливо в операційних та процедурних кімнатах для запобігання розповсюдженню інфекцій та забезпечення стерильності.

Деякі медичні зони, зокрема ті, де використовується ізоляція або виконуються хірургічні операції, вимагають систем вентиляції з позитивним тиском для уникнення проникнення зовнішнього повітря та забезпечення безпеки.

Системи вентиляції повинні піддаватися регулярному технічному обслуговуванню та моніторингу, щоб гарантувати їх ефективність і відповідність нормам. Регулярна перевірка функціональності фільтрів та інших компонентів є важливою для підтримання високих стандартів чистоти повітря.

Загальною метою вимог до систем вентиляції в медичних закладах є забезпечення безпечного, комфортного та гігієнічного середовища, що сприяє ефективній медичній практиці та збереженню здоров'я всіх учасників процесу.

Медичні заклади повинні мати системи аварійного вентилявання для випадків відмови основної системи. Це може забезпечити неперервану роботу вентиляції в умовах аварії або вимушеної зупинки основної системи. Різні медичні зони можуть вимагати індивідуального підходу до систем вентиляції. Наприклад, в ізоляційних палатах може бути важливо забезпечити високий рівень фільтрації та індивідуальний контроль температури та вологості.

Система вентиляції повинна бути спроектована для запобігання поширенню мікробіологічних агентів. Використання високоефективних фільтрів і регулярне обслуговування є ключовими елементами управління цим аспектом. У великих медичних закладах можуть використовуватися технології "чистих" зон, де вентиляційні системи створюють умови для дотримання високих стандартів стерильності та відсутності забруднень.

Сучасні системи вентиляції повинні бути спроектовані з урахуванням енергоефективності для зменшення споживання електроенергії та впливу на довкілля.

Врахування цих вимог дозволяє створити максимально безпечне, комфортне та гігієнічне середовище в медичних закладах, що сприяє якісному наданню медичних послуг та забезпеченню оптимальних умов для відновлення здоров'я пацієнтів.

Охорона праці в медичних закладах є ключовою для забезпечення безпеки та здоров'я технічних та медичних працівників. Нижче подано основні вимоги до охорони праці для цих категорій працівників:

Технічні працівники повинні бути ознайомлені з усіма правилами та процедурами охорони праці, що діють в медичному закладі. Забезпечення технічних працівників відповідними засобами індивідуального захисту

(ЗІЗ), такими як маски, рукавички, халати, для запобігання інфекційним захворюванням. Технічні працівники повинні бути навчені безпечному використанню медичного обладнання та приладів.

Забезпечення належного організації робочого простору та раціонального розташування обладнання для уникнення травм та нещасних випадків. Надання ефективних систем вентиляції для запобігання впливу відпрацьованих газів, аерозолів та інших шкідливих речовин на здоров'я працівників.

Усі медичні працівники повинні пройти інструктаж і навчання з питань охорони праці та безпеки на роботі. Використання засобів індивідуального захисту, таких як маски, рукавички, халати, для запобігання передачі та отримання інфекцій.

Уникання перевантаження та раціональне розподіл робочого часу для запобігання виникненню втоми та травм. Забезпечення психологічної безпеки та запобігання стресам у робочому середовищі, особливо в умовах великого навантаження та надзвичайних ситуацій.

Надання інструкцій та навчання щодо безпечних методів роботи з пацієнтами, включаючи правила підйому та перевезення. Забезпечення доступу до всіх необхідних медичних засобів та пристосувань для надання ефективної допомоги.

Ці вимоги спрямовані на створення безпечного та здорового робочого середовища для всіх працівників медичних закладів, щоб забезпечити високий рівень надання медичних послуг та благополуччя персоналу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. За результатами аналізу енергоефективності адміністративних будівель виявлено, що всі інженерні системи повинні піддаватися оптимізації, стати енергоефективними та забезпечувати відповідність державним будівельним стандартам. Використання вентиляційних установок із рекуперацією тепла може істотно зменшити витрати енергоресурсів. Ключовим показником є питома вентиляційна потужність.

2. Для точного вибору вентиляційної установки розглянуті різні види та конфігурації вентиляційного обладнання. Також визначені критерії відбору обладнання для вентиляційної системи.

3. Проведено моделювання вибору вентиляційної установки з узгодженням системи із пластинчастим та роторним рекуператорами. За результатами розрахунків встановлено, що найкращі технічні характеристики має установка з роторним рекуператором, тому її використання є більш обґрунтованими. Присутність додаткового теплообмінника та вентиляторів суттєво впливає на споживання електричної енергії. Використання водяного теплообмінника та вентиляторів із системою управління знижує витрати електроенергії.

4. Розраховано витрати електроенергії вентиляційною системою з роторним рекуператором (загальні витрати - 4 677 360 грн) та системою з пластинчастим рекуператором (загальні витрати - 6 090 240 грн). Висновок: термін окупності системи з роторним рекуператором – 5,2 роки при ставці дисконту 18%, внутрішня норма рентабельності 14,2 вказує на прибуток через 10 років.

5. Розроблено основні вимоги з охорони праці до технічного персоналу в закладах охорони здоров'я.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Muro, C., Escobedo, R., Spector, L., Coppinger, R. Wolf-pack hunting strategies emerge from simple rules in computational simulations. *Behavioural Processes*, 2011, 88(3), 188-192, doi:10.1016/j.beproc.2011.09.006.
2. Kibert C. *Construction Ecology. Nature as the basis for green buildings*. [Spon press]. Canada, 2007. 328 p.
3. Енергоефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання при опаленні та охолодженні [Текст]: ДСТУ Б EN ISO 13790:2011.– На заміну ГОСТ 26629.85; чинний з 01.01.2013. – К. : НДІБК, 2011. – 229
4. Development of a data model for consumption analysis and prediction of large-scale commercial building / [Fangting Song, Yi Jiang, Anne Le Mouel and other] // *Building Simulation*, 2007. - P. 1601-1609.
5. ДБН В.2.2-9:2018 – Громадські будинки та споруди.
6. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Чинні від 01.01.2014. – Київ: Укрархбудінформ, 2013. – V, 141 с.
7. ДСТУ Б EN 15251:2013. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики. – Чинні від 01.01.2013. – Київ: Укрархбудінформ, 2012. – 71 с.
8. Becchio, C., Corgnati, S. P., Vio, M., Crespi, G., Prendin, L., Ranieri, M., Vidotto, D. Toward NZEB by optimizing HVAC system configuration in different climates. *Energy Procedia*, 2017, 140, 115-126, doi:10.1016/j.egypro.2017.11.128.
9. Timchenko, O., Medenets, Y., Strepkov, O. Methods of adjusting regulators. *Ukrainska akademiia drukarstva*, 2013, 54-59.
10. Mirjalili. How effective is the Grey Wolf optimizer in training multi-layer perceptrons. *Applied Intelligence*, 2015, 43(1), 150–161, doi:10.1007/s10489-014-0645-7.

11. El-Gaafary, A. A. M., Mohamed, Y. S., Hemeida, A. M., Mohamed, A. A Grey Wolf Optimization for Multi Input Multi Output System. Universal Journal of Communications and Network, 2015, 3(1), 1-6, doi:10.13189/ujcn.2015.030101.
12. Кордюков М.И. Особенности тепломассообмена в рекуперативных мембранных теплообменниках в летний период./ М. И. Кордюков, В. И. Дешко, И. О. Суходуб // Холодильная техника. – 2014. – No 147 – С. 24- 25.
13. Белова Е.М. Системи кондиціонування повітря з чиллерами і фанкойлами / Белова Е.М. – К.: Євроклімат, 2003 р. – 400.
14. Павленко В. М. Оцінювання ефективності використання рекуператора в системах вентиляції офісних приміщень / В. М. Павленко, Д. О. Ткаченко. // Технології та дизайн. - 2018. - № 1. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2018_1_14.
15. Ратушняк Г. С. Эксплуатация систем теплоснабжения та вентиляції / Г. С. Ратушняк, Г. С. Попова. – Вінниця : ВДТУ, 2001. – 122 с
16. І.А. Пономарчук. Вентиляція та кондиціонування повітря: Навчальний посібник/ Пономарчук І.А., Волошин О.Б. – Вінниця: ВНТУ, 2004.- 121с.
17. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання.
18. ДСТУ 9191:2022. Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель.
19. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. будівельна кліматологія.
20. ДБН В.1.2-11:2021 Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність.