

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

КАФЕДРА ПРОМИСЛОВОГО ТА ЦИВІЛЬНОГО БУДІВНИЦТВА
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

магістр

(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення енергетичної ефективності вентиляції приміщень з
урахуванням фізіологічних потреб людини

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1922-пцб
спеціальності 192 Будівництво та цивільна
інженерія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Промислове і цивільне
будівництво

(назва освітньої програми)

Сергрушні Ісмаїл

(ініціали та прізвище)

Керівник проф., д.т.н, Банах В. А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент доц., к.т.н, Самченко Р.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра промислового та цивільного будівництва
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код та назва)
Освітня програма Промислове і цивільне будівництво

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри *І. М. Фуртиско*
« » 20 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Сергрушні Ісмаїл
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проєкту) Підвищення енергетичної ефективності вентиляції приміщень з урахуванням фізіологічних потреб людини

керівник роботи проф., д.т.н. Банах В. А.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 09 » 10 2023 року № 1578-с

- 1 Строк подання студентом роботи 01.12.2023
- 2 Вихідні дані до роботи Актуальність обраного напрямку досліджень, значимість у сучасному житті, можливість розв'язання проблематики, перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об'єкт досліджень, предмет досліджень, передбачувані методи виконання досліджень
- 3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Літературний огляд. Аналіз існуючих способів підвищення ефективності систем вентиляції та кондиціонування. Аналіз методики, що дозволяє порівнювати способи підвищення ефективності систем вентиляції та кондиціонування повітря. Визначення впливу параметрів зовнішнього повітря, режиму роботи рекуператора на ефективність системи вентиляції з рекуперацією тепла.

4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентація із результатами аналітичних обґрунтувань наукового напряму досліджень, результатами експериментальних досліджень, результати розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних методів досліджень

5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Банах В. А.		Сергій -
2	Банах В. А.		Сергій -
3	Банах В. А.		Сергій -

6 Дата видачі завдання 01.09.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд	01.10	
2	Розділ 1	15.10	
3	Розділ 2	01.11	
4	Розділ 3	15.11	
5	Розробка графічної частини	20.11	
6	Оформлення роботи	25.11	
7	Попередній захист	01.12	

Студент Сергій Ісмаїл
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) Банах В. А.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено
Нормоконтролер Данкевич Н.О.
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Серхрушні Ісмаїл. Підвищення енергетичної ефективності вентиляції приміщень з урахуванням фізіологічних потреб людини.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник В.А. Банах. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні ЗНУ, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2023.

Аналіз існуючих способів підвищення ефективності систем вентиляції та кондиціонування. Визначення впливу параметрів зовнішнього повітря, режиму роботи рекуператора на ефективність системи вентиляції з рекуперацією тепла.

Ключові слова: СИСТЕМА КОНДИЦІОНУВАННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЯ, ЗОВНІШНІШНЄ ПОВІТРЯ, ПРИПЛИВНО-ВИТЯЖНА ВЕНТИЛЯЦІЯ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ГРОМАДСЬКІ БУДІВЛІ, РОТОР, ШВИДКОСТІ ПОТОКУ.

ABSTRACT

Serkhrushni Ismail. Increasing the energy efficiency of room ventilation, taking into account the physiological needs of a person.

Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 192 - Construction and Civil Engineering, supervisor V.A. Banach. Engineering Educational and Scientific Institute Yu.M. Potebny ZNU, Department of Industrial and Civil Engineering, 2023.

Analysis of existing methods of increasing the efficiency of ventilation and air conditioning systems. Determining the effect of outdoor air parameters, recuperator operating mode on the efficiency of the ventilation system with heat recovery.

Key words: AIR CONDITIONING SYSTEM, VENTILATION, OUTDOOR AIR, SUPPLY AND EXHAUST VENTILATION, ENERGY SAVING, PUBLIC BUILDINGS, ROTOR, FLOW VELOCITIES.

ЗМІСТ

	Вступ.....	8
Розділ 1	АНАЛІЗ СТАНУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ.....	11
1.1	Оцінка рівня енергозбереження будівель.....	11
1.2	Аналіз використання інженерних систем громадськими будівлями.....	20
1.3	Аналіз нормативно-правового забезпечення щодо використання вентиляційних систем.....	25
1.4	Висновки до 1 розділу.....	28
Розділ 2	АНАЛІЗ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ.....	30
2.1	Призначення та класифікація вентиляційних систем.....	30
2.2	Критерії вибору системи вентиляції.....	32
2.3	Умови, що обмежують вибір вентиляційних систем та систем кондиціонування.....	35
2.4	Конструктивне виконання вентиляційних систем.....	38
2.5	Математичне моделювання процесів теплообміну в регенеративному повітропідігрівачі в середовищі ANSYS...	48
2.6	Висновки до 2 розділу.....	63
Розділ 3	РОЗРОБКА ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ.....	64
3.1	Загальні відомості.....	64
3.2	Електропорація.....	70
3.3	Фотокаталітичне окислення.....	71
3.4	Електрофільтрації.....	74

3.5	Гібридна припливно-витяжна система вентиляції з рециркуляцією повітря.....	75
3.6	Техніко-економічне обґрунтування гібридної системи вентиляції.....	79
3.7	Висновки до 3 розділу.....	85
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	87
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	89

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасних громадських та виробничих будинках витрата тепла на вентиляцію нерідко становить 60-80 % від загальної витрати тепла на всі інженерні системи. Зі зростанням вимог до тепловтрат через огорожувальні конструкції, вимоги до тепловтрат, пов'язаних з нагріванням припливного повітря, не посилюються, що призводить до суттєвого перерозподілу структури теплоспоживання будівлі. Тому пріоритетним напрямом підвищення енергетичної ефективності будівель і споруд є заходи, пов'язані зі зниженням витрати енергії, що витрачається на нагрівання припливного повітря, що особливо актуально для районів з тривалим опалювальним періодом.

Тепло, використовуване на підігрівання припливного повітря в громадських і виробничих будівлях, безповоротно втрачається в довкілля з витяжним повітрям.

Існуючі способи економії витрат на вентиляцію будівель та споруд полягають у утилізації тепла витяжного повітря. Найчастіше в сучасних системах застосовують досить дорогі рекуперативні установки на базі пластинчастих та роторних теплообмінників, які дозволяють використовувати тепло витяжного повітря для нагрівання припливного.

Основний недолік застосування систем вентиляції з рекуперацією тепла в умовах північних районів - обмерзання пластин теплообмінної поверхні в холодний період, що відбувається при негативних температурах зовнішнього повітря. Це є причиною зниження їх ефективності і як наслідок призводить до незадовільної роботи системи вентиляції та збільшення витрат на її експлуатацію.

Одним з простих і дешевих способів підвищення енергетичної ефективності сучасних систем вентиляції є використання способу рециркуляції тепла повітря, що йде з одночасним контролем і управлінням якості повітря в приміщенні, а також з знезараженням шкідливих домішок за

допомогою фільтра.

Зниження експлуатаційних витрат у запропонованому технічному рішенні досягається за допомогою автоматизованої системи вентиляції, що дозволяє регулювати кількість повітря, що підмішується і подається в приміщення в міру необхідності, в той час як в установці з рекуперацією тепла воно є постійним.

Пропонований спосіб підвищення енергетичної ефективності систем вентиляції та кондиціонування повітря полягає у використанні як рекуперації тепла, так і рециркуляції повітря. Дана схема дозволяє максимально знизити витрати на експлуатацію систем вентиляції та кондиціонування повітря.

Мета і завдання дослідження. Метою даного дослідження є розробка нових технічних рішень на основі теплофізичного дослідження та аналізу існуючих технологій, що дозволяє підвищити енергетичну та економічну ефективність систем вентиляції та кондиціонування будівель.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є системи вентиляції та кондиціонування громадських та адміністративних будівель з витратою повітря від 1000 м³/год та вище.

Предмет дослідження. Способи підвищення енергетичної ефективності систем вентиляції та кондиціонування.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених завдань використовувалися узагальнення та аналіз теоретичних та практичних досліджень на тему роботи та обробка отриманих експериментальних даних.

Наукова новизна одержаних результатів. Були розроблені нові методи та підходи для моделювання та аналізу функцій і режимів роботи систем вентиляції та кондиціонування. Пропозиція нової схеми припливно-витяжної вентиляції, що дозволяє підвищити енергетичну та економічну ефективність систем вентиляції та кондиціонування повітря

Практичне значення одержаних результатів. Аналіз існуючих способів підвищення ефективності систем вентиляції та кондиціонування. Визначення впливу параметрів зовнішнього повітря, режиму роботи

рекуператора на ефективність системи вентиляції з рекуперацією тепла.

Особистий вклад дослідника. Постановка мети і завдання дослідження. Збір і аналіз даних для проведення дослідження.

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, основних висновків, списку використаних джерел містить 93 сторінок, 32 рисунків, 5 таблиць, 45 список використаних джерел.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ

1.1 Оцінка енергозбереження будівель

У сучасних умовах глобальної економічної нестабільності особливо важливим стає питання збереження енергоресурсів та підвищення енергоефективності будівель і споруд.

Використання технологій, спрямованих на зменшення споживання енергії, визнається найефективнішим методом протидії наслідкам змін клімату. Крім того, застосування енергозберігаючих рішень дозволяє поєднувати переваги впровадження інтелектуальних технологій для охорони довкілля з економічною вигодою [1].

Ефективне виробництво енергії є ключовим етапом в реалізації енергозбереження. Використання енергозберігаючих технологій та відновлюваних джерел енергії, таких як вітер і вода, відіграє важливу роль у цьому процесі. Для забезпечення ефективного енергопостачання будь-якого об'єкта необхідно вирішити завдання виміру, відображення, оцінки і оптимізації енергетичних потоків.

Енергоефективність означає раціональне використання енергетичних ресурсів для оптимізації рівня енергозабезпечення будівлі [2,3]. У відміню від енергозбереження, яке спрямоване на зменшення енергоспоживання, енергоефективність покликана раціоналізувати витрати енергії, щоб енергетичні компанії могли зменшити нераціональні витрати на паливо, сприяючи поліпшенню екології та зменшенню викидів шкідливих газів в атмосферу.

Заходи для забезпечення енергоефективності включають в себе використання пристроїв, що автоматично припиняють подачу тепла, вентиляції та електроенергії при відсутності людини. Також важливо

підвищувати енергоефективність [4,5] через застосування енергозберігаючих ламп, автоматизацію та використання архітектурних рішень.

Використання систем "розумний дім" є ефективним способом енергозбереження, який забезпечує автоматичний [6] контроль інженерних систем будинку, таких як опалення, вентиляція та освітлення.

Електронний інтелект автоматично контролює температуру у приміщенні і переводить будинок у "сплячий режим" під час відсутності власників, що мінімізує роботу систем вентиляції та опалення. За допомогою Інтернету власник будинку може дистанційно активувати всі системи, готуючи будинок до свого приходу. Хоча встановлення і використання такої системи коштує дорого, з ростом питань енергозбереження ймовірність виникнення муніципального житла, обладнаного цією системою, збільшується.



Рисунок 1.1 - Питомі тепловтрати будівлі

Щороку тарифи на енергоресурси зростають, що пояснює популярність енергоефективних технологій. Впровадження таких технологій дозволить значно зменшити витрати на комунальні послуги.

Експерти визначають, що питомі тепловтрати будівлі розподілені наступним чином, як показано на рисунку 1.1: 40% - через інфільтрацію нагрітого повітря; 30% - через недостатній опір теплопередачі обгороджуваних конструкцій; 30% - через нераціональне використання гарячої води та нерегульоване опалення.

Існує кілька причин ірраціонального використання теплової енергії, серед яких можна виділити наступні:

1. Нерегульовані системи природної вентиляції:
 - Відсутність автоматизованого регулювання природної вентиляції може призводити до непотрібної витрати теплової енергії через відкриті вікна або неефективне використання провітрювальних систем.
2. Відсутність систем вентиляції з рекуперацією тепла:
 - Недостатня ефективність вентиляційних систем призводить до втрати тепла, оскільки не відбувається ефективне відновлення тепла, яке може бути вилучено з вентиляваного повітря.
3. Нещільність сполучення віконних і дверних блоків:
 - Проблеми з герметизацією вікон та дверей призводять до непотрібної витрати тепла через проникнення холодного повітря та виходи тепла.
4. Неправильне архітектурно-будівельне рішення при опалюванні сходових блоків:
 - Недоцільне розташування опалювальних систем у сходових блоках може призводити до нерівномірного та недостатнього опалення приміщень.
5. Неякісна теплоізоляція стін, стель підвалів, світлопрозорих огорожень:

- Відсутність або низька якість теплоізоляції призводить до великих тепловтрат через стіни, стелі підвалів та вікна.

6. Недолік в роботі пристроїв обліку та регулювання в системах опалення та гарячого водопостачання:

- Відсутність або неправильна робота приладів обліку і регулювання може призводити до невідповідного використання енергії і зайвих витрат.

7. Велика кількість мереж зовнішніх теплотрас і недостатня теплоізоляція:

- Наявність багатьох мереж зовнішніх теплотрас і їхній недостатній захист може призводити до значних втрат тепла в результаті недостатньої теплоізоляції.

Зменшення використання вичерпних природних ресурсів, які витрачаються на опалення, вентиляцію та кондиціонування (ОВК), стає надзвичайно важливою метою у зв'язку з обмеженістю цих ресурсів. В сучасний період в розвинених країнах Європейського союзу ключовим напрямком стає розробка та будівництво енергоефективних будівель, так званих "зелених будівель". Зелене будівництво представляє собою метод проектування, будівництва та експлуатації будівель, спрямований на зменшення енергоспоживання та використання ресурсів, при цьому зберігаючи або підвищуючи комфорт умов мікроклімату.

Основними завданнями, які вирішуються через впровадження зеленого будівництва, є:

- Зменшення негативного впливу на навколишнє середовище;
- Скорочення використання природних ресурсів під час експлуатації будівель;
- Підвищення енергетичної ефективності будівель та споруд.

Відповідно до європейської системи класифікації енергоефективних будівель [7], будівлі та споруди можна класифікувати у кілька категорій, як вказано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Класифікація будівель і споруд за рівнем річного споживання енергії

Класифікація будівель	Річне споживання енергії, кВт*год/м ²
Стара будівля	299
Нова будівля	149
Будівля низького енергоспоживання	61
Пасивний будинок	16
Будівля 0 енергії	0
Будівля + енергії	Вироблення енергії більше, ні споживає

Відповідно до стандартів Європейського союзу, починаючи з 2020 року, у Європі буде дозволено будівництво лише тих об'єктів, які відповідають вимогам щодо енергоефективності, які не нижче стандарту пасивного будинку.[8]

Україна активно впроваджує законодавчі норми, спрямовані на підвищення енергетичної ефективності будівель і споруд. Процес проектування і будівництва нових об'єктів, а також реконструкції існуючих, базується на вимогах Закону України "Про енергетичну ефективність будівель". Цей закон визначає стандарти та норми, які регулюють енергетичну ефективність будівель з метою зменшення споживання енергії та підвищення сталість будівництва.

Закон також може містити вимоги щодо застосування енергозберігаючих технологій, ізоляції, систем опалення, вентиляції та

кондиціонування, сприяючи створенню енергоефективних будівель відповідно до сучасних стандартів. Це може включати в себе такі аспекти, як використання ефективних матеріалів, встановлення інтелектуальних систем керування, а також інші інженерні рішення з метою оптимізації споживання енергії.

Такі законодавчі кроки сприяють зменшенню енергетичних витрат і сприяють створенню більш стійких та екологічно чистих об'єктів інфраструктури в Україні.

А також проектування та реконструкція виконується на підставі ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування», та ДСТУ Б EN 15251:2013. (табл.1.2)

Таблиця 1.2 - Класифікація енергоефективності житлових та громадських будівель залежно від різниці між розрахунковим значенням питомої характеристики витрати теплової енергії на опалення та вентиляцію та нормованим значенням.

Клас	Найменування класу	Величина відхилення розрахункового значення питомої характеристики витрати теплової енергії на опалення і вентиляцію будівлі від нормованого, %
A++	Дуже високий	Нижче - 59
A+		від -49 до -59 включно
A		від -439 до -49 включно
B+	Високий	від -29 до -49 включно
B		від -14 до -29 включно
C+	Нормальний	від -4 до -14 включно
C+		від +4 до -4 включно
C-		від +14 до +4 включно
D	Понижений	від +14,1 до +49 включно
E	Низький	Більше +49

При аналізі питань проектування і вибору систем вентиляції важливим етапом є визначення типу будівлі та характеристик приміщень, таких як санітарні, пожежні і вибухові параметри. Для цього необхідно детально вивчити характеристики виділених забруднень, таких як вологість, пари, гази і пил, і визначити кількість повітря, необхідного для комфортного перебування людини в приміщенні, враховуючи кратність повітрообігу та температурні параметри.

Згідно отриманих умов можна виділити різні типи будівель, такі як житлові, промислові, сільськогосподарські та громадські, кожен із яких вимагає особливого підходу до вибору систем вентиляції та кондиціонування.

У житлових будівлях, наприклад, часто застосовується природна вентиляція, яка забезпечує переміщення повітря в приміщеннях за допомогою протягів або за рахунок різниці температур між зовнішнім та внутрішнім повітрям. Тепле повітря нагрівається в будівлі і виводиться через верхні вентиляційні канали, тоді як холодне повітря ззовні надходить через припливні вентиляційні шахти у підлозі.

Кожен тип будівель має свої власні вимоги до систем вентиляції, оскільки вони враховують особливості їх призначення та експлуатації. Важливо враховувати ці особливості при обранні оптимального способу вентиляції, щоб забезпечити ефективну роботу системи та комфорт для користувачів будівлі.

Також можна визначити використання приточної та витяжної вентиляції, принцип яких базується на подачі свіжого повітря та виведенні відпрацьованого повітря з приміщень через спеціально встановлені вентиляційні коробки відповідно.

- Приточна вентиляція: Цей метод передбачає постійне подавання свіжого повітря зовні в приміщення. Приточна система може включати вентиляційні коробки або канали, які доставляють свіже повітря, часто підігріване або охолоджене, залежно від потреб користувачів.

- **Витяжна вентиляція:** Цей метод включає в себе видалення відпрацьованого повітря з приміщення і його виведення назовні. Це може бути здійснено також за допомогою вентиляційних коробів чи каналів, які виводять відпрацьоване повітря туди, де воно не створить дискомфорт для людей або не вплине на якість повітря.

Комбінування приточної та витяжної вентиляції дозволяє створити ефективну систему, яка забезпечить постійне оновлення повітря в приміщенні, зберігаючи його чистим та комфортним для користувачів.

У більшості випадків вентиляція промислових будівель реалізується природним шляхом, оскільки ці будівлі мають значну площу і, відмінно від приміщень для побутового використання, не є "закритими". Природна система вентиляції ґрунтується на природній циркуляції повітря між внутрішнім приміщенням та зовнішнім середовищем за допомогою вікон, дверних щілин, вентиляційних решіток та інших відкритих відомів [9].

Цей метод використовує природний рух повітря, викликаний різницею температур і тисків між внутрішнім і зовнішнім середовищем, щоб створити потік свіжого повітря та видалити відпрацьоване повітря. Вентиляційні решітки та інші відкриті структури створюють шлях для циркуляції повітря, дозволяючи йому входити та виходити з приміщення.

Цей підхід може бути особливо ефективним у промислових об'єктах, де часто виникає значна кількість теплоти чи пари, і де великі простори вимагають постійного обміну повітря. Природна вентиляція дозволяє ефективно вирішувати ці потреби, забезпечуючи при цьому економічні та екологічні переваги.

Проте іноді природної вентиляції буває недостатньо. Причини цього можуть бути різноманітні, такі як накопичення шкідливих газів, що можуть негативно вплинути на самопочуття працівників, або особливості виробничого процесу, що включає спалювання кисню, наприклад, у ливарних цехах.

У випадку технологічного обслуговування сільськогосподарських комплексів, система вентиляції стає невід'ємною частиною їхньої експлуатації. З урахуванням великих площ цих комплексів масштаби системи вентиляції можуть бути значними, а вибір обладнання залежатиме від конкретних завдань, які вона повинна вирішувати. Наприклад, для ефективної роботи овочесховища ключовим фактором буде забезпечення потрібної температури у приміщенні. Для досягнення цього мету використовується холодильне обладнання з визначеною продуктивністю, і, крім того, організовується система повітрообміну, яка враховує тип зберіганих продуктів.

Вентиляція надзвичайно важлива для громадських приміщень [13], де збирається велика кількість людей. Подовження якості повітря може бути досягнуто шляхом використання централізованих систем вентиляції або індивідуальних рішень для кожного конкретного простору. У багатоповерхових будинках система вентиляції реалізується за допомогою спеціально влаштованих вертикальних каналів на кожному рівні. Коридори також оснащені горизонтальними повітроводами, які зазвичай розташовані в підвісних стелях. Всі вентилязовані структури доповнюються вставками, що поглинають шум, для зменшення поширення звуків між кабінетами.

Поділ систем вентиляції надано у таблиці 1.3

Таблиця 1.3 - Відповідність вентиляційних систем різним типам будівель

Системи вентиляції та кондиціонування	Промисло в і будівлі	Житлові будівлі	Громадськ і будівлі	Сільсько - господарськ і будівлі
Витяжна система		+		+
Система центрального	+		+	

кондиціонування				
Припливо-вितяжна система з рекуперацією	+		+	
Чиллер - фанкойл			+	
Припливна система		+		+
Природня вентиляція	+	+	+	+

Найбільш поширений тип вентиляції в громадських будівлях - припливно-вितяжний.

1.2 Аналіз використання інженерних систем у громадських будівлях

Інженерні системи будівель і споруд призначені для забезпечення комфортних умов перебування людей та проведення технологічних процесів на різних об'єктах. Зазвичай, будинки та споруди оснащуються інженерними системами, які є споживачами різних видів енергії (теплової, електричної тощо) і ресурсів, необхідних для забезпечення життєдіяльності та виробничих процесів [10].

Ці системи включають в себе теплові системи (опалення, вентиляція, гаряче водопостачання), системи електроживлення (освітлення, електроприводи для агрегатів, механізмів тощо) і різноманітні системи постачання ресурсів (водопостачання, газопостачання, різні види палива).

Так, системи опалення і вентиляції відіграють важливу роль у забезпеченні комфортних умов в приміщеннях. Система опалення дозволяє підтримувати оптимальну температуру, забезпечуючи тепло в холодні

періоди. З іншого боку, система вентиляції забезпечує обмін свіжим повітрям, видалення забруднень та підтримання необхідної вологості та рухливості повітря в приміщенні. Обидві системи взаємодіють для створення здорового та комфортного середовища для проживання або роботи.

За існуючими нормами та підходами до опалення будівель важливо враховувати не лише стандартні прийоми, але й конкретні умови конструкції будівель, їх призначення та географічні особливості. Використання водяного теплоносія і місцевих нагрівальних приладів, які підключаються до внутрішніх мереж теплопостачання, є загальним підходом.

Проте, при проектуванні систем опалення слід враховувати індивідуальні особливості будівель, такі як їхні теплові втрати, ефективність ізоляції, області знаходження вікон, кількість людей і обладнання в приміщеннях, а також метеорологічні умови. Це може вимагати адаптацій стандартних систем та впровадження додаткових технологічних рішень.

Наприклад, використання потрійного скління для захисту від випадання конденсату та встановлення повітряних завіс для запобігання інфільтрації через двері - це додаткові заходи, які можуть покращити енергоефективність і комфортні умови в приміщеннях.

Нестандартні рішення можуть бути ефективними, особливо якщо вони враховують конкретні умови і призводять до поліпшення санітарно-гігієнічних умов та зниження захворюваності працівників. У цьому контексті важливо збалансувати вартість впровадження нестандартних рішень із їхньою практичністю та ефективністю в конкретних умовах експлуатації.

Системи вентиляції адміністративно-побутових будівель можуть бути організовані з використанням природного або механічного спонукання, в залежності від вимог до повітрообміну та наявних технічних можливостей.

Розглянемо обидва підходи:

1. Природне спонукання:

- Принцип дії: В даному випадку вентиляція відбувається за рахунок природних сил, таких як теплова конвекція, вітряні потоки, і різниця тисків.

- Приклади: Використання вікон, дверей, вентиляційних отворів і вентиляційних шахт для забезпечення циркуляції повітря.

2. Механічне спонукання:

- Принцип дії: У цьому випадку вентиляція забезпечується за допомогою механічних систем, таких як вентилятори та кондиціонери.

- Приклади: Вентиляційні системи, які використовують вентилятори для витягування або подавання повітря в будівлю.

Обираючи між природним та механічним способом вентиляції, проектувальники беруть до уваги різні фактори, такі як енергоефективність, екологічність, технічні можливості будівлі, регіональні кліматичні умови та інші вимоги. Вибір залежить від конкретних потреб та умов бо обидва підходи мають свої переваги і недоліки. Вертикальні повітроводи вважаються раціональним та ефективним видом устаткування в системах вентиляції для транспортування припливного і витяжного повітря. Ось кілька переваг та ключових аспектів вертикальних повітроводів:

1. Ефективність розподілу повітря:

- Вертикальні повітроводи забезпечують ефективний розподіл припливного і витяжного повітря вздовж висоти будівлі. Це дозволяє оптимально використовувати простір та забезпечувати однаковий обмін повітря на різних рівнях.

2. Простота устаткування:

- Вертикальні повітроводи можна легко враховувати при проектуванні будівлі. Вони можуть входити в склад вентиляційних несучих або приставних блоків, що спрощує процес монтажу та обслуговування.

3. Компактність:

- Вертикальні повітроводи дозволяють зекономити місце і не потребують великої площі для розташування. Це особливо важливо в приміщеннях з обмеженим простором.

4. Можливість регулювання:

- Системи з вертикальними повітроводами можуть бути оснащені регулюючим обладнанням, яке дозволяє контролювати обсяги припливного і витяжного повітря в залежності від потреб та зовнішніх умов.

5. Сумісність з іншими інженерними системами:

- Вертикальні повітроводи легко інтегруються з іншими інженерними системами будівлі, такими як системи опалення, кондиціонування та вентиляції.

6. Зниження тепловтрат:

- Добре спроектовані вертикальні повітроводи можуть допомогти зменшити тепловтрати та забезпечити ефективну ізоляцію.

Загалом, вертикальні повітроводи є одним із ефективних та популярних варіантів для транспортування повітря в системах вентиляції, особливо в індустріальних будівлях.

Горизонтальні ділянки для припливу та витяжки повітропроводів входять до категорії будівельних конструкцій та виготовляються переважно з неметалевих коробчатих матеріалів. У комплекті з вказаним обладнанням також включаються нерегульовані жалюзійні решітки площею до 0,5 м², виготовлені також з неметалевих матеріалів.

Розміщення систем з припливними та витяжними решітками в приміщеннях спрямоване на забезпечення ефективної циркуляції повітря у всьому об'ємі приміщення, при цьому уникнення застійних зон. Блоки припливних установок максимізуються та централізовано розташовуються з метою забезпечення необхідного ступеня чистоти повітря на зовнішніх повітрязабірних пристроях. Враховуються зони розподілу шкідливих речовин на території промислових майданчиків, для того щоб повітря, що

подається на припливну вентиляцію, відповідало санітарно-гігієнічним вимогам.

Для видалення обробленого повітря рекомендується використовувати обладнання, таке як дефлектори в системах природної вентиляції або дахові вентилятори в системах механічної вентиляції. Окремі приміщення для побуту та адміністрації оснащуються системами кондиціонування повітря, які автоматично підтримують задані параметри, такі як температура, відносна вологість, обмін, швидкість та склад повітря.

Використання сучасних систем кондиціонування дозволяє не лише підтримувати оптимальні параметри повітря, але і економити енергію завдяки автоматизації та ефективному використанню ресурсів.

Ці елементи інженерних систем спільно впливають на якість повітря, комфорт та енергоефективність у будівлях. Розумне планування та використання цих систем допомагає створити оптимальні умови для праці та відпочинку в будь-яких типах будівель.[12]

В екстремальних кліматичних умовах і при виконанні робіт із значним технічним навантаженням важливо мати належне обладнання для забезпечення комфорту та ефективності працівників. Системи кондиціонування повітря та спеціалізоване обладнання можуть бути ключовими для забезпечення нормальної працездатності та безпеки в таких умовах.

Системи кондиціонування можуть бути організовані відповідно до розміру обслуговуваних приміщень: місцеві - для окремих або невеликих груп приміщень, і централізовані - для великих просторів. Широко поширеною є концепція якісного регулювання повітря, де забезпечується зміна інших параметрів при постійному потоку повітря.

Ефективнішим методом кондиціонування повітря є регулювання обсягу припливного та витяжного повітря при сталому рівні інших параметрів, зокрема температури. Розвиток систем кондиціонування повітря зорієнтований на використання блочно-модульних агрегатів, що вже

повністю готові на заводі, і обладнаних уніфікованими електронними системами регулювання. Це сприятиме значному зменшенню експлуатаційних витрат для такого обладнання.

1.3 Аналіз нормативно-правового забезпечення використання вентиляційних систем

Відповідно до нормативного документу ДБН В.2.2-9:2018, системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, включаючи системи аварійної протидимної вентиляції, повинні бути проєктовані з урахуванням вимог, визначених у ДБН В.2.6-31, ДБН В.2.5-39, ДБН В.2.5-56, ДБН В.2.5-67, ДБН В.2.5-77, а також НПАОП 0.00-1.51. До цього додаються вимоги, визначені у ДСТУ-Н Б В.2.5-43 та будівельних стандартах для різних видів будівель та споруд.[13]

Стандарти ДБН В.2.5-67:2013 застосовуються у різних видах будівельних робіт, таких як реконструкція, нове будівництво, капітальний ремонт, термомодернізація та технічне переоснащення існуючих систем опалення, внутрішнього теплопостачання, вентиляції, повітряного опалення, кондиціонування та охолодження повітря у приміщеннях різних будівель та споруд.[14]

Для забезпечення постійної та щоденної підтримки необхідних параметрів у виробничих та громадських приміщеннях рекомендується встановлювати системи кондиціонування повітря та припливної вентиляції з подвійними установками. Це означає, що наявність додаткової установки є обов'язковою, і вона має забезпечувати 50% необхідного повітрообміну та температуру не менше 12°C під час холодних періодів. Це відповідає вимогам нового стандарту ДБН В.2.2-9:2018.[13]

Відповідно до ДБН В.2.6-31, громадські споруди мають бути спроектовані з класом енергоефективності не нижче «С». Це означає, що системи вентиляції та кондиціонування повинні відповідати вимогам класу

енергоефективності будівлі згідно з ДСТУ 2339. Рекомендується використовувати технічне оснащення класу енергоефективності "А".[14]

Вимоги до енергозбереження для систем вентиляції, опалення та кондиціонування враховуються відповідно до ДБН В.2.5-67. Зазначено, що огорожувальні конструкції будівель і споруд мають бути спроектовані так, щоб розрахунок значень приведенного опору теплопередачі, обчислених з урахуванням теплопровідних включень відповідно до ДСТУ Б В.2.6-189, був меншим за нормативні значення, визначені згідно з ДБН В.2.6-67.

Під час проектування систем механічної загальнообмінної вентиляції та кондиціонування повітря необхідно визначити питому вентиляційну потужність та відповідну категорію SPF (специфічної вентиляційної потужності) відповідно до ДСТУ Б EN 13779. Класифікацію питомої вентиляційної потужності залежно від категорії SPF можна знайти у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Категорії питомої вентиляційної потужності

Познака категорії	Значення P_{spf} , Вт/(м ³ /с)
SFP1	<510
SFP2	510 - 760
SFP3	760- 1260
SFP4	1260-2010
SFP5	2010 - 3010
SFP6	3000 - 4510
SFP7	>4510

Потужність вентиляції (SFP) за ДСТУ Б EN 13779 для будівлі або вентиляційної системи - це відношення загальної електричної потужності,

яку витрачають всі вентилятори системи обміну повітря, до загального обсягу транспортованого повітря у приміщенні при розрахунковому навантаженні [13]:

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

де SFP - питома вентиляційна потужність для будівлі або вентиляційної системи, Вт*с/м³;

Q_{max} - розрахункова витрата повітряного потоку через будівлю (найбільша з витрат припливного або витяжного повітря), м³/с.

P_{ef} - повна потужність витяжних вентиляторів при розрахунковій витраті повітря, Вт;

P_{sf} - повна потужність припливних вентиляторів при розрахунковій витраті повітря, Вт;

$$P_{SFP} = \frac{P}{Q_V} = \frac{\Delta P}{n_{tot}}, \quad (1.2)$$

Питому потужність окремого вентилятора визначають, як:

де P_{SFP} - питома вентиляційна потужність, Втс/м³;

Q_V - продуктивність вентилятора по повітрю, м³/с

P - споживана потужність двигуна вентилятора, Вт;

$Q\Delta P$ - повний тиск вентилятора, Па;

n_{tot} - повний ККД вентилятора і електропривода.

При розробці проекту вентиляції важливо визначити потужність вентиляції для порівняння різних проектних рішень, як для всієї будівлі, так і для окремих систем чи вентиляторів. При розрахунках рекомендується використовувати таблицю 1.5 для встановлення найнижчої категорії SFP (або максимального значення питомої вентиляційної потужності) з метою вибору

оптимального рішення.

Таблиця 1.5 - Значення категорій питомої вентиляційної потужності SFP

Застосування	Категорія <i>SFP</i> з розрахунку на вентилятор	
	Типовий діапазон	Типове значення
- Система вентиляції без теплоутилізації	<i>SFP 1 -SFP4</i>	<i>SFP 3</i>
Витяжний вентилятор: - система кондиціонування повітря або система вентиляції з теплоутилізацією;	<i>SFP 1 - SFP 5</i>	<i>SFP3</i>
- система вентиляції без теплоутилізації	<i>SFP 1 -SFP4</i>	<i>SFP2</i>

Рівень специфічної вентиляційної потужності визначається втратами тиску, ефективністю вентилятора та його двигуном.

Для зменшення споживання енергії важливо, щоб втрати тиску в окремих частинах системи (секціях) були мінімальними відповідно до технічних характеристик системи. Якщо конкретна частина системи має великий втрати тиску, то для забезпечення необхідної категорії SFP варто компенсувати це зниженням втрат тиску в інших частинах системи.

1.4 Висновки до 1 розділу

Аналіз стану енергозбереження адміністративних будівель свідчить про те, що існуючі об'єкти не відповідають класу енергозбереження «С» через нераціональне використання теплової енергії.

Необхідність раціонального використання теплової енергії вказує на потребу вдосконалення енергоефективності існуючих будівель. Обґрунтування ефективності використання системи вентиляції, як частини інженерних систем громадських будівель, є важливим аспектом для досягнення цілей енергозбереження.

Проведено аналіз нормативно-технічного та нормативно-правового забезпечення стосовно використання та проектування вентиляційних систем. Встановлення вимог до забезпечення комфортних умов у приміщеннях є ключовим елементом у розвитку ефективних та енергозберігаючих систем.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ

2.1. Призначення та класифікація вентиляційних систем

Системи вентиляції та кондиціонування відіграють важливу роль у поліпшенні умов праці, забезпеченні необхідних санітарно-гігієнічних стандартів і підвищенні ефективності охолоджуючих пристроїв енергетичних установок.

У загальному визначенні, система - це комплекс взаємопов'язаних елементів або об'єктів. Кожну систему можна уявити як об'єкт, що включає в себе визначені входні параметри (входи), які визначають вплив навколишнього середовища або інших систем, і вихідні параметри (виходи), які характеризують вплив даної системи на навколишнє середовище або інші системи.

Визначення вентиляції включає в себе комплекс заходів і пристроїв, які використовуються для організації повітрообміну з метою забезпечення визначеного стану повітряного середовища в приміщеннях і на робочих місцях відповідно до ДБН (Державні будівельні норми) [4].

Визначаючи термін "вентиляційна система", маємо на увазі комплекс споруд, апаратів та інших пристроїв, які пов'язані між собою повітропроводами, утворюючи єдиний технологічний комплекс для обробки, транспортування, подачі і видалення повітря.

Системи вентиляції відповідають за забезпечення дотримання припустимих метеорологічних параметрів у приміщеннях різного призначення [4].

Серед різноманітності вентиляційних систем, яка визначається призначенням приміщень, характером технологічного процесу, видом шкідливих виділень і т. д., можна виокремити кілька характерних ознак для їх класифікації:

- за призначенням (припливні і витяжні);
- сфери дії (місцеві і загальнообмінні);
- способу переміщення повітря (природні і механічні);
- конструктивними особливостями (канальні і безканальні).

За призначенням. Припливні системи призначені для постачання чистого повітря у вентилязовані приміщення, яке може бути оброблене за необхідності (очищення, нагрівання, зволоження і т.д.). Витяжні системи використовуються для видалення забрудненого повітря з приміщень. У більшості випадків у приміщеннях використовуються як припливні, так і витяжні системи, з урахуванням узгодженої продуктивності. Іноді в приміщеннях може бути встановлена тільки витяжна або припливна система, де повітря подається ззовні або видаляється на зовнішню частину чи в сусідні приміщення.

За сферою дії. Місцеві системи вентиляції обслуговують обмежені ділянки приміщення і, хоча вони зазвичай ефективні, не завжди вирішують всі завдання вентиляції через різний характер виділення шкідливих речовин та розташування робочих місць. Для забезпечення вентиляції в приміщенні в цілому або в значній його частині застосовують загальнообмінні системи, що включають як припливні, так і витяжні елементи.

За способом переміщення повітря. Переміщення повітря у вентиляційних системах може відбуватися природно, за рахунок різниці температур зовнішнього та приміщеного повітря, або в результаті впливу вітру. Це називається природною вентиляцією. Іншим методом є механічна вентиляція, коли повітря переміщується під тиском, що створюється спеціальним вентилятором.

З погляду конструктивних особливостей, вентиляційна система може мати розгалужену мережу повітропроводів для переміщення повітря, або вона може відзначатися відсутністю каналів, наприклад, коли вентилятор встановлений безпосередньо в стіні, перекритті і т.д. [2].

2.2 Критерії вибору системи вентиляції

При виборі системи кліматизації проектувальники керуються різними критеріями, які відображають можливості та пріоритети замовника. Важливо враховувати, що у інвесторів, які будують об'єкти для продажу чи оренди, та фахівців, які розробляють проекти, можуть бути різні погляди на критерії вибору системи. Інвестори можуть покладати акцент на швидкість будівництва та надійність, в той час як фахівці можуть враховувати високі стандарти якості повітря, які вони вважають важливими.

При виборі системи кліматизації для будівлі необхідно враховувати технічне завдання, в якому визначені конкретні вимоги до мікроклімату, рівня шуму та інших параметрів. Також слід враховувати бажаний термін служби системи та оцінювати майбутні витрати на обслуговування. Естетичні вимоги дизайнера, замовника та користувача також є важливим фактором.

Деякі критерії вибору типу системи є визначальними, і вони призводять до простої відповіді "так" або "ні". Система або відповідає цим ключовим критеріям, або ні. Якщо система не відповідає визначальному критерію, то вона може бути виключена з розгляду для проекту.- хіба що на її прийнятті наполягатиме замовник. Ось кілька прикладів таких критеріїв.

Функціональні вимоги. Взаєморозуміння між замовником і проектувальником щодо функціональності системи визначається як один із найважливіших моментів при виборі системи. Незалежно від якості системи в інших аспектах, вона повинна відповідати вимогам функціональності. Однак проектувальник може переконати замовника, що змінивши свої вимоги, він може отримати більший ефект від запропонованого рішення.

Вимоги до продуктивності. У випадку, коли потрібно подавати повітря припливною системою з певною мінімальною кількістю м³/год при заданій температурі t °C, проектувальник не має вибору і повинен обрати систему, що відповідає цим умовам. Важливо враховувати, що різні системи можуть

мати різну продуктивність в розрахунку на будівлю в цілому, при цьому забезпечуючи однаковий ефект.

При визначенні продуктивності систем, коли відомі об'ємно-планувальні та конструктивні характеристики будівлі, ключовими факторами є зовнішня температура, сонячна радіація та обсяг технологічних викидів, які, як правило, включають внутрішні теплові та газові виділення. Некоректний кількісний вибір цих факторів може призвести до відмови системи кліматизації в роботі або непотрібного запасу потужності систем.

Наприклад, при використанні температури зовнішнього повітря з запасом в 0,92 як розрахункового показника для систем опалення, зазвичай не проводиться перевірка того, яка температура повітря буде в конкретному приміщенні під час різкого похолодання, коли температура зовнішнього повітря буде нижчою, ніж розрахункова. Оцінка ймовірного значення температури внутрішнього повітря в квартирах житлових будинків після 1998 року вказує, що для будівель вище 6 поверхів у діапазоні значень розрахункової температури зовнішнього повітря $-24...-29$ °C температура внутрішнього повітря (при відсутності тепловиділень і в умовах масової сьогоднішньої нерегульованої системи вентиляції) може знизитися до 12-13 °C, що є неприйнятним.[24]

Вимоги до розміщення. Рекомендована система повинна бути розташована у відведеному для неї просторі будівлі. Незалежно від надійності, економічності експлуатації та рівня шуму, систему не можна використовувати, якщо відсутнє спеціально відведене місце для її розміщення.

Капітальні витрати. Початкові капітальні вкладення включають не лише вартість самої системи, а також враховують вплив різних систем на витрати електроенергії, вартість займаної площі чи спеціальних будівельних робіт і огорож, а також можливі подальші витрати на перепланування або

установку додаткового спеціального обладнання. Очікуваний термін служби системи також взаємодіє з капітальними витратами.

Експлуатаційні витрати. В першу чергу розглядається вартість енергії, оскільки це зазвичай є найбільшою складовою експлуатаційних витрат. Можливість використання "безкоштовного" холоду в зимовий період, використання утилізаторів тепла для вентиляції та згладжування пікових навантажень за допомогою акумуляторів тепла впливає на вартість енергопостачання. Також враховується потреба у періодичному нагляді або наявність постійного обслуговуючого персоналу. Порівнюється вартість планового технічного обслуговування і ремонту. Для систем із водяним охолодженням важливою є вартість води, хімічної підготовки води та спеціальних систем водовідведення.

Комфорт. Здійснюється порівняльний аналіз можливостей кожної системи забезпечення комфортних умов, враховуючи питання місцевого регулювання температури, зонального контролю, рівня шуму, подачі зовнішнього вентиляційного повітря, можливостей стельового опалення, управління димом від вікон при великій висоті скління, порівняльної ефективності різних методів очищення повітря, а також можливих наслідків відмови від одного з елементів обладнання.

Оскільки немає єдиної оптимальної системи для кожного проекту, а також немає єдиного вірного способу представлення результатів вибору систем, одним із ефективних методів є створення зведеної таблиці. У простих проектах для прийняття рішення може вистачити таблиці з грубими оцінками (добре, краще, дуже добре) та супровідного листа для замовника. Така таблиця містить інформацію про розглянуті системи, їх переваги та недоліки для конкретного проекту за такими параметрами, як комфорт, розміщення, капітальні та експлуатаційні витрати.

В більш складних проектах інформація може займати багато сторінок і включати схеми, розрахункові таблиці, пояснювальний текст і кількісні порівняння.

2.3 Умови обмеження вибіру вентиляційних систем та систем кондиціонування

Правильно вказано, що не існує єдиної, найкращої системи кліматизації для всіх випадків життя. Також важливо враховувати, що не існує універсальної оптимальної системи для кожного типу проектів чи конкретного проекту. У виборі системи важливо відкидати непридатні варіанти та порівнювати переваги придатних систем, забезпечуючи відповідність обмежуючим умовам конкретного проекту.

Розрахункові навантаження по теплу і холоду. Система охолодження повинна відводити тепло з приміщень відповідно до теплонадходжень, а система опалення має забезпечувати обігрів відповідно до тепловтрат. Це стосується як будівлі в цілому, так і кожного окремого приміщення. Проектувальник повинен розраховувати пікові теплові навантаження для кожного приміщення та кожної системи, уникаючи використання наближених значень питомих показників, які можуть бути взяті з практики. Також важливо, щоб потужність установки не була менше розрахункової.

При виборі схемних рішень системи кондиціонування повітря важливим критерієм є нерівномірність розподілу теплових навантажень по обслуговуваним приміщенням, що визначається концепцією "градієнту теплового навантаження". Величина цього градієнту (2.1) визначається відношенням індивідуальних теплових навантажень окремих приміщень (q_i) до середньої розрахункової по всій площі будівлі, яку обслуговує система кондиціонування повітря (q_{cp}).

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

Система кондиціонування повітря повинна мати більші регулюючі можливості чим більше відхилення значень градієнтів від 1.

Зональне регулювання .Пікові навантаження виникають лише кілька годин на рік, і вони можуть мати місце в різний час доби або в різні місяці на різних сторонах будівлі. У той час як для зовнішніх зон ці пікові

навантаження можуть бути тимчасовими, внутрішні зони вимагають стабільного охолодження протягом всього року, незалежно від параметрів зовнішнього повітря. Система кондиціонування повітря повинна забезпечити необхідну продуктивність для кожного приміщення з можливістю зміни цієї продуктивності відповідно до графіка, а це може впливати на розмір системи та експлуатаційні витрати.

Опалення. Система повинна ураховувати тепловтрати через зовнішні стіни та покрівлю, а також забезпечувати нагрівання зовнішнього повітря, що вводитьься в будівлю через вентиляцію або через нещільності (інфільтрацію). Однак нагрівання внутрішньої зони не повинно компенсувати тепловтрати через вікна в периферійних зонах. У холодний період року система опалення також повинна захищати людей від холодних потоків повітря від вікон та зовнішніх стін з недостатньою теплоізоляцією для забезпечення комфортних умов.

Вентиляція. Необхідно забезпечувати доставку свіжого повітря в приміщення, при цьому обсяг вентиляційного повітря повинен відповідати рекомендаціям та стандартам. Вимоги до систем вентиляції спрямовані на зниження концентрації різних забруднень повітря до прийняттого рівня. Ці забруднення можуть бути біологічного походження, викликані присутністю людей, тому багато нормативів вентиляції використовують показник витрати припливного повітря в м³/год на особу. Однак у приміщеннях можуть існувати інші джерела викидів, такі як копіювальна техніка, факси, лазерні принтери, килими, декоративні матеріали та, іноді, меблі.

Архітектурні обмеження. Система повинна адаптуватися до відведеного для неї простору. Для деяких систем критичним може бути розглядана висота поверху, тоді як для інших - зазор між встановленим обладнанням і стелею. Інші фактори, пов'язані з розміщенням, включають наявність простору для прокладання повітроводів, машинних залів або невеликих приміщень для обладнання. Вторинення в приміщення може бути фізичним - наприклад, при встановленні фанкойлів, або акустичним - у

вигляді шуму від обладнання під стелею або в суміжному приміщенні, що є важливим для багатьох замовників і архітекторів. Важливим є також візуальне вторгнення: якщо систему не вдається приховати, вона повинна гармонійно вписуватися в дизайн інтер'єру.

Бюджет. Часом бюджет може бути найжорсткішим обмеженням для замовників, яке має велике значення. Хоча більшість замовників обмежені певною сумою витрат на проект, розумні клієнти розуміють, що система з низьким енергоспоживанням і доступним обслуговуванням - це інвестиція в майбутнє. Іноді замовники готові зробити великі капіталовкладення, якщо передбачається попередньо розраховане зниження річних витрат. Інформація, що переконує їх у цьому, повинна бути включена в проектну документацію.

Стандарти та нормативи. Проектувальники повинні розробляти системи відповідно до чинних стандартів і нормативів. Для здійснення будівництва запроєктованої системи необхідно отримати дозвіл, що передбачає розгляд проекту наглядовими органами. Іноді проектувальник може пропонувати альтернативне рішення, яке потрібно погодити з відповідними органами. Заздалегідь важливо обговорити ці питання та вирішити спірні моменти до офіційного подання на узгодження та, звісно, до початку будівництва. Проектувальник повинен мати повну інформацію про всі наглядові органи з необхідними юридичними повноваженнями і вміти ефективно врегульовувати питання з усіма інстанціями, від яких залежить отримання дозволу.

Навантаження. При виборі системи необхідно аналізувати всі види теплових навантажень та їх розподіл в приміщеннях.

Теплові навантаження поділяються на явні та приховані. Явне тепло визначається температурою повітря за сухим термометром, а приховане тепло, або вологовміст, визначається вологістю повітря. На психрометричній діаграмі явне тепло представлено горизонтальним відрізком, а приховане тепло відображається вертикальним відрізком.

Приміщення та холодильне обладнання. Тепло в приміщення надходить з різних джерел, таких як трансмісійна теплопередача через огороження, сонячна радіація через вікна та внутрішні тепловиділення. Теплообмінник-охолоджувач повинен асимілювати не лише теплові потоки в приміщення, але й нагрівати рециркуляційне повітря, тепло і вологу зовнішнього вентиляційного повітря, а також тепловиділення вентиляторів, що встановлені до охолоджувача. Таким чином, теплове навантаження приміщення відрізняється від теплового навантаження на холодильне обладнання, і це взаємодія значно впливає на вибір типу системи.

Явне тепло представляє собою частину теплового навантаження, і цей показник обчислюється як відношення явного тепла до загального тепла (суми явного та прихованого тепла). Відмінність між часткою явного тепла для теплового навантаження приміщення і аналогічним показником для системи охолодження проявляється в оптимальній температурі та витраті припливного повітря, що визначає вибір системи кондиціонування та охолодження.

2.4 Конструктивне виконання вентиляційних систем

Нині система вентиляції є основним споживачем теплової енергії у будівлі. Найбільш очевидним це являється в громадських і адміністративних будівлях, де найчастіше використовується припливно-витяжна система вентиляції.

З 1999 року в нашій країні проводилися заходи, пов'язані зі зниженням величини питомої річної витрати енергетичних ресурсів будівель, в основному за рахунок підвищення теплозахисту і оптимізації авторегулювання і обліку теплоспоживання на опалювання як найменш витратних на сьогодні енергозбережних заходів. З 2018 питома річна витрата теплової енергії на опалювання і вентиляцію багатоквартирного будинку складає 70 кВт/м^2 з наступним співвідношенням тепловтрат :

- тепловтрати через світлопрозорі огорожувальні конструкції – 25 %;
- тепловтрати через світлопрозорі огорожувальні конструкції - 17 %;
- тепловтрати, пов'язані з нагрівом припливного повітря, - 58 %.

Аналіз структури тепловтрат багатоповерхової будівлі (рис. 2.1) вказує на те, що ключовим напрямком для ефективного зменшення витрат енергоресурсів є заходи, спрямовані на зниження енергії, яка витрачається на нагрів припливного повітря. Це особливо актуально для регіонів з тривалим опалювальним періодом.

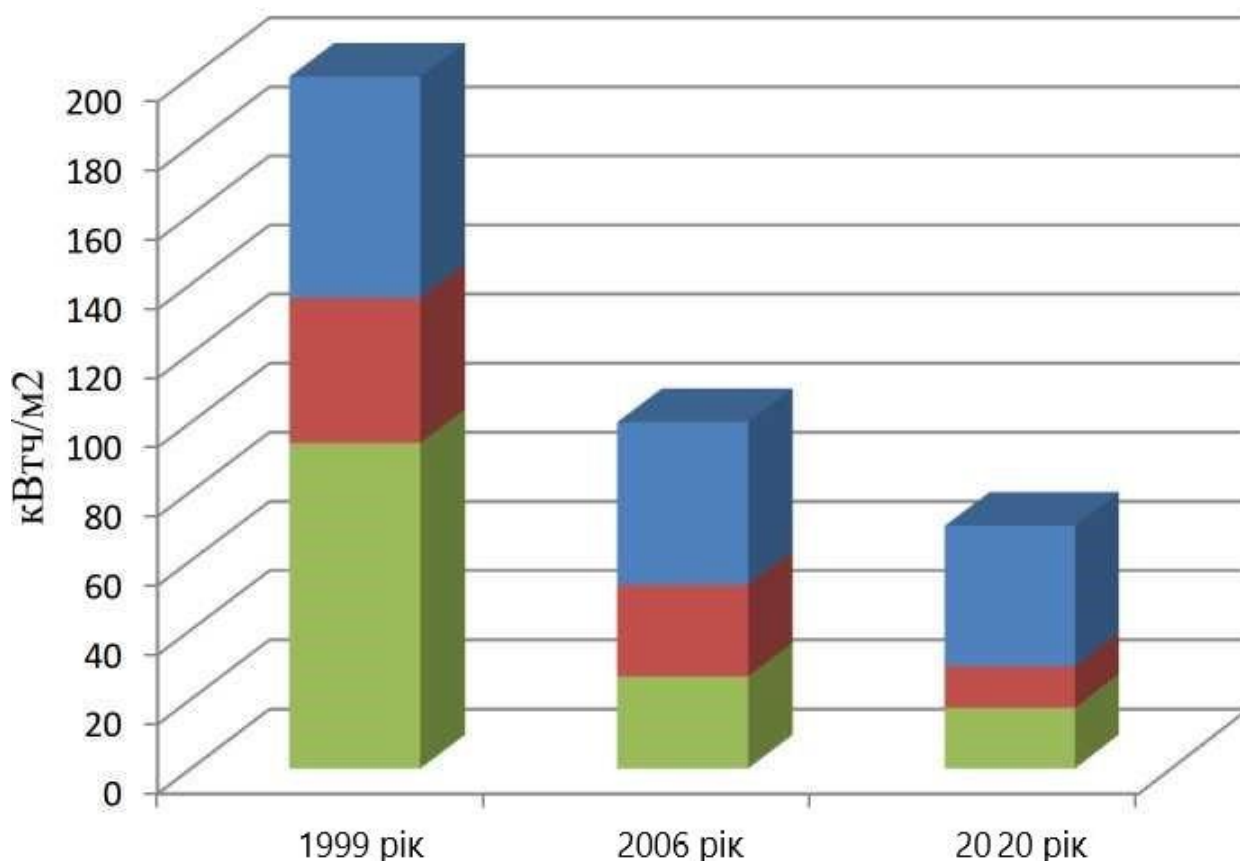


Рисунок 2.1 - Структура тепловтрат багатоповерхового житлового будинку

1 - тепловтрати, пов'язані з нагріванням припливного повітря; 2 - тепловтрати через світлопрозорі огорожувальні конструкції; 3 - тепловтрати через несвітлопрозорі огорожувальні конструкції.

На рисунку 2.2 представлена принципова схема припливно-витяжної системи вентиляції без заходів щодо енергетичної ефективності.

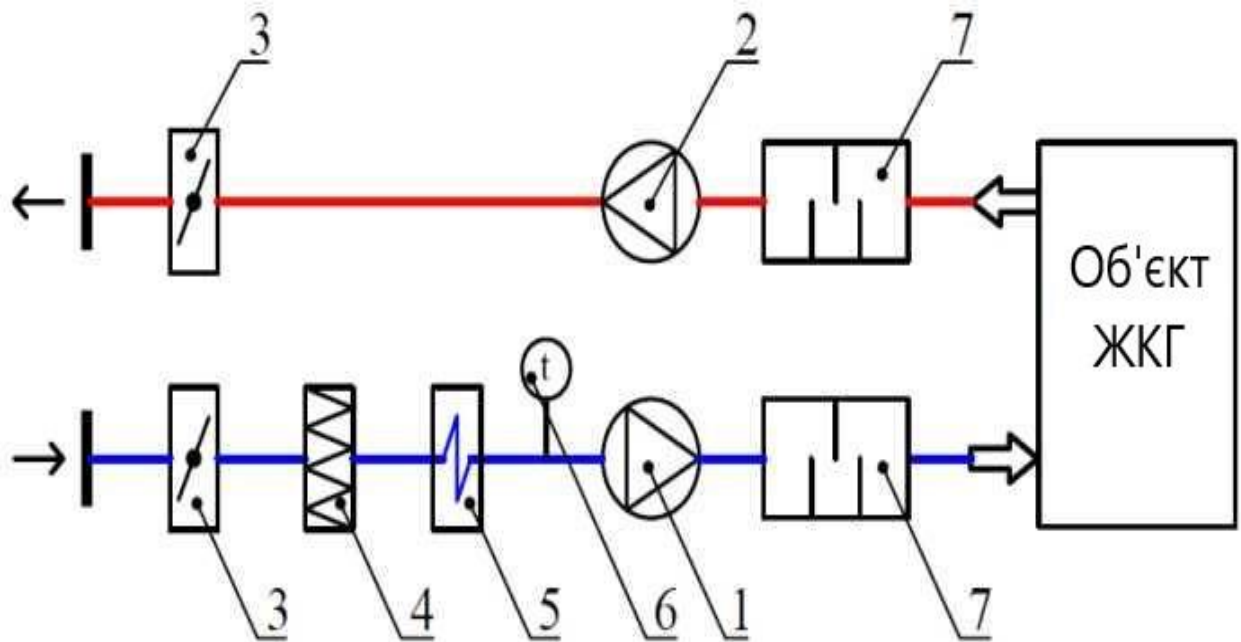


Рисунок 2.2 - Типова припливно-витяжна система вентиляції будівель:

1 - припливний вентилятор, 2 - витяжний вентилятор, 3 - повітряний клапан, 4 - фільтр грубої очистки, 5 - калорифер, 6 - датчик температури, 7 - шумоглушник.

Мета припливно-витяжної вентиляції у забезпеченні повітрообміну за рахунок руху повітря у двох напрямках - надходження свіжого та витяжка відпрацьованого повітря, яке здійснюється за рахунок припливного (1) та витяжного (2) вентиляторів. Вимикається система вентиляції за допомогою повітряних клапанів (3), встановлених на припливному та витяжному повітропроводах.

Для запобігання потраплянню в систему пилу використовується фільтр грубої очистки (4). При експлуатації вентиляції в холодний період часу необхідно підігрівати холодне повітря припливу до комфортної температури електричним або водяним калорифером (5), потужність якого регулюється в залежності від температури повітря після нього (6). Під час роботи вентилятора утворюється відчутний гул, який пригнічується

шумоглушниками (7).

У цій системі вентиляції все тепло, що використовується на підігрів припливного повітря, безповоротно втрачається в навколишнє середовище з витяжним повітрям, що є неефективним використанням теплової енергії та економічно не вигідно.

Існуючі стратегії для зменшення витрат на вентиляцію будівель та споруд включають в себе ефективне використання тепла витяжного повітря [1]. Однією з передових технологій, що сприяє енергозбереженню, є використання рекуперативних теплообмінників, які дозволяють використовувати тепло з витяжного повітря для обігріву свіжого припливного повітря (рис. 2.3). Зазначено, що на даний момент та у найближчому майбутньому такі технології, ймовірно, залишатимуться предметом імпорту через високий рівень витрат на їхнє виробництво, що передбачає впровадження складних автоматизованих ліній, що реалізують замкнений цикл комп'ютерного проектування та виробництва.

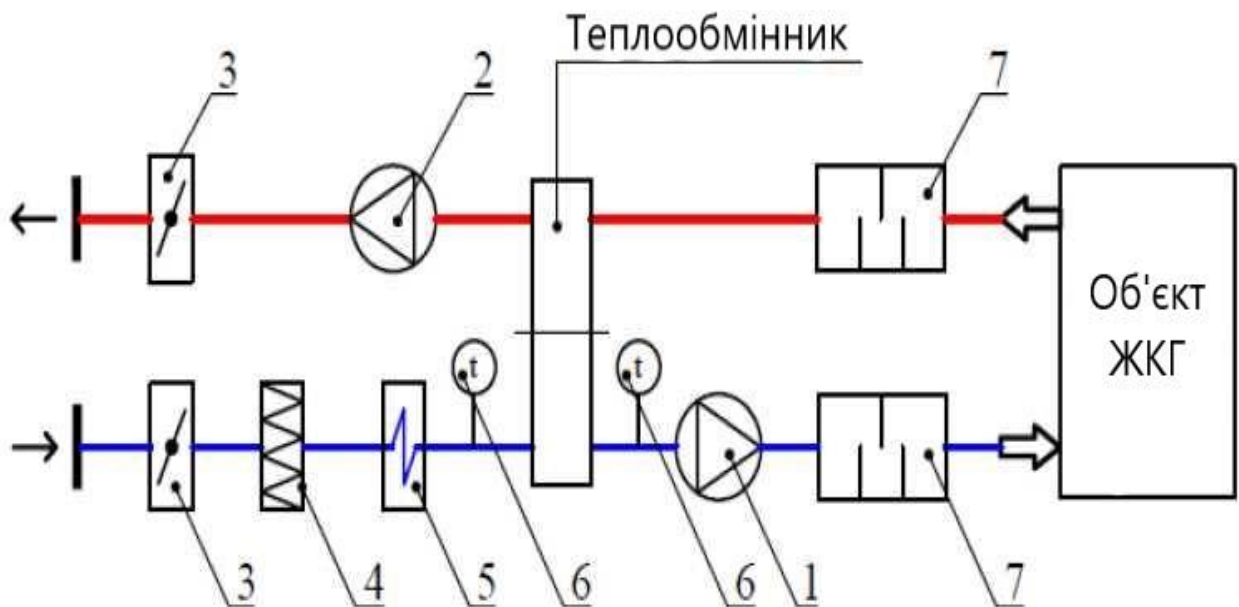
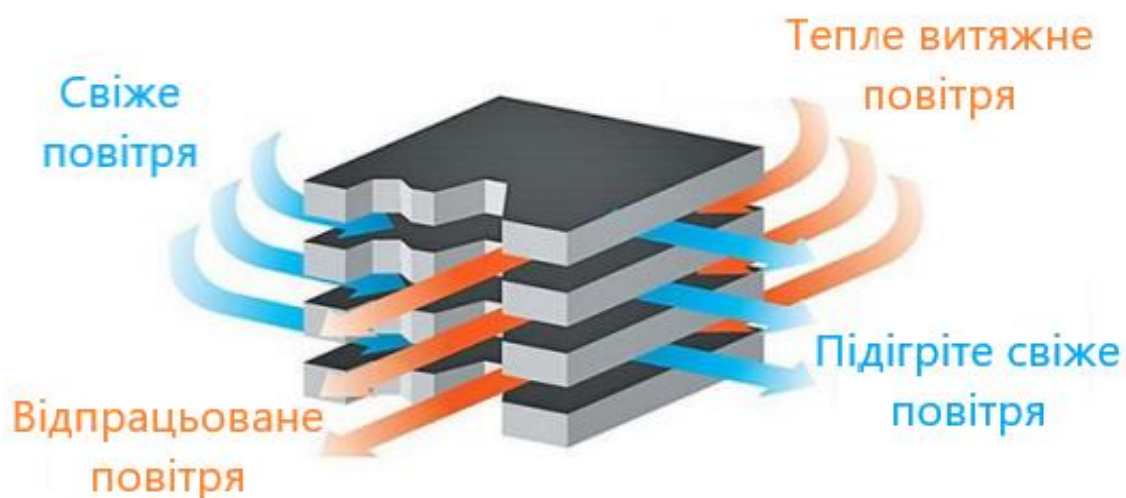
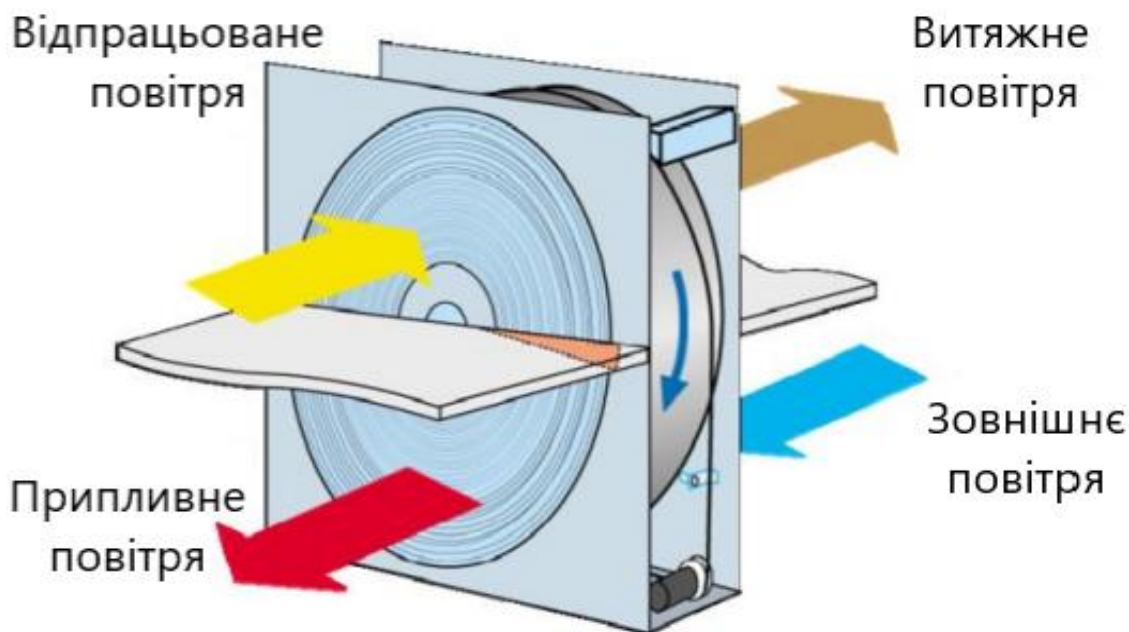


Рисунок 2.3 - Припливно-витяжна система вентиляції з рекуперацією тепла :
 1 - припливний вентилятор, 2 - витяжний вентилятор, 3 - повітряний клапан,
 4 - фільтр грубої очистки, 5 - калорифер, 6 - датчик температури, 7 - шумоглушник.

Поза використанням у централізованих вентиляційних системах, рекуперативні теплообмінники представляють значний практичний інтерес як найбільш доступний інструмент для впровадження енергозберігаючих технологій під час реконструкції існуючих систем вентиляції. Це досягається шляхом ефективного теплообміну між потоками свіжого повітря та витяжного повітря. Встановлення рекуперативного теплообмінника можливе без необхідності заміни основних компонентів існуючої системи вентиляції.



а - пластинчастий рекуперативний теплообмінник



б - рекуперативний теплообмінник, що обертається

Рисунок 2.4 - Утилізатори теплоти витяжного повітря

Вивчення поточного стану виробництва та використання теплоутилізаційного обладнання свідчить про переважаючу тенденцію застосування двох типів утилізаторів теплоти з витяжного повітря: пластинчастих рекуперативних (рис. 2.4, а) та обертаючихся регенеративних (рис. 2.4, б).

Найбільш перспективними є регенеративні теплообмінники, що обертаються, з наступних причин:

а) завдяки тому, що процес тепломасообміну здійснюється по великій питомій поверхні насадки, що використовується, агрегат в цілому має мінімальні габарити, що дозволяє економити площу приміщення для розміщення обладнання;

б) регулювання швидкості обертання ротора дозволяє керувати загальною ефективністю рекуператора;

в) наявність вологообміну між припливом та витяжкою.

На рисунку 2.5 представлено конструктивне виконання роторного теплообмінника.

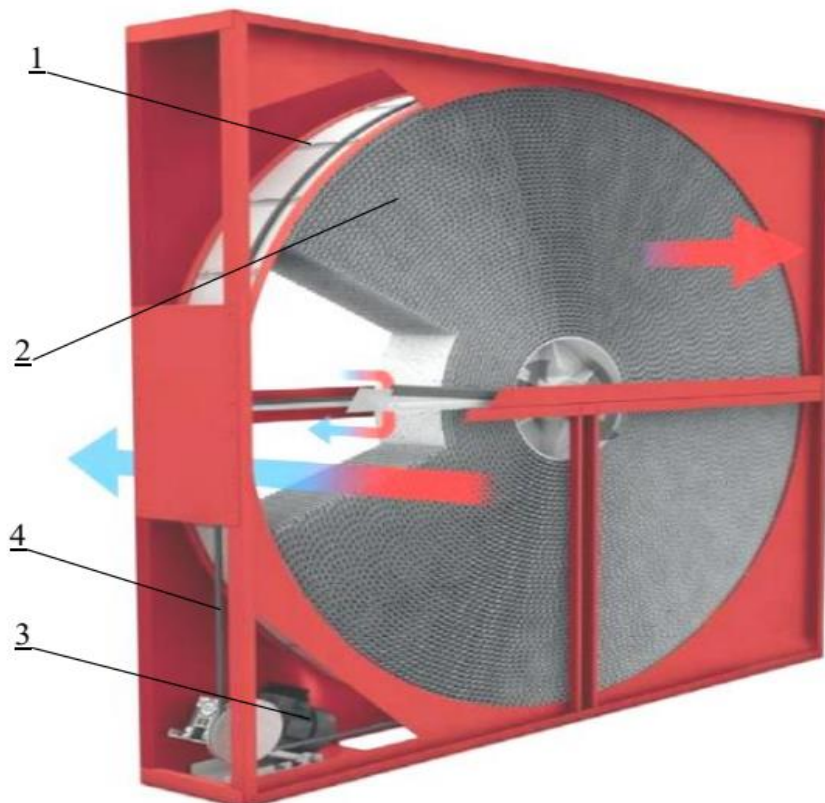


Рисунок 2.5 – Конструктивне виконання роторного теплообмінника

Ротор забезпечений насадкою (1), що має високу теплоємність, яка при використанні протиточної системи поперемінно нагрівається і охолоджується тепловиділяючим і теплопоглинаючим повітряними потоками. Теплоутилізуюча насадка утворена вузькими трикутними каналами, виготовленими з тонкої фольги (2). Товщина насадки (у напрямку повітряних потоків), як правило, становить 200 мм, висота повітряних каналів (рис. 2.6) – від 1,8 до 2,4 мм. При такому геометричному співвідношенні в повітряних каналах утворюється ламінарний перебіг. Товщина фольги зазвичай становить 0,06: 0,2 мм (рис. 2.6). Приводиться у обертання установка за допомогою електродвигуна (3) через редуктор та ремінну передачу (4). Роторні теплообмінники можуть володіти ефективністю від 60 до 85 % і мати втрату напору по припливу та витяжці від 75 до 500 Па.

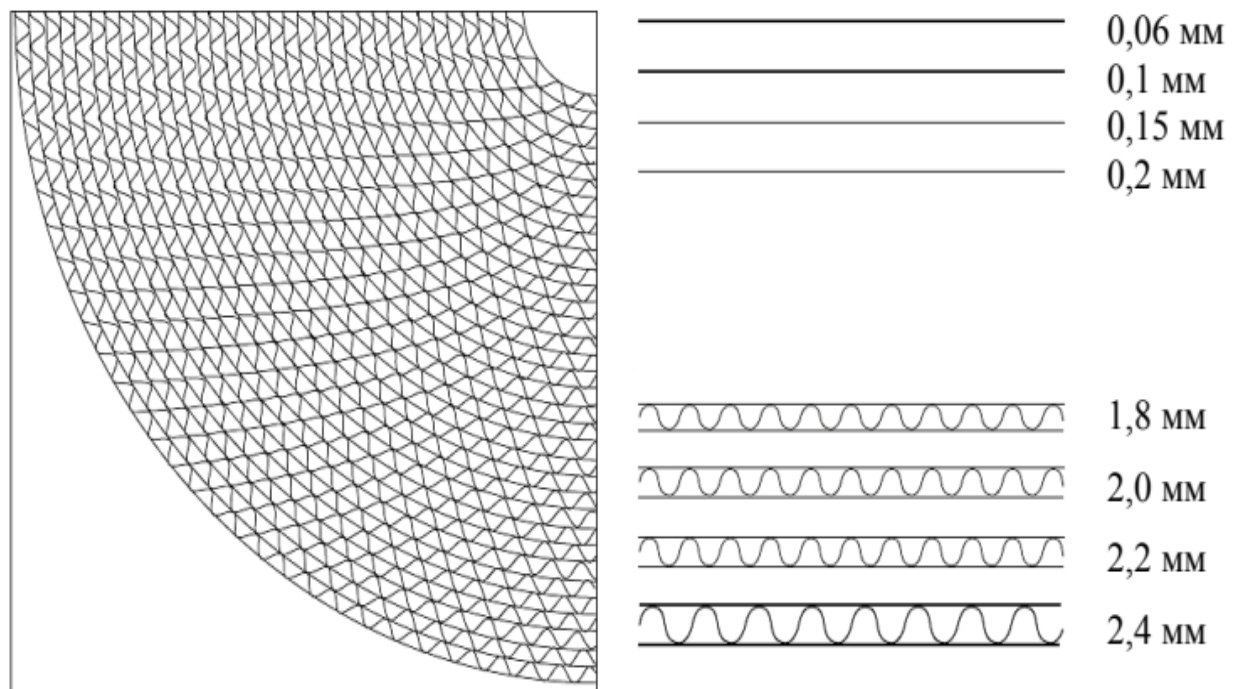


Рисунок 2.6 – Геометричні параметри повітряних каналів

Економічна обґрунтованість застосування рекуператорів більш ніж очевидна за умов щодо суворого російського клімату, оскільки вона

безпосереднім образів залежить від температурного розмаїття. Чим більша різниця температур повітря зовні і всередині будівлі, тим більший економічний ефект, що досягається. Єдиною видимою перешкодою до їх широкого впровадження є небезпека обмерзання пластин теплообмінної поверхні за температури зовнішнього повітря нижче 0 °С. Це є причиною зниження їх ефективності і, як наслідок, призводить до незадовільної роботи системи вентиляції та збільшення витрат на її експлуатацію.

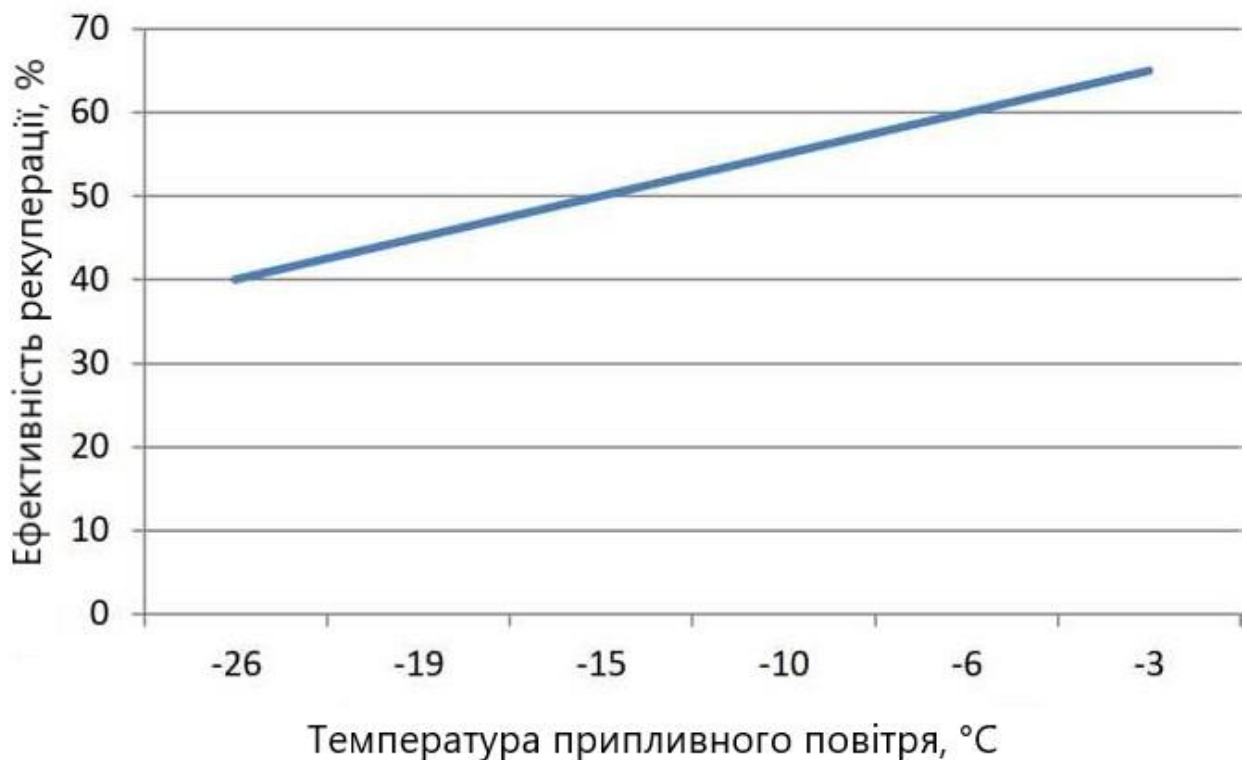


Рисунок 2.7 – Ефективність рекуперації тепла за різних значень температури припливного повітря

Під час процесу теплоутилізації, свіже припливне повітря нагрівається, тоді як витяжне повітря охолоджується. Це призводить до підвищення відносної вологості витяжного повітря до точки насичення, в результаті чого відбувається інтенсивна конденсація надлишкової вологості. Цей процес призводить до зменшення абсолютної вологості. При подальшому охолодженні нижче температури замерзання відбувається кристалізація утвореного конденсату. Це може призводити до суттєвого підвищення ефективності теплообміну через використання прихованої теплоти

випаровування, але в той же час спричиняти зниження теплопередачі через утворення рідкого шару на поверхні пластин та обмеження вільного перетину повітряних каналів, що може призводити до втрат статичного тиску. У випадках, коли свіже припливне повітря має дуже низьку температуру, конденсат всередині теплообмінника може замерзати та частково або повністю блокувати повітряні канали на стороні витяжки.

Останні наукові дослідження в галузі розробки та удосконалення теплоутилізаційних систем вентиляції та кондиціонування повітря вказують на виразну потребу в розробці нових конструктивних рішень для рекуператорів. Ключовим критерієм при виборі цих рішень є здатність забезпечити ефективну та надійну роботу системи в умовах конденсації вологи при негативних температурах зовнішнього повітря [3].

Температура зовнішнього повітря, починаючи з якої спостерігається утворення інею в каналах витяжного повітря, залежить від наступних факторів: температури і вологості повітря, що віддається, відношення витрат припливного і повітря, що видається, швидкості обертання теплообмінника.

Для запобігання обмерзанню пластин теплообмінника в холодний період використовуються наступні заходи:

а) попередній підігрів припливного повітря вище за температуру обмерзання додатковими електричними нагрівачами або калориферами, що призводить до зниження ефективності установки в 1,5+2 рази [4].

б) регулювання масового відношення повітряних потоків на притоці та витяжці. При зменшенні кількості холодного припливного повітря можна досягти умов, за яких кількість тепла, що асимілюється, не призводить до переохолодження порівняно великої кількості теплого повітря, що видається, і, відповідно, до обмерзання теплообмінника. Однак, для досягнення цього ефекту масове відношення повітряних потоків, як правило, повинно не перевищувати 0,5, так як на витяжці повітря, що видається, завжди значно холодніше у вихідному перерізі в порівнянні з вхідним. Тим

не менш, цей захід використовується досить часто, оскільки в будь-якому випадку доцільним є встановлення байпасу, що дозволяє в літній період регулювати параметри повітря на притоці. З огляду на це додаткові витрати виявляються невеликі, будучи пов'язані лише з необхідністю використання відповідних засобів автоматизованого контролю та органів управління;

в) розморожування теплообмінників. Спосіб розморожування теплообмінників передбачає можливість їх обмерзання з подальшим розморожуванням шляхом відповідного перемикавання режимів роботи. При досягненні певної міри обмерзання теплообмінника відбувається відключення припливу. В результаті через теплообмінник проходить тільки тепло, що видаляється, з боку витяжки, за рахунок чого теплообмінник розморожується. Найкращим у разі є управління за величиною перепаду статичного тиску за витяжки.

Слід зазначити, що ці технічні рішення неефективні з енергетичної точки зору, а загальна ефективність рекуперації при їх використанні різко падає.

В даний час залежності швидкості утворення інею та його відтавання в каналах теплообмінника від параметрів припливного та витяжного повітря та режиму роботи установки глибоко не вивчені, що перешкоджає оцінці реальної економічної вигоди від використання рекуператорів у системах вентиляції та кондиціонування [5, 6, 7].

У зв'язку з цим завданням цього дослідження є:

- визначення впливу параметрів зовнішнього повітря, режиму роботи рекуператора на ефективність системи вентиляції з рекуперацією тепла;
- пропозиція нової схеми припливно-витяжної вентиляції, що дозволяє підвищити енергетичну та економічну ефективність систем вентиляції та кондиціонування повітря;
- розробка методики, що дозволяє порівнювати способи підвищення ефективності систем вентиляції та кондиціонування повітря.

2.5 Математичне моделювання процесів теплообміну в регенеративному повітропідігрівачі в середовищі ANSYS

З метою визначення реальної ефективності регенеративного повітряно-повітряного теплообмінника з низькими температурами зовнішнього повітря в холодний період часу та складання рекомендацій щодо його режиму роботи виконано чисельне моделювання роторного регенератора в середовищі ANSYS. Очевидно завдання вирішити неможливо через обмеженість обчислювальних потужностей на сьогоднішній день, тому було виконано ряд спрощень реального теплообмінника для можливості проведення його моделювання.

Перше спрощення полягає у використанні зменшеної копії реальних геометричних розмірів теплообмінного апарату (рис. 2.8).

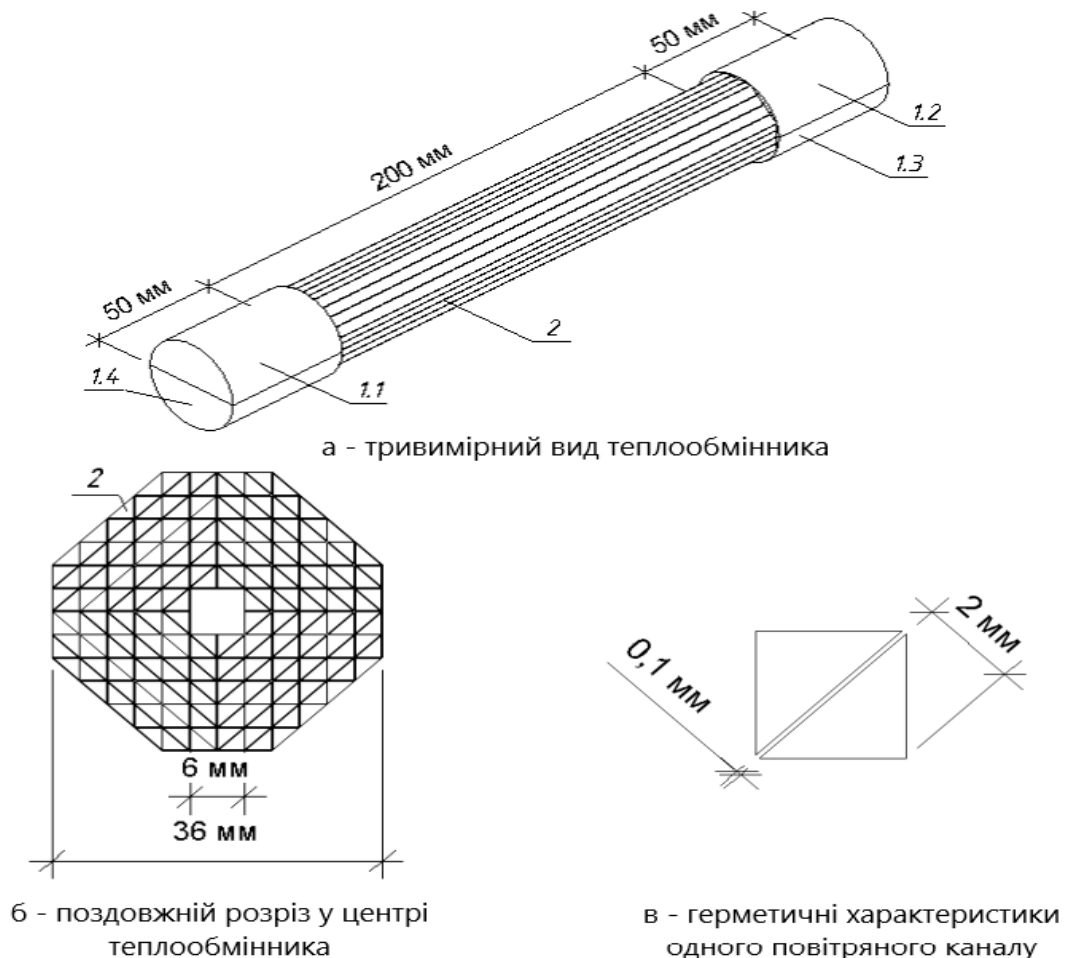


Рисунок 2.8 - Геометрія теплообмінника, що використовується для його моделювання

Геометрія теплообмінника включає кілька тіл: чотири напівцилінди (1.1-1.4), насадка для передачі тепла від припливного повітря витяжному (2). У напівциліндр 1.1 подається припливне повітря, що проходить через насадку (2) і вже нагрітий теплотою витяжного повітря потрапляє в солід 1.2. Протиструм холодному повітрі подається в теплообмінник (2) гаряче повітря з приміщення через тіло 1.3, далі віддає своє тепло насадці і виходить в напівциліндр 1.4. Радіус напівциліндрів становить 1,9 мм, що відповідає еквівалентному радіусу теплообмінника, а довжина 50 мм для рівномірної подачі повітря в канали насадки та рівномірного перемішування на виході з неї. Довжина насадки моделі обумовлена оптимальним ставленням ефективності рекуператора до аеродинамічного опору і становить 200 мм, що відповідає найбільш поширеній довжині каналів більшості виробників такого обладнання. Цей розмір залишений оригінальним, оскільки значною мірою впливає ефективність теплообмінника. Розміри каналів і товщина алюмінієвої стінки між ними (рис. 2.8, в) відповідають середнім, оптимальним розмірам існуючого обладнання і не піддаються зміні моделі для збереження режиму перебігу повітря і теплообміну між повітрям і алюмінієвими стінками насадки. Спрощення геометрії полягає у зменшенні кількості каналів, що становить 216 і дозволяє зробити моделювання з використанням сучасної обчислювальної техніки. Такій кількості каналів відповідає еквівалентний діаметр насадки 3,6 мм, тоді як діаметри існуючих теплообмінників варіюються від 500 до 6000 мм з продуктивністю $100 \div 200000 \text{ м}^3/\text{год}$. Спрощення геометрії насадки обґрунтовано тим, що у сучасного обладнання зі зміною продуктивності теплообмінника змінюється його діаметр та кількість каналів, а довжина та габаритні розміри самих каналів залишаються без зміни.

Побудова тривимірної моделі об'єкта, що досліджується, зроблено в програмному комплексі інформаційного моделювання Autodesk Revit, після чого імпортовано в ANSYS Workbench для побудови сітки. Проект Workbench складається з двох елементів, що використовуються для імпорту

та редагування геометрії (Geometry) та створення сітки (Mesh) (рис. 2.9).

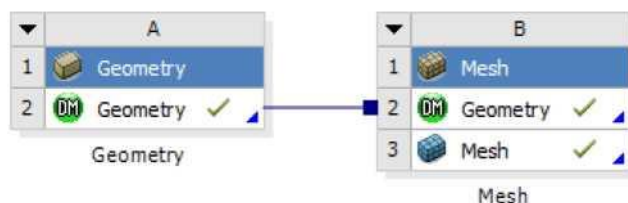
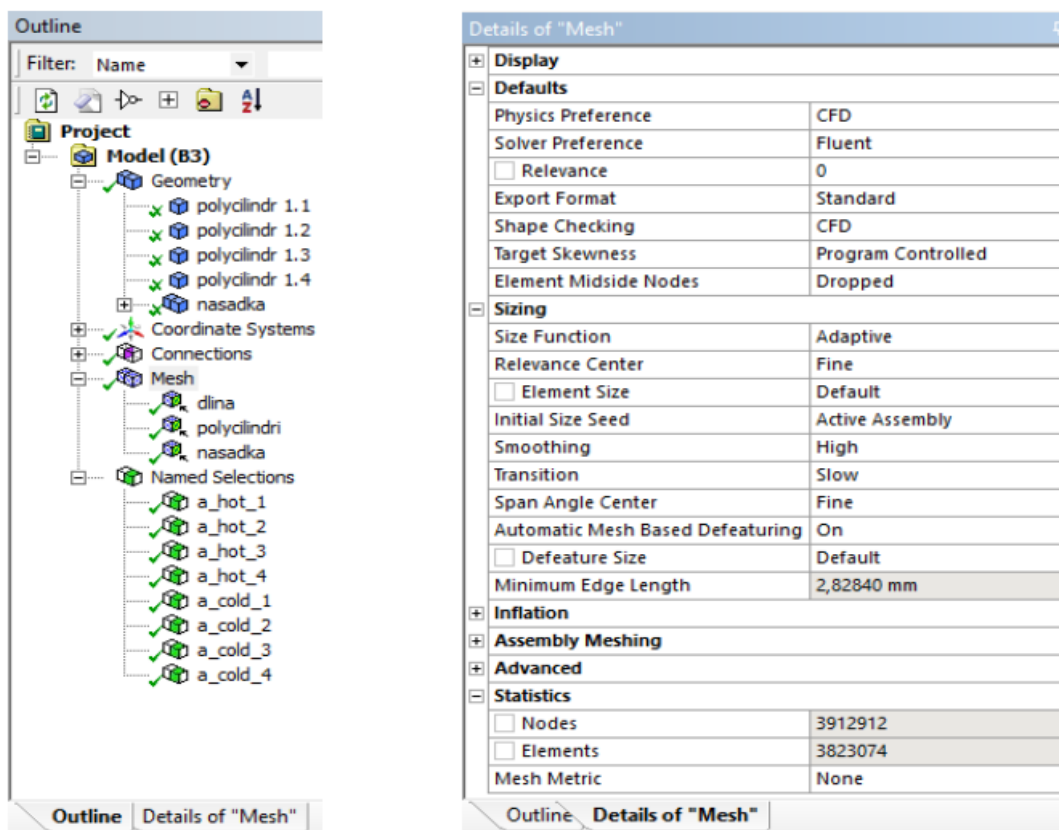


Рисунок 2.9 - Проект Workbench

В елементі Geometry, крім імпорту з Revit, геометрія розділена на 5 окремих один від одного тіл для подальшої можливості моделювання нестационарної насадки з каналами зі стаціонарними напівциліндрами, між якими повітря не повинно змішуватися. Елемент Mesh необхідний для створення сітки, завдання входів та виходів припливного та витяжного повітря, а також матеріалу солідів. Налаштування цього елемента представлено малюнку 2.10.



а - вікно Outline

б - вікно Details of «Mesh» з налаштуваннями сітки

Рисунок 2.10 - Вікна елемента Mesh з налаштуваннями

У вікні Outline у галузі Geometry (рис. 2.10, а) відображається інформація про соліди геометрії. Тіла polycilindr 1.1-1.4 відповідають напівциліндрам 1.1-1.4 для входу та виходу повітря з теплообмінника (рис. 2.9), тому в їх властивостях заданий матеріал Fluid. Кожній грані цих чотирьох тіл надано імена для подальшого використання їх у моделюванні. Тіло nasadka (позиція 2 на рис. 2.9) складається з 216 солідів, що відповідають повітряним каналам, яким заданий матеріал Fluid, і одного соліду з властивостями матеріалу Solid, що відповідає алюмінієвій фользі, що відокремлює канали один від одного.

У вікні параметрів сітки Details of «Mesh» (рис. 2.10, б) у вкладці Defaults для параметра Physics Preference вибрано режим CFD, оскільки завдання відноситься до класу обчислювальної гідродинаміки. В якості розмірної функції вибрано Adaptive, для параметра Relevance Center встановлено режим Fine для створення густішої сітки. Інші параметри у вкладці Details of «Mesh» залишилися за замовчуванням. Для оптимізації сітки, а, отже, і розрахунків, окремим граням геометрії задані різні розміри елементів сітки (рис. 2.10 а): всім тілам по довжині присвоєно значення 3 мм, перерізів напівциліндрів і насадці 0,2 мм. Таким чином, загальна кількість елементів сітки моделі склала 3823074 (рис. 2.10, б).

Друге спрощення полягає у моделюванні теплообмінного апарату у кілька етапів. Першим етапом є моделювання теплообміну установки без урахування вологості повітря та зледеніння каналів, граничними умовами в якому є швидкість обертання ротора та температура зовнішнього повітря. Результатом стане визначення оптимальних оборотів насадки та залежність температур витяжного та припливного повітря на виході з теплообмінника, а також алюмінієвої насадки від температури припливного повітря на вході до нього. Другий етап - моделювання зледеніння усереднених каналів за температурою стінки перерізу насадки, граничними умовами в якому служать графік зміни температур алюмінієвої стінки, отриманий на попередньому етапі, і вологість витяжного повітря. Метою цього кроку є

визначення залежності замерзання вологи, що конденсується, з гарячого повітря від температури зовнішнього холодного повітря і вологості повітря в приміщенні, а також встановлення часу утворення льоду в каналі і його відтавання для складання рекомендацій по режиму роботи теплообмінної установки.

Перший етап моделювання починається з імпортування раніше створеної та підготовленої сітки до програмного комплексу CFD ANSYS Fluent. Завдання нестационарне, тому у вкладці Setup, General у параметрі Time checkbox встановлений у режимі Transient. Моделі, що використовуються Fluent, складаються з Energy для розрахунку теплопередачі і Standart k-ε для моделювання турбулентного перебігу повітря в каналах. Хоча в каналах насадки режим течії повітря ламінарний, при обертанні ротора теплообмінника деякі з них потрапляють на межу розділу напівциліндрів і знаходяться одночасно як на витяжній стороні, так і на припливній, внаслідок чого в них виникає турбулентний перебіг повітря, що впливає на загальний теплообмін установки. У дереві налаштувань у гілці Setup, Cell Zone Conditions всім тілам повітряних каналів (nasadka-air.1-216) та алюмінієвій стінці між ними (nasadka-al) для їх обертання навколо своєї осі включено параметр Mesh Motion, а в рядку Speed (rad /s) встановлено значення швидкості (рис. 2.11).

Граничними умовами при моделюванні теплообміну в насадці рекуператора являються швидкість обертання повітря в каналі і температура зовнішнього повітря, які задаються в гілці Setup, Boundary Conditions (рис. 2.12).

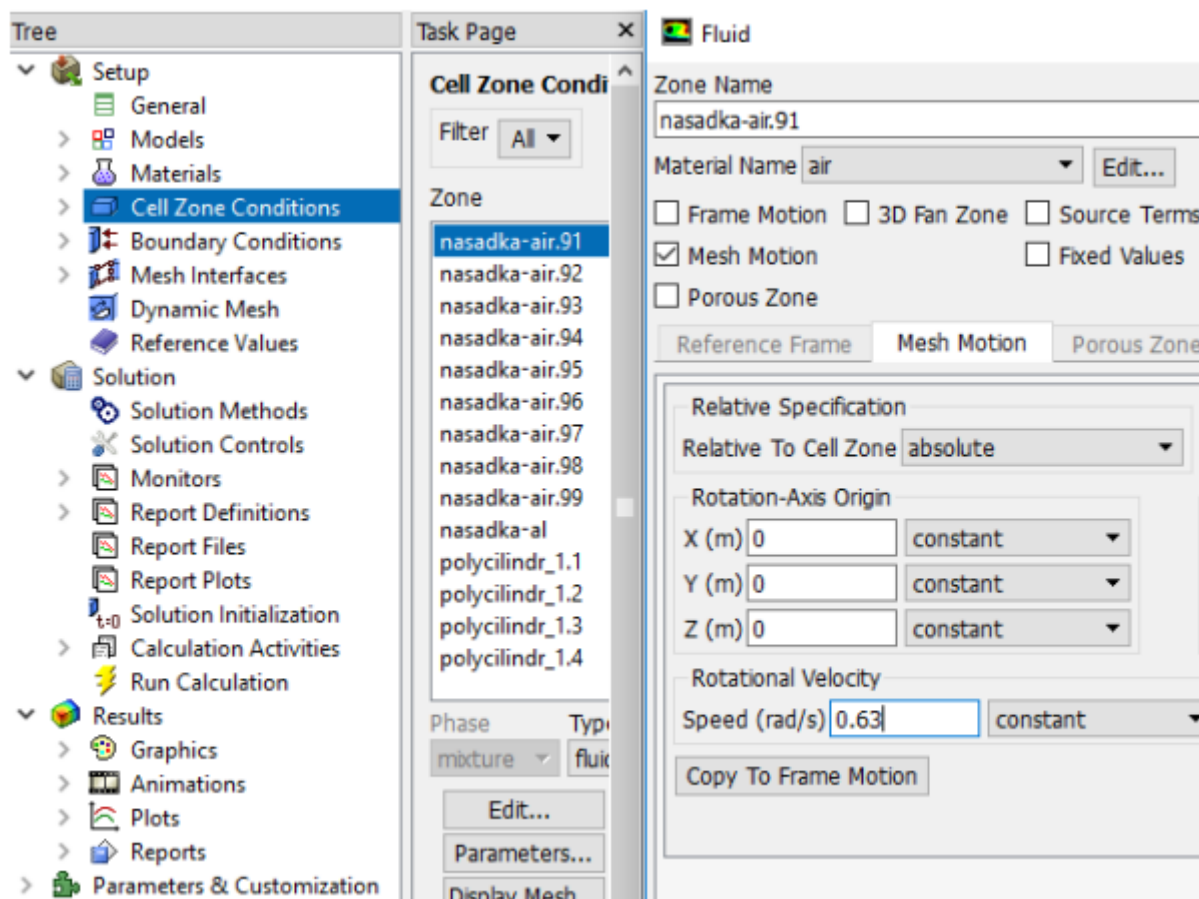
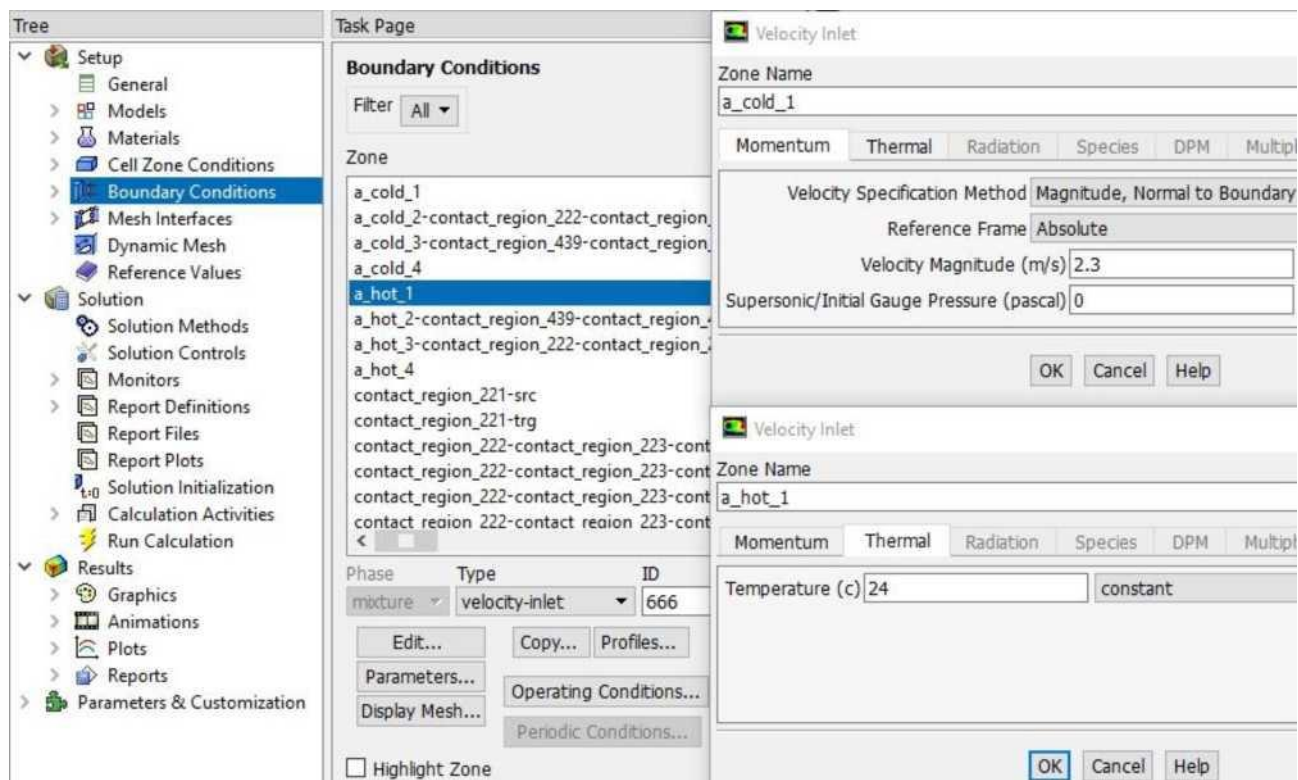


Рисунок 2.11 - Завдання швидкості обертання ротора теплообмінника



Рисунк 2.12 - Завдання граничних умов

Зони `a_cold_1`, `a_hot_1` є входами холодного та гарячого повітря відповідно і мають тип `velocity-inlet`. Швидкість цим зонам задана однакова 2.3 м/с і відповідає швидкості повітря в каналі 3 м/с, тобто моделювання проводиться при однакових витратах припливного та витяжного повітря. Швидкість у каналі 3 м/с є оптимальною з точки зору балансу ефективності установки, яка збільшується зі збільшенням швидкості, аеродинамічного опору, що має зворотну залежність. Температура гарячого витяжного повітря є постійною величиною і дорівнює 24 °С, оскільки визначається найбільш комфортною для перебування людей в приміщенні. Температура холодного повітря визначається в діапазоні від -37 °С до +8 °С, що відповідає мінімальній та максимальній температурам за опалювальний період у м. Красноярську [8]. Зони `a_cold_4`, `a_hot_4` є виходами повітря з теплообмінника, тому їм надано тип `pressure-outlet`.

Всі інтерфейси між тілами, створені автоматично при імпорті сітки в Fluent, видалені, і створено два нових, що поєднують повітряні канали з напівциліндрами з обох боків теплообмінника. Так як при автоматичному створенні інтерфейсів сітки створюються зони між тілами, потрібно змінити тип цих зон на `wall`, що належать до віддалених інтерфейсів.

У гілці налаштувань програми `Run Calculation` розмір тимчасового кроку визначається в діапазоні 0,1:0,03 в залежності від частоти обертання ротора. Чим більша кількість обертів насадки, тим менший тимчасовий крок. Кількість ітерацій в одному часовому інтервалі вибрано 7. Досвідченим шляхом встановлено оптимальну кількість ітерацій при моделюванні - 3 000:4 000, дві третини з яких необхідні для виходу теплообмінника, що обертається, на номінальний режим роботи, а остання одна третина ітерацій моделювання проводилася в усередненому режимі Коректніших результатів. Графік збіжності однієї з розрахунків представлений рисунку 2.13.

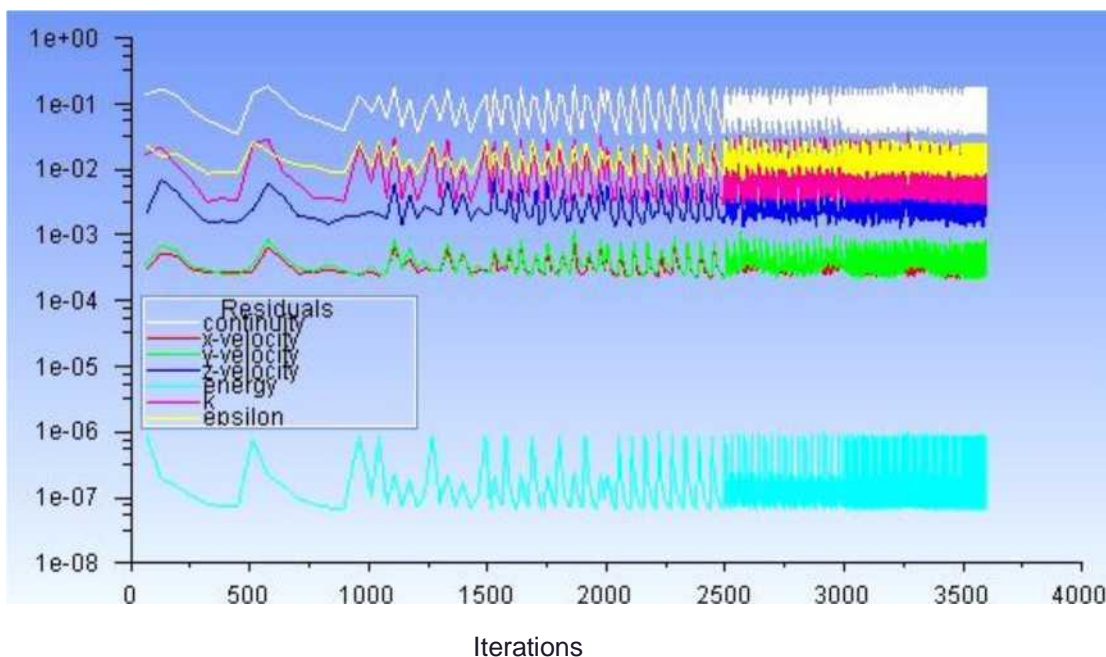


Рисунок 2.13 - Графік збіжності моделювання теплообміну насадки, що обертається

На рисунку 2.14 представлено середнє за часом обертання ротора поле швидкостей, у якому швидкість повітря каналі змінюється від 0 до 4,67 м/с від периферії до центру каналу і відповідає середньої заданої швидкості потоку в перерізі каналу 3 м/с.

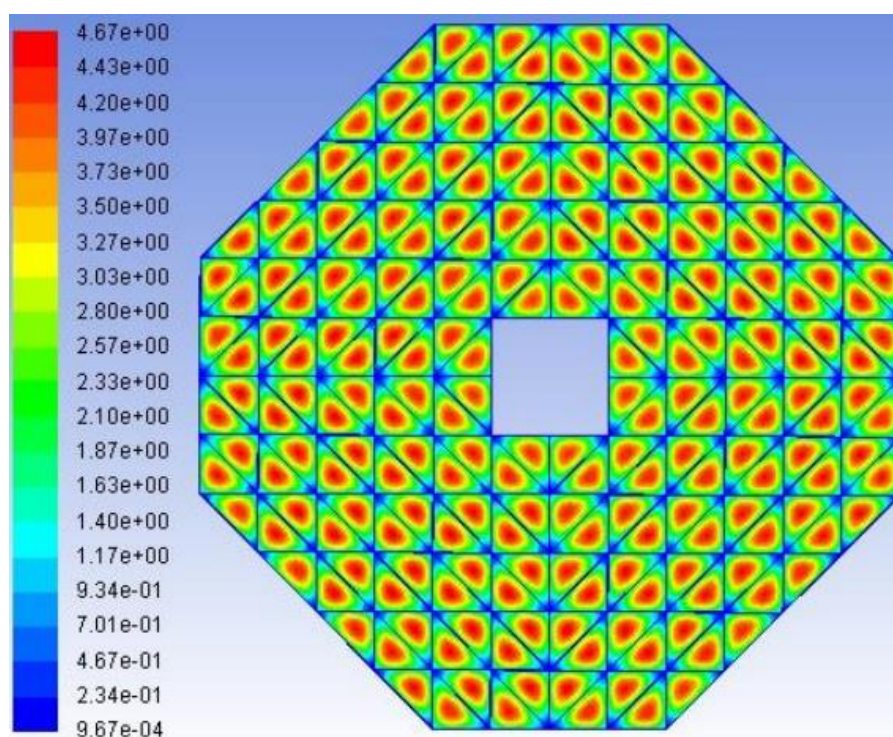


Рисунок 2.14 - Поле швидкостей у перпендикулярному перерізі ротора

З поля температур у перпендикулярному перерізі ротора в ділянці виходячи витяжного повітря з теплообмінника видно, що температура повітря у верхній половині насадки, що відповідає гарячому повітрі, змінюється за перерізом у межах $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 2.15). Виходячи з цього, для моделювання зледеніння повітряних каналів в теплообміннику має сенс розділити перетин гарячого повітря на дві частини. Область 1 (рис. 2.15) відповідає входу алюмінієвої фольги із зони холодного повітря до зони теплого повітря. У цій галузі насадка має мінімальну температуру, тому саме в зоні 1 найбільш висока ймовірність утворення льоду з вологи, що міститься у витяжному повітрі. При обертанні ротора і проходженні насадки області 1 алюмінієва фольга нагрівається теплим повітрям на $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ і потрапляє в область 2, тому ймовірність утворення льоду в повітряних каналах в зоні 2 менше, ніж в зоні 1.

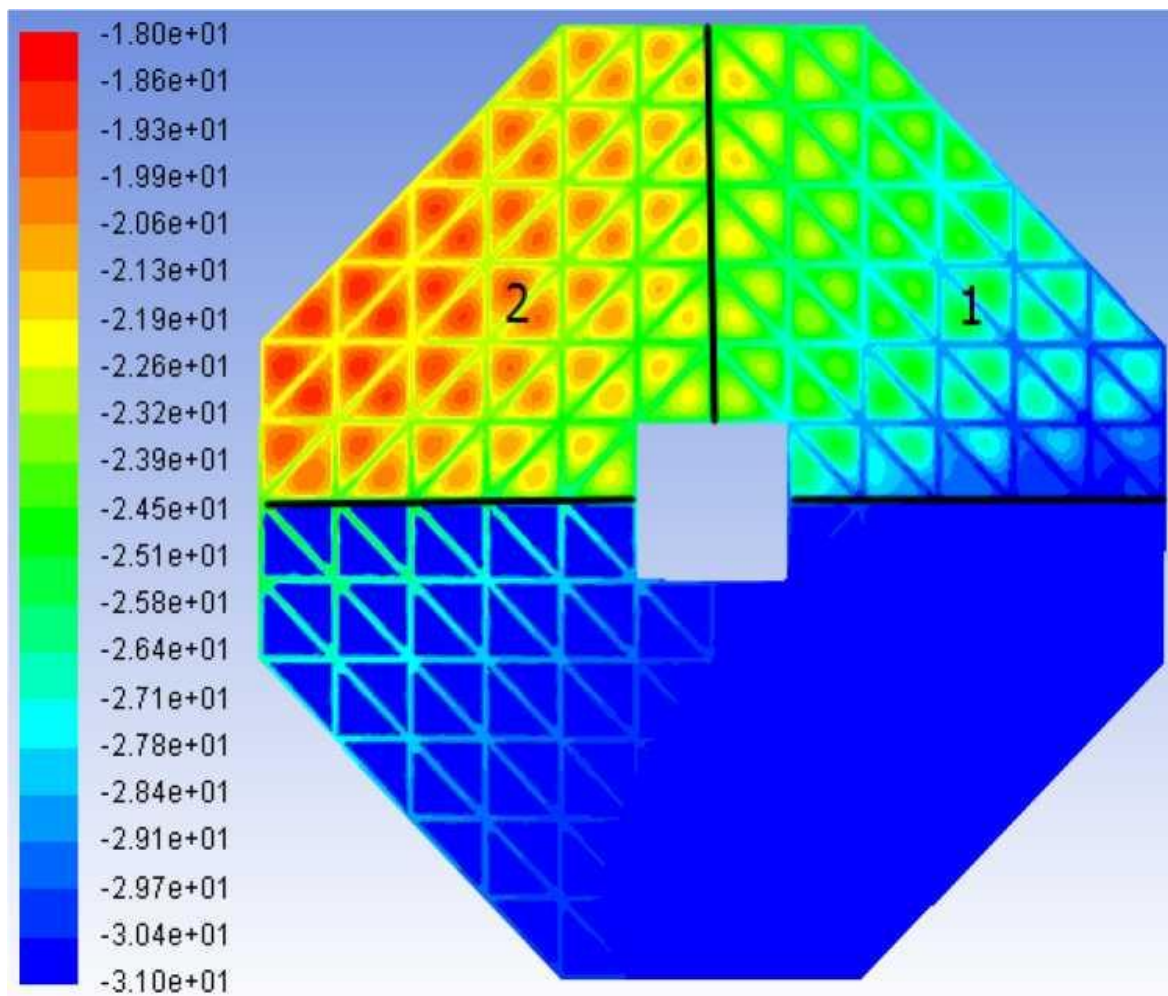


Рисунок 2.15 - Поле температур у перпендикулярному перерізі ротора

В результаті моделювання відомі температури гарячого та холодного повітря на виході з теплообмінника, знаючи які можна вважати ефективність рекуперації тепла при різній швидкості обертання ротора:

$$n = \frac{t_{x2} - t_{x1}}{t_{r1} - t_{x1}} = \frac{t_{r1} - t_{r2}}{t_{r1} - t_{x1}} \quad (2.2)$$

де t_{x1} - температура холодного повітря на вході в теплообмінник, °С;
 t_{x2} - температура холодного повітря на виході з теплообмінника, °С;
 t_{r1} - температура гарячого повітря на вході до теплообмінника, °С;
 t_{r2} - температура гарячого повітря на виході з теплообмінника, °С.

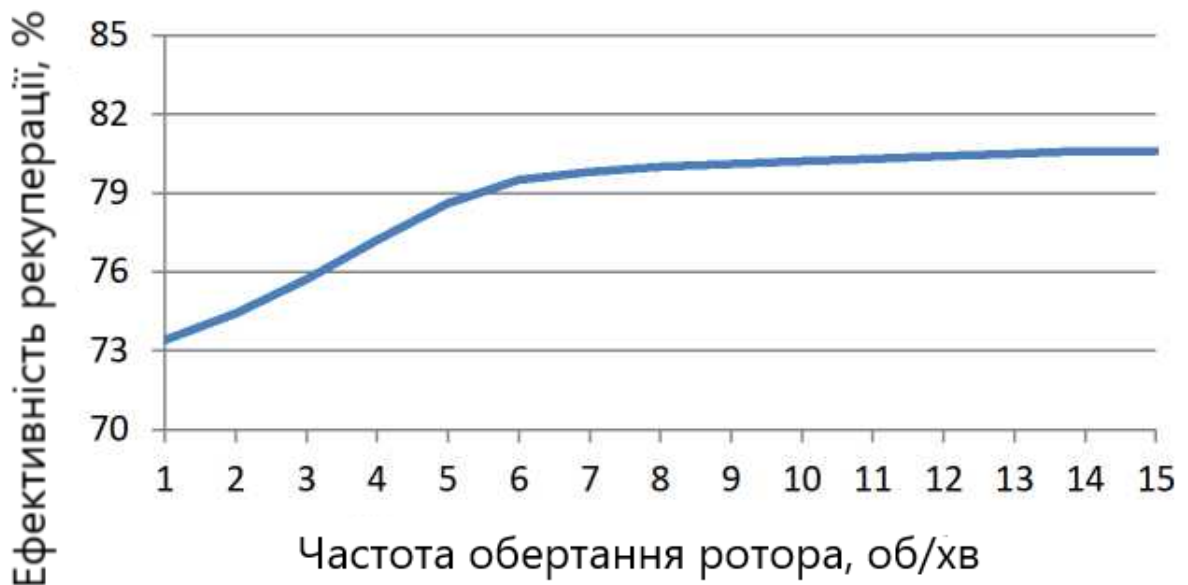


Рисунок 2.16 – Залежність ефективності рекуперації від швидкості обертання ротора

З рисунка 2.16 можна дійти невтішного висновку, що оптимальним значенням швидкості обертання ротора є 6 об/хв, після якого приріст ефективності рекуперації незначний. Підтвердженням правильності застосованих спрощень та працездатності дослідження повітро-повітряного теплообмінника за допомогою моделювання є високий рівень збіжності отриманих результатів з експериментальними [9].

Після визначення оптимальної швидкості обертання ротора теплообмінника виконано ряд розрахунків установки із завданням температур холодного повітря на вході в нього в діапазоні від -37 до $+8$ °C для отримання графіка зміни температури алюмінієвої насадки по довжині ротора, необхідного для моделювання конденсації вологи витяжного повітря у каналах установки (рис. 2.17). Початок ротора (0 мм) відповідає входу холодного повітря, а кінець (200 мм) – входу теплого.

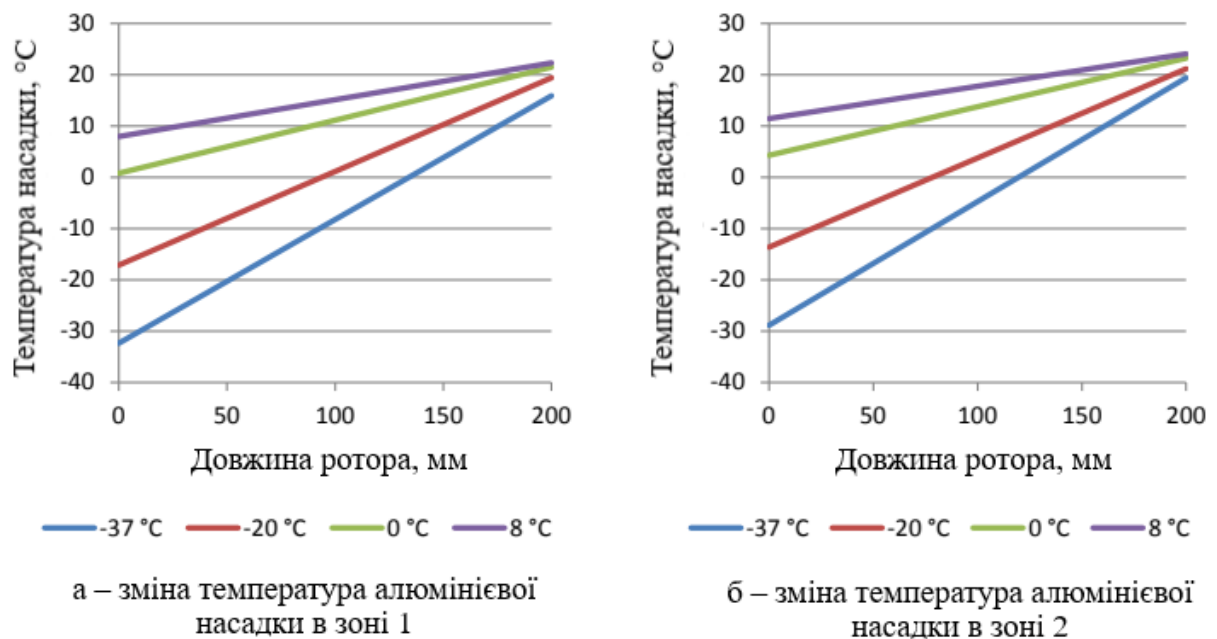


Рисунок 2.17 - Залежність температури насадки від холодної температури повітря на вході в теплообмінник

З метою визначення температури холодного повітря, при якій починається конденсація з наступним зледеніння вологи витяжного повітря в каналах теплообмінника, виконано моделювання установки з її спрощеною геометрією до одного каналу. Граничними умовами, за яких проводилися розрахунки, є діапазон температур алюмінієвої стінки, що змінюється по довжині каналу в залежності від температури холодного повітря на вході в теплообмінник, і вологість витяжного повітря з приміщення. Значення відносної вологості регламентується нормативними документами і становить 30:45 % в холодний період року для всіх типів приміщень [10], але насправді

цей параметр у приміщеннях може бути на рівні 20 %, тому моделювання проводиться за умови зміни відносної вологості повітря в приміщенні в діапазоні 20+45%.

Створено геометрію одного трикутного каналу висотою 2 мм, довжиною 200 мм у програмі Autodesk Revit, після чого імпортовано в ANSYS Workbench для побудови сітки. Далі готова сітка завантажена в ANSYS Fluent для моделювання зледеніння вологи.

Моделі, що використовуються у Fluent, складаються з Energy для розрахунку теплопередачі, Laminar для моделювання ламінарного перебігу повітря в каналі та Species Transport, необхідної для врахування вологості витяжного повітря. У налаштуваннях останньої моделі задані компоненти суміші повітря та води, що проходить у каналі (рис. 2.18).

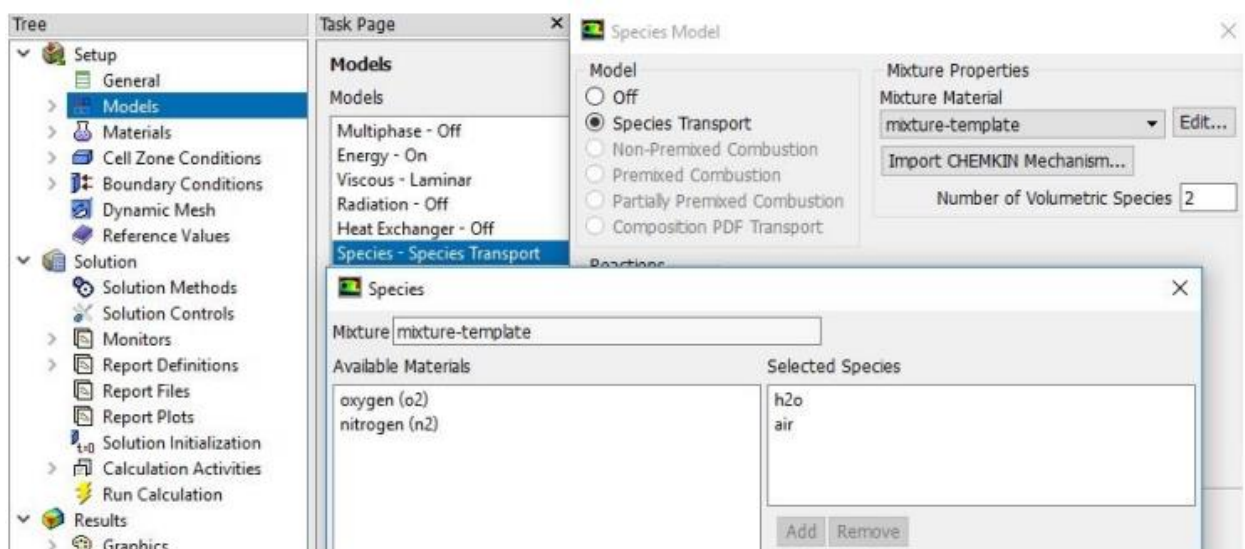


Рисунок 2.18 - Завдання компонентів суміші в моделі Species Transport

У гілці налаштувань Boundary Conditions задан тип velocity-inlet зони, що відповідає входу суміші в канал, а також такі граничні умови для неї, як температура витяжного повітря (24 °C), швидкість перебігу суміші в каналі (3 м/с), абсолютна вологість повітря. У програмі Fluent немає можливості встановити функцію зміни температури тіла, тому написаний скрипт з функцією, що описує зміну температури алюмінієвої стінки від довжини ротора від 0 до 200 мм, який представлений нижче.

```

#include "udf.h"
DEFINE_ADJUST (adjustit_gradient, domain){real x[ND_ND];
Thread *t;
cell_t c;
face_t f;
domain=Get_Domain(1);
thread_loop_c(t, domain){begin_c_loop(c, t)
{C_CENTROID(x, c, t);
if((C_T(c, t)<273.15))
else
{C_UDMI(c, t, 0)=C_YI(c, t, 0);
C_UDMI(c, t, 1)=0; }}
end_c_loop(c, t)}}
DEFINE_SOURCE(Vx_source, c, t, dS, eqn)
{real source;
source = - C_UDMI(c, t, 1)*C_U(c, t)*1e3;
dS[eqn]=0;
return source;}
DEFINE_SOURCE(Vy_source, c, t, dS, eqn)
DEFINE_SOURCE(Vz_source, c, t, dS, eqn)
{real source;
source = - C_UDMI(c, t, 1)*C_W(c, t)*1e3;
dS[eqn]=0;
return source;}
DEFINE_SOURCE(T_source, c, t, dS, eqn)
{real source;
source = C_UDMI(c, t, 1)*0.5*3e5;
dS[eqn]=0;
return source;}
DEFINE_PROFILE(inlet_TEMP, thread, position)
{real x[ND_ND]; /* this will hold the position vector */
real y, h;
face_t f;
h = 0.016; /* inlet height in m */
begin_f_loop(f, thread)
{F_CENTROID(x, f, thread);
F_PROFILE(f, thread, position) = 273.15+205*x[0]+-27;}
end_f_loop(f, thread)}

```

У рядку $F_PROFILE(f, \text{thread}, \text{position}) = 253.15 + 205 * x[0] - 28;$ визначається функція, що описує зміну температури алюмінієвої стінки по довжині ротора. Значення її змінних змінюються залежно від діапазону зміни температури алюмінію, яка у свою чергу залежить від зовнішньої температури холодного повітря на вході в теплообмінник.

Інші налаштування в програмі Fluent залишилися за умовчанням. Графік збіжності представлений на рисунку 2.19.

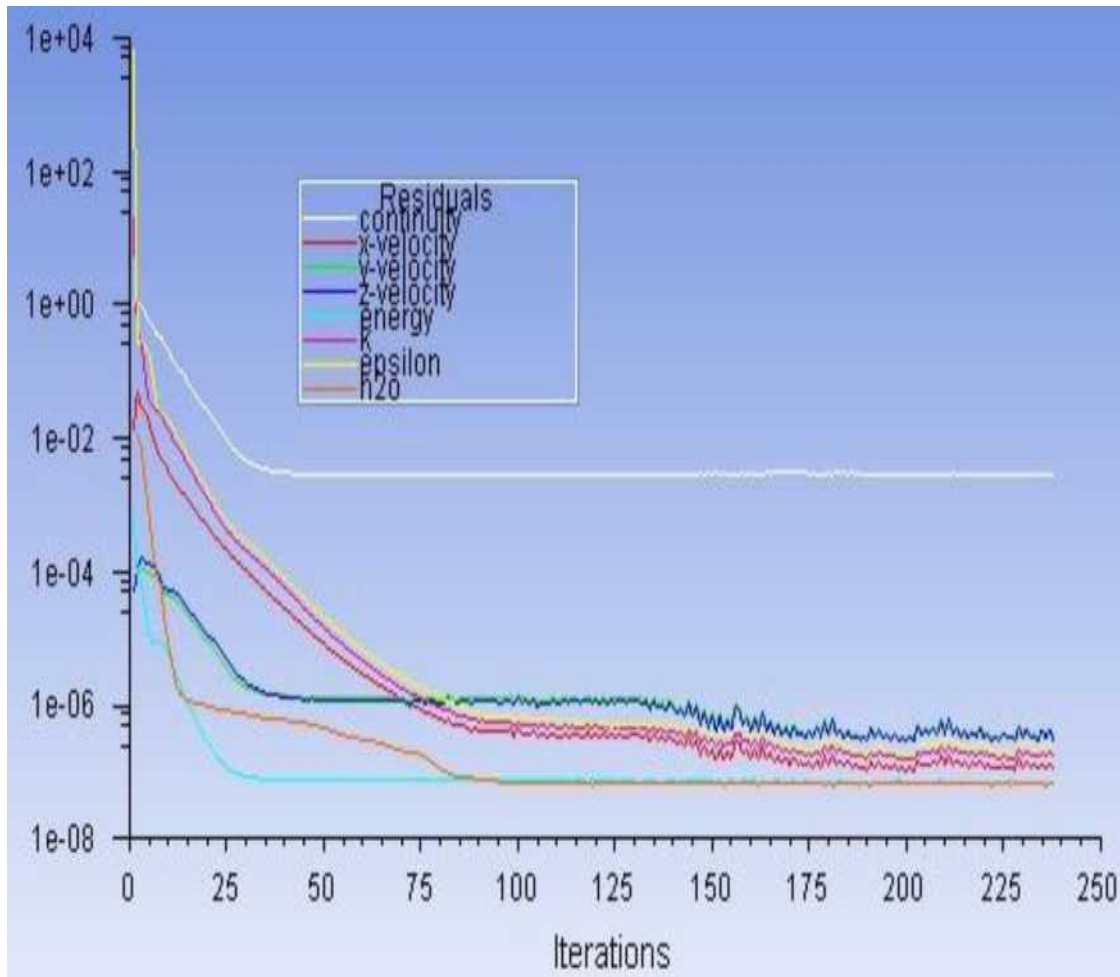


Рисунок 2.19 - Графік збіжності моделювання зледеніння одного каналу

В результаті моделювання встановлено, що вологість повітря на процес зледеніння вологи в каналі впливає незначно, оскільки розмір довжини каналу більший за його переріз у 100 разів, тобто за рахунок високої теплопровідності алюмінієвої стінки, великої поверхні теплообміну по довжині каналу та малої площі живого перерізу волога, що міститься в

повітряній суміші, при низьких температурах зовнішнього повітря незмінно призводити до утворення льоду в повітряному каналі з наступним перекриттям перерізу для проходження повітря. Таким чином, при складанні рекомендацій щодо режиму роботи теплообмінного апарату в припливно-витяжній системі вентиляції вологістю витяжного повітря можна знехтувати.

Для визначення температури холодного повітря, при якому повітряний канал буде заповнений льодом і теплообмінник перестане функціонувати за призначенням, виконано моделювання з різними температурами алюмінієвої стінки. На рисунку 2.20 представлені поля повітряної суміші/льоду витяжного гарячого повітря з однаковою вологістю за різних температур холодного припливного повітря на вході в насадку.

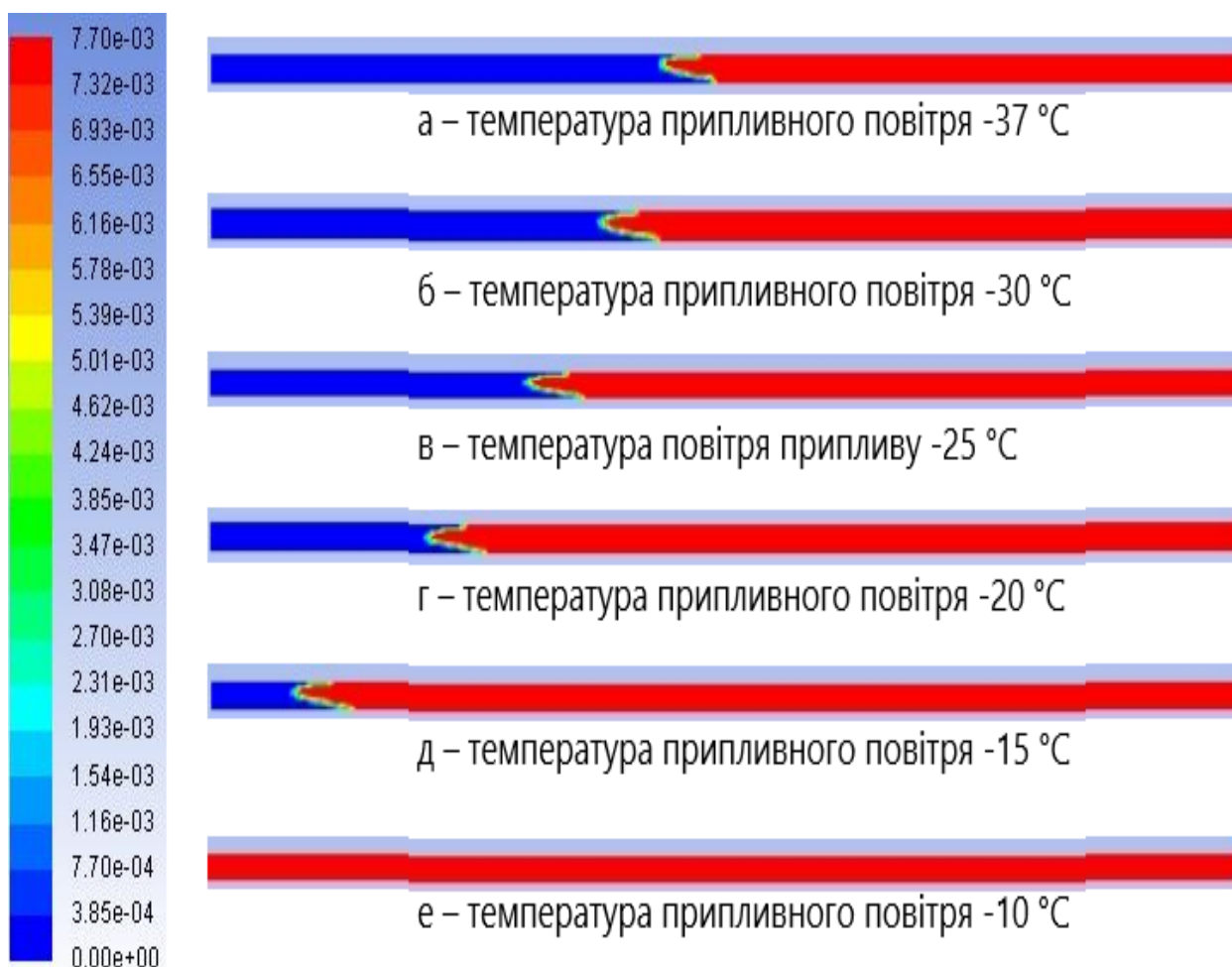


Рисунок 2.20 – Поля вологого повітря/льоду за різних температур холодного припливного повітря

Таким чином, в результаті моделювання зледеніння каналу в стаціонарному режимі при різних температурах холодного повітря на вході в теплообмінник встановлено, що при температурі зовнішнього повітря $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ зледеніє половина повітряних каналів теплообмінника, а при температурі $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ вже по всьому перерізу насадки не буде можливості для проходу повітря та його енергетична ефективність виявиться рівною 0.

При моделюванні зледеніння одного повітряного каналу в нестаціонарному режимі час утворення льоду та заповнення ним перерізу для проходу повітря склало 25 секунд. Це пояснюється високою теплопровідністю алюмінієвої стінки і великою площею поверхні, тому враховувати час зледеніння та відтавання каналів немає сенсу.

2.6 Висновки до 2 розділу

Висновки з моделювання теплообмінника, що обертається, в припливно-витяжній системі вентиляції можна зробити наступні:

а) встановлена залежність ефективності рекуперації тепла від швидкості обертання барабана;

б) ологість витяжного повітря з приміщення в процесі зледеніння повітряних каналів теплообмінника не має значення, тому при складанні рекомендацій щодо режимів роботи установки їй можна знехтувати;

в) зледеніння повітряних каналів за низьких температур холодного повітря на вході в теплообмінник відбувається за короткий проміжок часу, тому змінювати режим роботи установки при температурах зовнішнього повітря, починаючи з яких відбувається заповнення льодом каналів насадки, не обґрунтовано;

г) встановлена температура зовнішнього холодного повітря на вході в теплообмінник, нижче за яку повітряні канали теплообмінника перекиватимуть переріз для проходу повітря, внаслідок чого установка для підвищення ефективності системи вентиляції перестане функціонувати.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ

3.1 Загальні відомості

На сьогоднішній день найбільш поширеним способом економії витрат на вентиляцію будівель і споруд є утилізація тепла витяжного повітря, яка полягає у використанні тепла нагрітого відпрацьованого повітря на підігрів холодного припливного. Для цього в сучасних системах вентиляції використовують досить дорогі рекуперативні установки. Основний недолік подібного обладнання полягає в зледеніння повітряних каналів при низькій температурі зовнішнього повітря, що призводить до зниження їхньої енергетичної ефективності аж до повного припинення теплообміну. Цей факт є стимулом для пошуку нових рішень задля економії витрат за експлуатацію системи вентиляції.

Один з простих і економічних методів підвищення енергетичної ефективності сучасних систем вентиляції полягає в застосуванні методу теплової рециркуляції повітря. Цей метод включає одночасний контроль і управління якістю повітря в приміщенні та очищення від шкідливих домішок за допомогою сучасних фільтраційних систем.(рис. 3.1).

Для підтримки необхідного мікроклімату в приміщенні подається свіже повітря припливним вентилятором (1), попередньо нагріте водяним або електричним калорифером (5). Відпрацьоване брудне повітря видаляється з приміщення витяжним вентилятором (2) та викидається на вулицю.

З метою підтримки необхідної якості повітря в приміщенні на витяжному повітроводі перед вентилятором встановлені датчики, що дозволяють відслідковувати показання відносної вологості (H_2O), концентрацію вуглекислого газу (CO_2), концентрацію летких органічних речовин (VOC) у відпрацьованому повітрі (8).

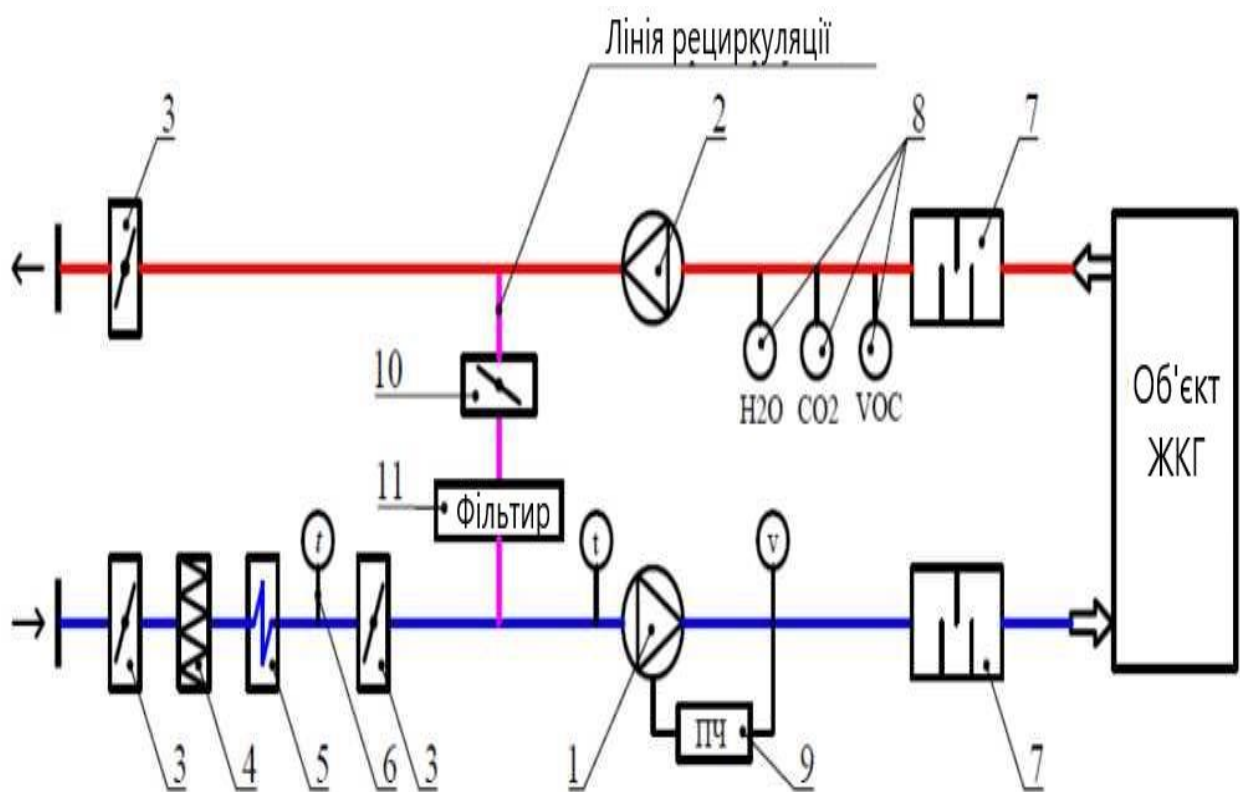


Рисунок 3.1 - Припливно-витяжна система вентиляції з рециркуляцією повітря :

1 - припливний вентилятор; 2 - витяжний вентилятор; 3 - повітряний клапан; 4 - фільтр грубого очищення; 5 - калорифер; 6 - датчик температури; 7 - шумоглушник; 8 - датчики якості повітря; 9 - перетворювач частоти; рециркуляції, 11 - фільтр, що дезінфікує повітря.

З метою підтримки необхідної якості повітря в приміщенні на витяжному повітроводі перед вентилятором встановлені датчики, що дозволяють відслідковувати показання відносної вологості (H_2O), концентрацію вуглекислого газу (CO_2), концентрацію летких органічних речовин (VOC) у відпрацьованому повітрі (8). В залежності від їх показань змінюється положення повітряного клапана на лінії рециркуляції (10), який дозволяє підмішувати частину або все витяжне повітря до припливного. Також на лінії рециркуляції встановлено фільтр (11), що очищає забруднене повітря від пилу, вірусів, бактерій, запахів, промислових викидів та диму.

Внаслідок зміни частки повторно використовуваного витяжного повітря, що проходить через фільтр, опір такої системи вентиляції є постійним, тому припливний вентилятор оснащений перетворювачем частоти (9).

Зниження експлуатаційних витрат на вентиляцію з рециркуляцією повітря досягається за рахунок безперервної роботи системи автоматизації, що дозволяє відстежувати якість повітря в приміщенні, в залежності від якого змінюється положення повітряного клапана лінії рециркуляції. Цей клапан визначає витрату вже нагрітого витяжного повітря із приміщення, очищеного фільтром, який повторно використовується разом із припливним повітрям у системі вентиляції. Таким чином знижується кількість свіжого повітря з вулиці, що призводить до прямопропорційного зменшення теплового навантаження на калорифер.

При використанні в системі вентиляції рециркуляції повітря всі присутні у ньому забруднювачі потраплять назад у приміщення, що з часом призведе до несприятливих умов перебування у ньому людей.

Джерелами забруднення повітря в закритих приміщеннях є атмосферне повітря, яке проникає через віконні отвори та нещільності будівельних конструкцій, а також матеріали для будівництва та оздоблення, що виділяють різноманітні речовини, токсичні для людини. Багато з цих речовин є високонебезпечними, такими як бензол, толуол, циклогексан, ксилол, ацетон, бутанол, фенол, формальдегід, ацетальдегід, етиленгліколь, хлороформ. Крім того, продукти життєдіяльності людини та її побутові дії вносять свій внесок у забруднення повітря, включаючи антропоксини, такі як чадний газ, аміак, ацетон, вуглеводні, сірководень, альдегіди, органічні кислоти та інші.[11]. Основне джерело мікробіологічного забруднення повітря – люди, які перебувають у приміщенні.

У середньому одна людина виділяє в навколишнє повітря 2000:6000 мікроорганізмів на годину (при розмові – 800 частинок за хвилину, при чханні – до 40000) [12]. Виділяються мікроорганізми в повітрі знаходяться у вигляді аерозолу - колоїдної системи, що складається з повітря і дрібних

крапель рідини з укладеними в них мікроорганізмами.

Більшість виділених людиною аерозолів (крапельна, або великоядерна фаза) складається з частинок діаметром близько 0,1 мм і більше. Такі частки осідають досить швидко: тривалість перебування у повітрі не перевищує хвилини.

Дрібноядерна фаза частково виділяється людиною та утворюється при висиханні частинок першої фази. У цій фазі частинки мають найменші розміри, легко переміщуються потоками повітря, тривалий час перебувають у ньому зваженому стані. Це найбільш стійка фаза, оскільки діаметр більшості частинок вбирається у 0,05 мм, а швидкість осідання частинок становить середньому 0,013 див/с. Саме вона є найбільшою епідеміологічною небезпекою, і основним завданням запобігання поширенню інфекційних захворювань є недопущення поширення дрібноядерної фази на великі відстані.

рім того, повітря, що видихається людьми в порівнянні з атмосферним, містить менше кисню (до 15,1: 16 %), у 100 разів більше вуглекислого газу (до 3,4:4,7 %) [11]. Тому в приміщеннях з перебуванням людей відбувається постійне зниження вмісту кисню та збільшення вуглекислого газу.

Вплив різних чинників на людини всередині приміщення може спричинити порушення стану здоров'я, тобто. «Захворювання, пов'язані з будинком».

Симптоми захворювання зберігаються довго, навіть після усунення джерела шкідливого впливу. «Синдром хворої будівлі» проявляється у вигляді гострих порушень стану здоров'я та дискомфорту (головного болю, подразнення очей, носа та органів дихання, сухого кашлю, сухості та свербіння шкіри, слабкості, нудоті, підвищеної стомлюваності, сприйнятливості до запахів), що виникають у конкретних приміщеннях та майже повністю зникають при виході з нього. Розвиток цього синдрому пов'язується з комбінованими та поєднаними діями хімічних, фізичних (температура, вологість) та біологічних (бактерії, невідомі віруси та ін.)

факторів. Найчастішими причинами цього явища є недостатня природна та штучна вентиляція приміщень, а також використання будівельних та оздоблювальних полімерних матеріалів, які виділяють у повітря токсичні речовини, а також нерегулярне прибирання приміщень. Хімічне та біологічне забруднення повітря може сприяти розвитку синдрому хронічної втоми, що проявляється вираженою втомою, тривалістю принаймні 6 місяців та супроводжується порушеннями короткочасної пам'яті, дезорієнтацією, порушенням мовлення та утрудненням виконання рахункових операцій. Синдром множинної хімічної чутливості, який характеризується порушенням процесів адаптації організму до впливу різних факторів на тлі спадкової або набутої чутливості до хімічних речовин, найчастіше виникає у людей, які мали гострі отруєння хімічними речовинами, такими як органічні розчинники, пестициди та різні роздратовуючі речовини.

Зміна фізико-хімічних властивостей повітря несприятливо позначається на самопочутті людини та її працездатності. На рисунку 3.2 представлена залежність продуктивності праці людини від якості повітря в приміщенні, що відтворюється, виражена у відсотках незадоволених людей якістю повітря або в дециполях [13].

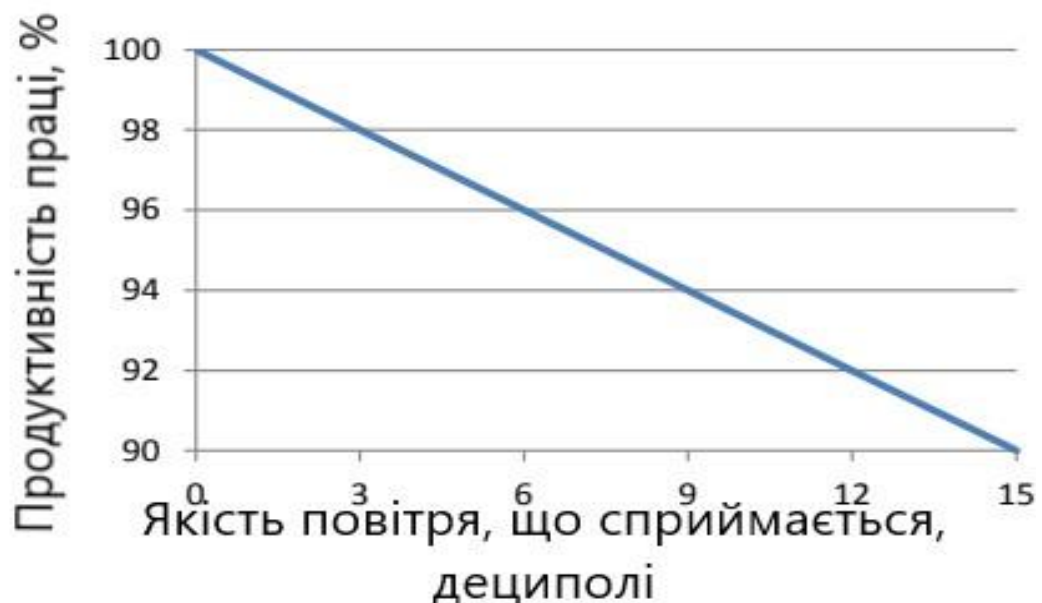


Рисунок 3.2 - Залежність продуктивності праці від сприймається людиною якості повітря у приміщенні

Присутність різноманітних біологічно активних хімічних речовин у різних концентраціях і комбінаціях у повітрі житлових і громадських приміщень ускладнює ідентифікацію кожного окремого компонента. Ця постійна зміна характеристик повітря вимагає використання інтегрального показника загального забруднення повітря. Звичайним інтегральним показником є вміст вуглекислого газу, визначений за показником Петтенкофера. Оцінка якості повітря проводиться з використанням цього показника як інтегрального санітарного показника чистоти повітря, де гранично допустимий норматив (ГДК) становить 0,8–1,2% (або 800–1200 см³ в 1 м³). Вуглекислий газ, виділяючись при диханні, є найлегше вимірюваним та має пряму кореляцію з загальним забрудненням повітря. Показник Петтенкофера не тільки враховує гранично допустиму концентрацію діоксиду вуглецю, а й вказує на шкідливість концентрацій різних метаболітів, що виокремлюються людиною та накопичуються у повітрі разом із діоксидом вуглецю. Підвищений вміст CO₂ (>1,0‰) супроводжується зміною хімічного складу та фізичних властивостей повітря в приміщенні, що може негативно впливати на здоров'я людей, хоча сам діоксид вуглецю, навіть при значно вищих концентраціях, не виявляє токсичної дії на людину.

Крім оцінки якості повітря в приміщенні за загальноприйнятим та нормованим рівнем вуглекислого газу в системі вентиляції з рециркуляцією повітря пропонується використовувати сучасні датчики [14], здатні визначати рівень летких органічних сполук (VOC), які є основними розповсюджувачами вірусів та бактерій у повітрі.

Для запобігання роботі системи вентиляції з рециркуляцією повітря як розповсюджувач інфекції, повторно використовуване витяжне повітря з приміщення необхідно знезаражувати. З цією метою на лінії рециркуляції передбачено фільтр, здатний очищати повітря від пилу, вірусів, бактерій, запахів, промислових викидів та диму.

До сучасних технологій знезараження повітря відносяться: НЕРА-фільтрація, вплив електричних полів, електрофільтрація з подальшою

інактивацією мікроорганізмів за допомогою озону або фотокаталізу, низькотемпературна плазма, ультрафіолетове бактерицидне опромінення з НЕРА-фільтрацією, ультразвукові ванни та ін. технологій або поєднання їх з хімічними методами (аерозольна дезінфекція, іонізація, озонація, фотокаталіз) в одному пристрої. В даний час на ринку представлено обладнання для очищення повітря наступних виробників.

3.2 Електропорація

Fresh Air (Україна), Plasmair (Франція). У цьому обладнанні використовується технологія знезараження повітря «Потік», яка ґрунтується на явищі електропорації мембрани клітини. Електропорація – створення пір у мембрані клітини під впливом електричного поля. При впливі технології «Потік» процес електропорації має незворотний характер, у результаті відбувається інактивація будь-яких мікроорганізмів, що у оброблюваному повітрі.

Процес інактивації здійснюється шляхом на мікробну клітину постійних електричних полів заданої орієнтації і напруженості, що призводить до її руйнації. При цьому величина впливу розрахована так, щоб знищувати будь-які мікроорганізми та віруси незалежно від їх видової приналежності. Крім того, в установці закладено функцію автоматичного контролю та регулювання параметрів, що гарантують стовідсоткову ефективність інактивації вірусів та мікроорганізмів.

Суть технології полягає в тому, що при використанні високопористих електродів забезпечується багаторазове перезарядження мікроорганізмів, і в результаті такого впливу відбувається їх повне руйнування та загибель. Після обробки установкою інфікованого повітря на виході йде стерильне повітря без небезпечних мікробів, бактерій та вірусів. При цьому немає накопичення живих мікроорганізмів всередині установки, і немає потенційної небезпеки залпового викиду мікробів після її вимикання і повторного включення.

Знезараження повітряного потоку здійснюється у два етапи (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 - Принцип очищення повітря на основі електропорації

Перший етап: в зоні інактивації виробляється комбіноване багаторазове вплив на мікроорганізми постійних електричних полів та іонів протилежних знаків, що різко змінюються за величиною напруженості і градієнту, що призводить до незворотного пошкодження або повного руйнування мікробних клітин.

Другий етап: в зоні тонкої фільтрації відбувається уловлювання уламків зруйнованих клітин і частинок, що знаходяться в оброблюваному повітряному потоці, на високопористих наноелектродах електростатичного осадника, що володіє великою пилоємністю. Ефективність фільтрації відповідає фільтрам класу H11-H14.

3.3 Фотокаталітичне окислення

Обладнання виробників «Aircomfort» (Китай), «Daikin» (Корея) засноване на технології фотокаталітичного окислення мікроорганізмів та молекулярних летких сполук, що знаходяться у повітрі. В основі технології лежить окислення на поверхні фотокаталізатора (діоксиду титану) під впливом м'якого ультрафіолету хімічних забруднювачів та хвороботворних мікроорганізмів. При цьому всі хімічні та біологічні забруднювачі руйнуються до найпростіших складових, переважно до вуглекислого газу, води та атмосферного азоту.

Якісне очищення повітря досягається у декілька етапів (рис. 3.4).

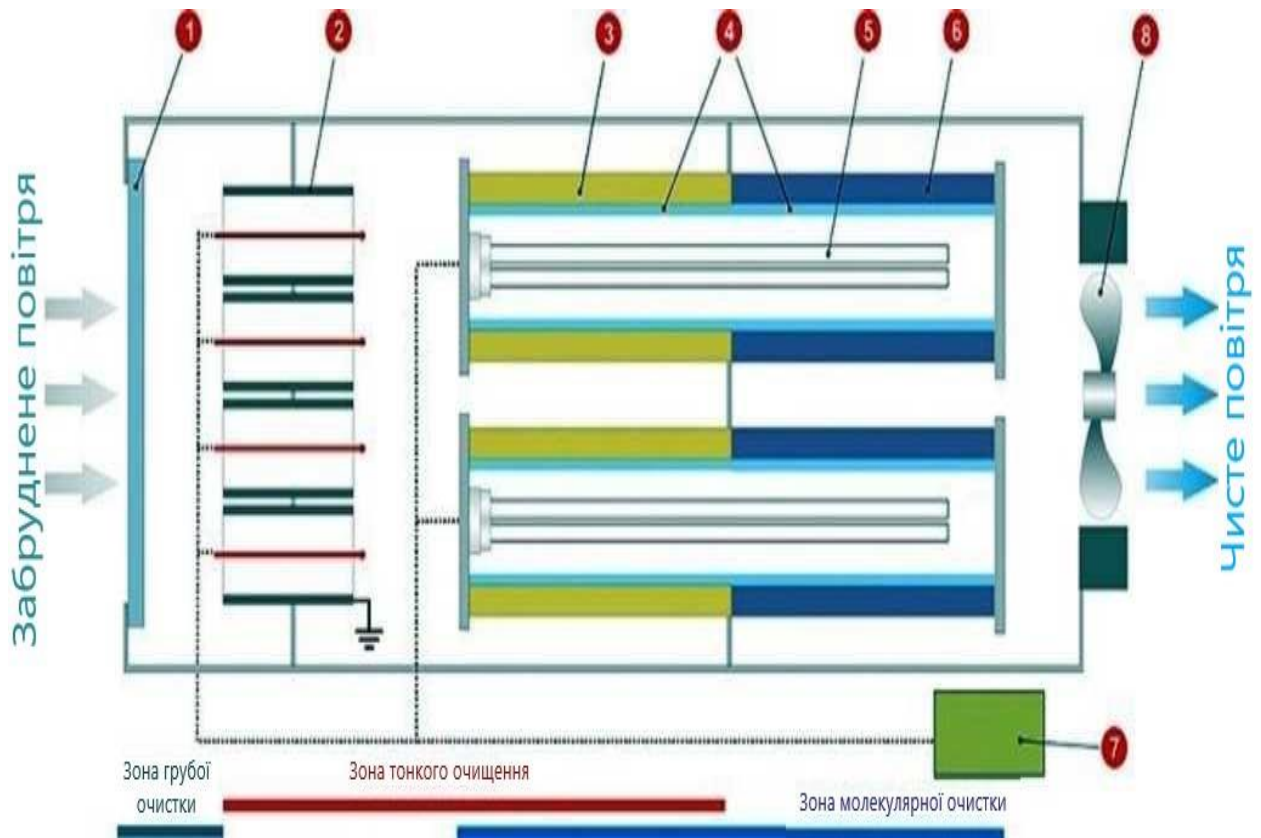


Рисунок 3.4 - Схема очищення повітря на основі фотокаталізу:

1 - попередній фільтр, 2 - блок зарядки аерозолів, 3 - НЕРА-фільтр, 4 - фотокаталітичний фільтр, 5 - ультрафіолетовий випромінювач, 6 - адсорбційно-каталітичний фільтр, 7 - блок управління, автоматики та сигналізації; 8 - вентилятор.

Попередній фільтр (1) уловлює великі частинки пилу та вуличного сміття та захищає наступні фільтруючі елементи від передчасного забруднення великими частинками. Конструкція блоку зарядки аерозолів (2) забезпечує симетричне електростатичне поле всередині елемента та ефективність зарядки аерозолів розмірами $0,1 \text{ мкм} \div 100 \text{ мкм}$. Блок виконаний у вигляді циліндричних елементів з нержавіючої сталі, з розташованим по центру елемента вольфрамовим електродом діаметром 17 мкм . На електроди подається висока напруга, внаслідок чого в заряднику виникає електричне поле, яке заряджає всі частинки забруднень, що знаходяться у потоці повітря.

У процесі електростатичного блоку генерується озон, який інактивує будь-які типи мікроорганізмів, окислює хімічні речовини, затримані наступними фільтрами. Надалі озон окислюється на фотокаталітичному блоці і не виходить за межі установки очищення. Бар'єрний електростатичний НЕРА-фільтр (3) затримує аерозолі, дими та частинки пилу від 0,1 мкм, на яких можуть бути адсорбовані неприємні запахи, токсичні хімічні речовини та небезпечні мікроорганізми. Поляризований пиловий НЕРА-фільтр використовується як осадник заряджених частинок. Ефективність захоплення твердих, рідких та біологічних аерозолів становить 99 %. Інактивація мікроорганізмів та знезараження фільтра відбувається за допомогою озону, який виробляється в блоці зарядки аерозолів.

У фотокаталітичних фільтрах (4) при фотокаталізі всі газофазні забруднювачі повітря (неприємні запахи, токсичні гази, алергени, віруси, бактерії і т. д.) адсорбуються на поверхні фотокаталізатора і під дією м'якого ультрафіолетового випромінювання, що створюється УФА випромінювачами (5) розкладаються до найпростіших, нешкідливих складових (вуглекислий газ, вода та атмосферний азот). У процесі роботи забруднювачі не накопичуються на фільтрі, а повністю розкладаються, таким чином фотокаталітичний фільтр саморегенерується при використанні. Адсорбційно-каталітичний фільтр (6) запобігає проскоку шкідливих речовин при залпових викидах, адсорбуючи їх на поверхні каталітично активного сорбенту. Блок керування, автоматики та сигналізації (7) дозволяє контролювати роботу установки очищення повітря, а вентилятор (8) забезпечує подолання повітрям опору, створюваного фільтруючою установкою.

3.4 Електрофільтрації

Технологія очищення повітря виробників "TM ARMED" (Україна), "StrionAir" (США) заснована на електрофільтрації з подальшою інактивацією мікроорганізмів за допомогою озону (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 - Принцип очищення повітря на основі електрофільтрації

Передфільтр (1) затримує великий пил і запобігає попаданню всередину великих частинок забруднення. Далі повітря проходить через електростатичний блок (2), де механічні забруднювачі та біоаерозолі набувають електростатичного заряду та ефективно осаджуються на об'ємному НЕРА-фільтрі (3). За рахунок озону, що продукується з кисню, електростатичним блоком у бактерицидних концентраціях забезпечується інактивація (знищення) вірусів, бактерій, а також суперечка пліснявих грибів.

Завдяки інактивації об'ємний НЕРА-фільтр постійно стерильний під час експлуатації, а його заміна не потребує спеціальних методів утилізації. Таким чином забезпечується повна мікробіологічна безпека системи фільтрації. Озон повністю розкладається у кисень, проходячи через адсорбційно-каталітичний фільтр (4), одночасно прискорюючи реакції руйнування молекулярних хімічних сполук. Адсорбційно-каталітичний фільтр призначений для фільтрації шкідливих речовин у газовій фазі та запахів. Концентрації озону на виході з пристрою гарантовано не

перевищують ГДК весь термін експлуатації, тому пристрій може цілодобово експлуатуватися в присутності людей.

3.5 Гібридна припливно-витяжна система вентиляції з рециркуляцією повітря

Ефективність знезараження розглянутих фільтрів за даними виробників перебуває на рівні $99 \div 99,9$ %. Порівняння експлуатаційних характеристик та економічних показників різних виробників знезаражувального обладнання зведено в таблицю 3.1 [15, 16, 17].

Таблиця 3.1 - Характеристики дезінфекційного обладнання

Характеристики/технологія очищення	Електрофільтр и (Fresh Air П 100/250)	Фотокаталіз (на прикладі Aircomfort – GH2172)	Комплексні технології (на прикладі ARMED RPK-8-ВТ)
Частота сервісного обслуговування при безперервній роботі приладу	Не вимагається	Заміна фільтру 3 рази в рік, УФ-ламп і блоку ФК кожні 2 роки	Заміна фільтру 1 раз на рік
Спеціальна утилізація змінних елементів	Не вимагається	Вимагається (УФ-лампи блоку ФК містять ртуть)	Не вимагається
Регламентовані профілактичні роботи	Ні	Ні	Ні
Енергоспоживання, Вт	40	100	45
Гарантийний термін, років	1	1	2

Термін служби, років	3	3	5
Середня ринкова ціна, в перерахунку на продуктивність 150 м ³ /годину, грн.	35000	15 500	18 700
Характеристики/технологія очищення	Електрофільтр и (Fresh Air П 100/250)	Фотокаталіз (на прикладі Aircomfort – GH2172)	Комплексні технології (на прикладі ARMED RPK-8-BT)
Середня вартість експлуатації в рік, в перерахунку на продуктивність 150 м ³ /годину, грн	1 335	5 190	1 826
Середня вартість експлуатації, за 3 роки з урахуванням інфляції 10%, в перерахунку на продуктивність 150 м ³ /година	2 406	8 127	4 026
Вартість володіння за 3 роки з розрахунку на 150 м ³ /година	36 406	18 627	20 726

Виходячи з показників, наведених у таблиці 1, пріоритетним обладнанням для знезараження повітря є установки компанії ТМ ARMED, що фільтрують, на основі електрофільтрації з подальшою інактивацією мікроорганізмів за допомогою озону.

Таким чином, застосування в системі вентиляції рециркуляції повітря спільно з обладнанням для дезінфекції витяжного повітря з приміщення дозволяє підвищити енергетичну ефективність, а також забезпечити якість мікроклімату на високому рівні. Але постійна рециркуляція одного і того ж повітря в будівлі неможлива, тому що в такому разі не буде забезпечена

необхідна концентрація кисню для перебування в ньому людей, а в періоди часу з активним забрудненням повітря в приміщенні (наприклад, проведення планерок, конференцій в адміністративних приміщеннях), підвищена відвідуваність торгових центрів, ресторанів) знадобиться великий обсяг свіжого повітря з вулиці, що призведе до роботи системи вентиляції в неекономічному режимі. Для зниження витрат на підігрів холодного повітря пропонується до системи вентиляції з рециркуляцією повітря додати теплообмінник, що дозволяє використовувати тепло витяжного повітря на нагрівання припливного (рис. 3.6).

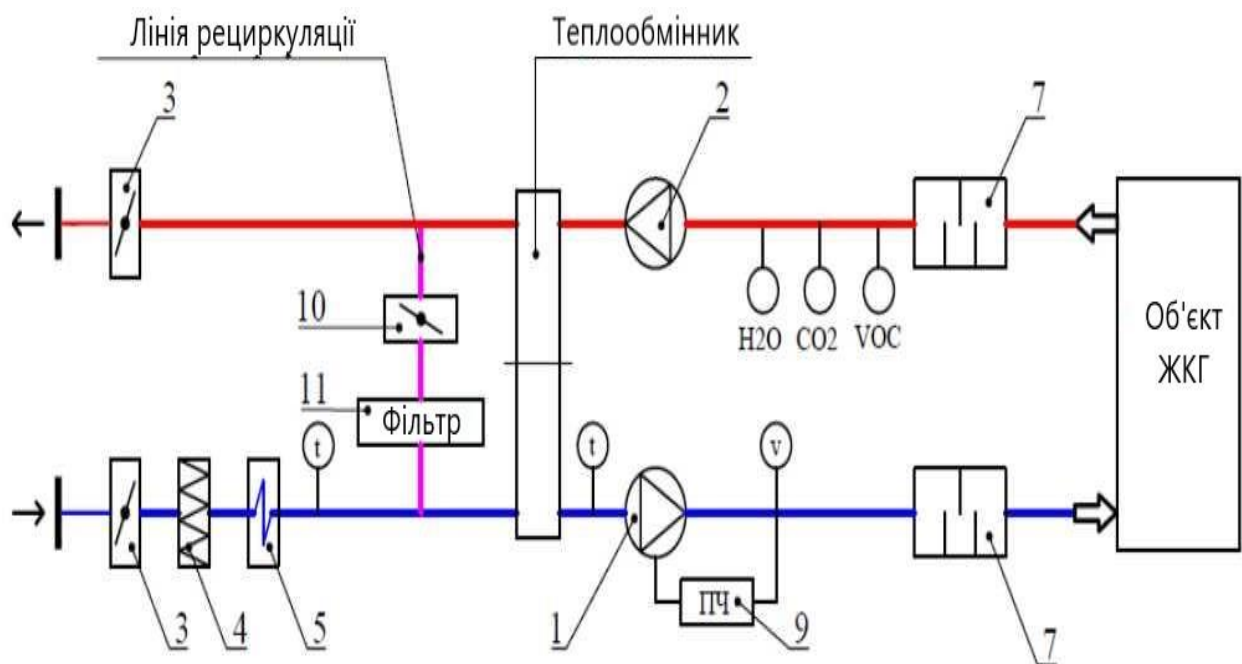


Рисунок 3.6 - Гібридна припливно-витяжна система вентиляції з рециркуляцією повітря та рекуперацією тепла :

- 1 - припливний вентилятор; 2 - витяжний вентилятор; 3 - повітряний клапан;
 4 - фільтр грубого очищення; 5 - калорифер; 6 - датчик температури; 7 - шумоглушник; 8 - датчики якості повітря; 9 - перетворювач частоти; рециркуляції, 11 - фільтр, що дезінфікує повітря.

Максимальної енергетичної ефективності гібридної системи вентиляції можна досягти за рахунок використання автоматизації її роботи, яка передбачає такі режими роботи:

а) 100% рециркуляції. У періоди часу з відсутністю людей у приміщенні (ніч, вихідні в адміністративних будинках, школах) клапан на лінії рециркуляції буде повністю відкритий, що дозволить не витратити теплову енергію на нагрівання холодного повітря;

б) рециркуляція повітря разом із рекуперацією тепла. Номінальний режим роботи системи вентиляції, в якому витрата холодного повітря в приміщення буде подаватися в міру необхідності, яка визначається показниками датчиком якості відпрацьованого повітря, а відкриття клапана на лінії рециркуляції в такому режимі складе 70:100% [12]. У цьому режимі ефективність системи вентиляції забезпечуватиметься як рециркуляцією повітря, так і рекуперацією тепла;

в) "пікові" режими. Періоди часу з максимальним забрудненням повітря у приміщенні – обідні перерви в офісах, максимальна завантаженість ресторанів, торгових центрів, конференції. У цьому режимі клапан на лінії рециркуляції буде відкритий в діапазоні 0:70 % в залежності від ступеня забруднення, а повітря припливу забезпечуватиметься холодним повітрям з вулиці, що призведе до максимального навантаження на теплообмінник. При температурах зовнішнього повітря нижче 0 °C існує загроза обмерзання пластин теплообмінної поверхні рекуператора, проте в гібридній системі вентиляції є можливість подавати холодне повітря періодично, що створить умови для розморожування теплообмінника шляхом продування через нього нагрітого повітря з приміщення.

Енергетичні та економічні витрати на експлуатацію гібридної припливно-витяжної системи вентиляції офісної будівлі у м. Запоріжжя з витратою повітря 4000 м³/год представлені на рисунку 3.7. Пунктирна лінія, що означає відкриття клапана 70%, відокремлює номінальний режим роботи від «пікового».

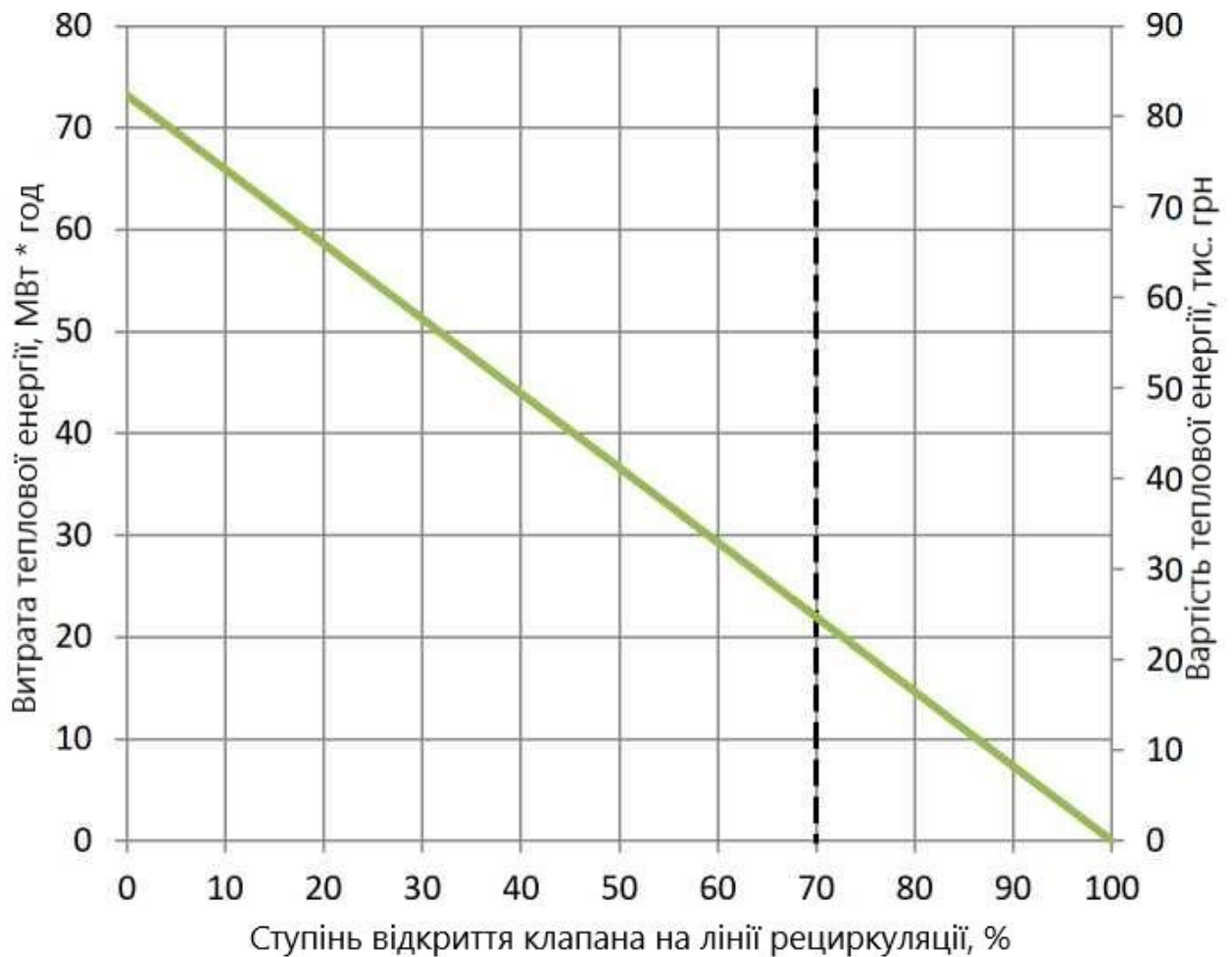


Рисунок 3.7 - Енергетичні та економічні витрати на експлуатацію гібридної припливно-витяжної системи вентиляції

Таким чином, гібридна система вентиляції дозволяє максимально скоротити витрати на експлуатацію за рахунок використання двох способів підвищення енергетичної ефективності - рециркуляції повітря та рекуперації тепла, а також забезпечити підтримання якості повітря всередині приміщення на високому рівні.

3.6 Техніко-економічне обґрунтування гібридної системи вентиляції

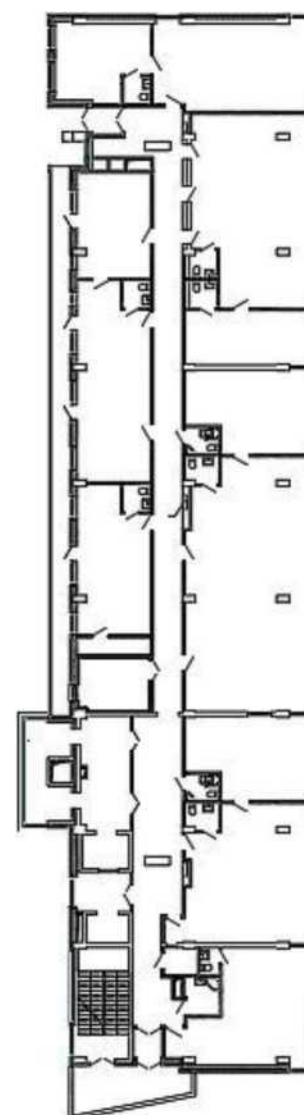
Кількість теплової енергії, що використовується для нагрівання холодного повітря, безпосередньо залежить від варіанту виконання припливно-витяжної системи вентиляції. На прикладі типового поверху з

кількістю осіб 28 і площею 1600 м² торгово-офісної будівлі (рис. 3.8) порівнюються три системи вентиляції, що включають різні заходи щодо економії теплової енергії на нагрівання припливного повітря [18]:

- а) припливно-витяжна з рекуперацією тепла;
- б) припливно-витяжна з рециркуляцією повітря;
- в) припливно-витяжна з рекуперацією тепла і рециркуляцією повітря.



а - загальний вигляд БЦ Баланс



б - план
типового
поверху у БЦ
Баланс

Рисунок 3.8 - Бізнес-центр Баланс в м. Київ

Підхід, використаний при порівнянні енергетичної та економічної ефективності припливно-витяжних систем вентиляції, представлений на малюнку 3.9.

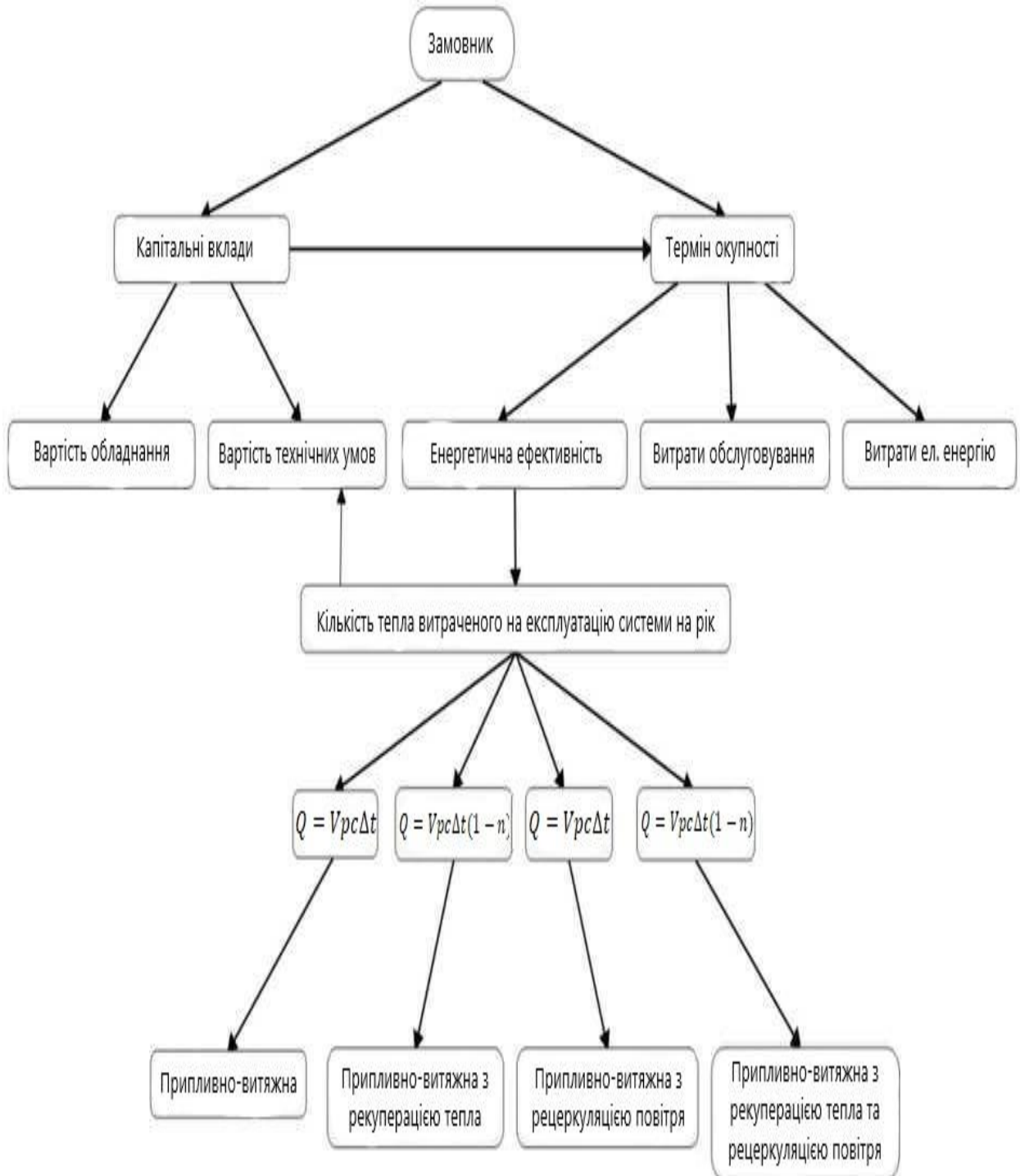


Рисунок 3.9 - Схема порівняння енергетичної та економічної ефективностей варіантів систем вентиляції

Економічна привабливість варіантів визначається капітальними вкладеннями та терміном окупності. Капітальні вкладення включають вартість обладнання та технічних умов. Термін окупності враховує витрати на електричну енергію, обслуговування системи вентиляції, а також енергетичну ефективність, тобто кількість тепла, витраченого на підігрів зовнішнього повітря припливу протягом року. Так як кожна з чотирьох систем має різну енергетичну ефективність, то вартість технічних умов буде різною.

Енергетична ефективність всіх варіантів систем вентиляції визначається з урахуванням температур зовнішнього повітря t_H^i тривалості t^i протягом року [8]. Загальна формула визначення витрат теплоти на нагрівання зовнішнього повітря, кВт*ч має такий вид:

$$Q^i = Vpc(t_{np} - t_H^i)(1 - n)\tau^i \quad (3.1)$$

де V - витрата холодного припливного повітря, м³/ч;

p - щільність повітря, кг/м³;

c - питома теплоємність повітря, кДж/(кг*К);

t_{np} - температура нагрітого припливного повітря (приймається в розрахунках 20°C);

t_H^i - температура зовнішнього повітря, °С[8];

n - ефективність вентиляційної установки з рекуперацією тепла;

t^i - тривалість повторюваності температури зовнішнього повітря t_H^i впродовж року, година [8].

Річні витрати тепла, кВт*ч/рік :

$$Q = \sum Q^i \quad (3.2)$$

Відмінність енергетичного ефекту різних варіантів систем вентиляції обумовлена наявністю або відсутністю рекуперації тепла, що враховується у формулі коефіцієнтом u , і витратою холодного повітря припливу V , який

може бути визначений двома способами [10]:

- а) на основі питомих норм повітрообміну;
- б) на основі розрахунку повітрообміну, необхідного для забезпечення допустимих концентрацій забруднюючих речовин.

Для варіанта припливно-витяжних систем вентиляції тільки з рекуперацією тепла витрата повітря припливу розраховується на основі питомих норм повітрообміну. У разі застосування рециркуляції повітря та автоматизації системи вентиляції кількість холодного припливного повітря визначається за умови підтримки необхідного рівня чистоти витяжного повітря. Основним критерієм якості повітря є концентрація CO₂. Необхідна витрата свіжого повітря, м³/ч [19]:

$$V = \frac{G_{\text{л}} n_{\text{л}}}{\text{ПДК}_{\text{CO}_2} - C_{\text{пр}}} + V_{\text{поб}} \quad (3.3)$$

де $G_{\text{л}}$ - шкідливі виділення в приміщенні від людей (приймається в розрахунках 24 л/год)[19];

$n_{\text{л}}$ - кількість людина в приміщенні;

ПДК_{CO_2} - гранично допустима концентрація CO₂, що відповідає середній якості повітря в приміщенні (1000 ppm)[10];

$C_{\text{пр}}$ - концентрація CO₂ в припливному (зовнішньому) повітрі (в результаті виміру в м.Київ склала 500 ppm);

$V_{\text{поб}}$ - витрата повітря для вентиляції побутових приміщень (на типовому поверсі в офісній будівлі складає 540 м³/год).

Найбільшу енергетичну ефективність має варіант системи вентиляції з використанням рекуперації тепла та рециркуляції повітря за рахунок використання тепла витяжного з приміщення повітря та автоматизації, що дозволяє регулювати кількість холодного повітря в міру необхідності.

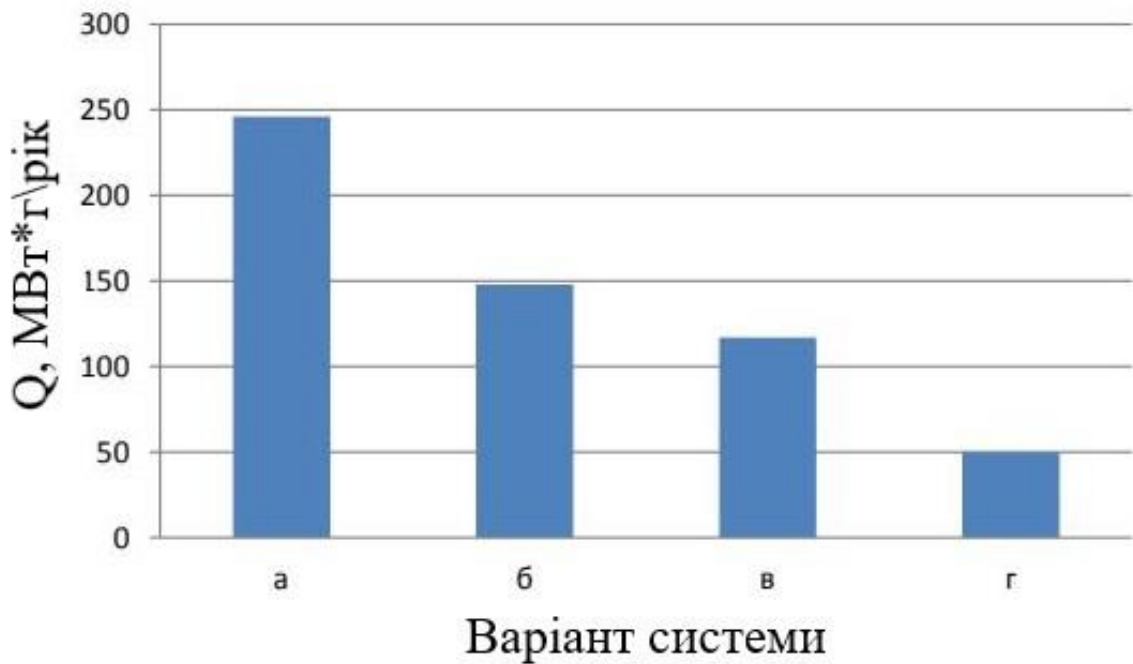


Рисунок 3.10 - Зіставлення річних витрат тепла на вентиляцію:

а - припливно-витяжна система вентиляції без заходів щодо підвищення енергетичної ефективності; б - припливно-витяжна система вентиляції з рекуперацією тепла; в - припливно-витяжна система вентиляції з рециркуляцією повітря; г - гібридна припливно-витяжна система вентиляції з рекуперацією тепла та рециркуляцією повітря.

Розрахунок терміну окупності аналізованих варіантів оцінюється за формулою, років:

$$T = \frac{E_{vy} - \Delta E_{ty}}{\Delta Q * E_{te} - N * E_{ee}} \quad (3.4)$$

Де E_{vy} - вартість вентиляційної установки ;

ΔE_{ty} - різниця у вартостях технічних умов, тис. грн ;

ΔQ - кількість заощадженої теплової енергії, кВт*ч;

E_{te} - вартість теплової енергії (прийнята в розрахунках для м.Київ 1654,41 грн/Гкал);

N - потужність приводу ротора теплообмінника вент. установки (за

даними виробника складає 1,6 кВт і враховується тільки в системах з використанням рекуперації тепла);

E_{ee} - вартість електричної енергії (середній по Красноярському краю складає 2,64 грн/кВт *ч).

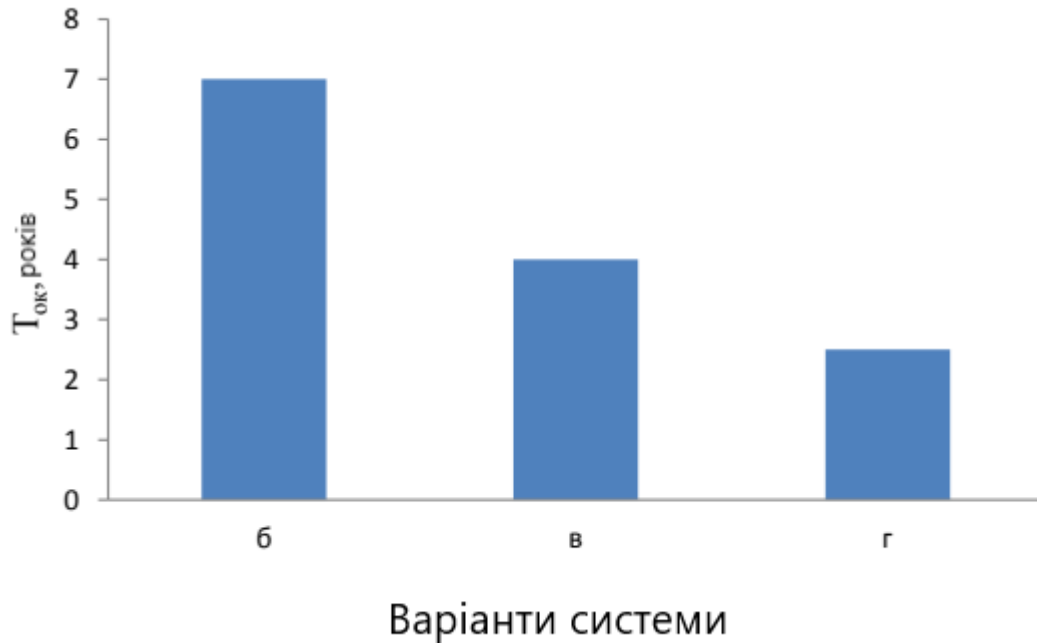


Рисунок 3.11 - Аналіз термінів окупності різних варіантів системи вентиляції:

б - припливно-витяжна система вентиляції з рекуперацією тепла; в - припливно-витяжна система вентиляції з рециркуляцією повітря; г - гібридна припливно-витяжна система вентиляції з рекуперацією тепла та рециркуляцією повітря.

3.7 Висновки до 3 розділу

Термін окупності показує, що використати рекуперацію тепла для економії витрат на експлуатацію системи вентиляції не доцільно у зв'язку з високим терміном окупності. Економічна привабливість рециркуляції повітря значно вища, а найменший термін окупності має система вентиляції з використанням як рекуперації тепла, так і рециркуляції повітря, що дозволяє

зробити висновок про життєздатність гібридної системи вентиляції, а так само про її перевагу в порівнянні з існуючими з точки зору енергетичної і економічної ефективностей.

Тому розроблена та запропонована гібридна система вентиляції з використанням як рекуперації тепла, так і рециркуляції повітря, а також вироблені режими роботи системи автоматизації, що дозволяють досягти максимальної енергетичної ефективності. Розроблено методику, що дозволяє порівнювати різні системи вентиляції з точки зору енергетичної та економічної ефективностей, на основі якої доведено, що гібридна система вентиляції має найменші витрати теплової енергії протягом усього періоду експлуатації, а також найменший термін окупності, що дозволяє рекомендувати Гібридна система вентиляції при проектуванні нових об'єктів ЖКГ.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Основним завданням щодо підвищення енергетичної ефективності внутрішніх інженерних систем будівель та споруд є зниження витрат на експлуатацію системи вентиляції.

2. Існуючі способи економії теплової енергії на нагрівання холодного повітря полягають у використанні витяжного тепла повітря на нагрівання припливного. У більшості сучасних систем використовують високоефективні рекуперативні установки, які включають у себе пластинчасті та роторні теплообмінники. Ці установки дозволяють використовувати тепло, яке видається при вентиляції, для попереднього нагріву вхідного повітря.

Однак основною перешкодою для їх широкого впровадження є обмерзання пластин теплообмінної поверхні при негативних температурах холодного повітря.

3.3 метою визначення реальної ефективності сучасних рекуперативних установок виконано чисельне моделювання повітропідігрівача з використанням низки спрощень. В результаті встановлені температури, при яких відбувається заповнення повітряних каналів льодом з наступним частковим або повним виходом з експлуатації рекуперативної установки. Таким чином, при температурі холодного припливного повітря $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ зледеніє половина живого перерізу теплообмінника, а при температурі $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ лід, утворений з вологи витяжного повітря, заповнить весь об'єм повітряних каналів. Цей факт підштовхує до пошуку нового перспективного рішення щодо підвищення ефективності системи вентиляції.

4. В якості альтернативи розглянуто варіант рециркуляції відпрацьованого повітря з одночасним контролем та управлінням якості повітря в приміщенні, а також знезараження шкідливих домішок за допомогою сучасних фільтруючих установок.

5. Виконано огляд існуючих способів очищення витяжного повітря від шкідливих домішок з метою його повторного використання, а також

проведено їх порівняння з погляду експлуатаційних характеристик та економічних показників. Однак і рециркуляція повітря не дає бажаного результату через нераціональне використання теплової енергії в періоди часу з максимальним забрудненням повітря в приміщенні, протягом яких буде потрібно багато холодного припливного повітря для підтримки необхідного мікроклімату в будівлі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дешко В.І., Шовкалюк М.М., Шевченко О.М., Шовкалюк Ю.В. Аналіз нормативів споживання теплоти в Україні та світі // Нова тема. - №2. – 2008. – С.6-10.
2. Мілейковський В.О., Котелков Л.М. Вентиляція індивідуального житлового будинку. – Дніпро: Середняк Т.К., 2018. – 156 с.
3. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. – [Чинний від 01-01-2016] – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2015. – 202 с.
4. Енергетична сертифікація будівель / А. В. Праховник , В. І. Дешко, О. М. Шевченко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2011. – № 1. – С. 140-153.
5. Чепурний М. М. Основи кондиціонування повітря: Навчальний посібник / М. М. Чепурний – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 332 с
6. Каталог кліматичного обладнання [Електронний ресурс]: розширювальні баки «Reflex» . – Режим доступу до ресурсу: http://www.armsnab.ru/pro-uct_830.html
7. Братута, Е.Г. та ін. Кондиціонування та вентиляція повітря [Текст]: текст лекцій / –Е. Г. Братута, А. М. Ганжа, О. В. Круглякова, В. В. Чубарова 128 с.–Харків : НТУ «ХПІ», 2009.
8. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» - К.: Міністерство охорони здоров'я України, 1999. – 12 с.
9. EN 13053:2006, Ventilation for buildings – Air handling units – Rating and performance for units, Components and sections (Вентиляція будівель. Блоки обробки повітря. Номінальні та робочі характеристики складових частин і секцій).
10. 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 с.

11. Р.І. Кінаш. Технологія заготівельних та спеціальних монтажних робіт / Р.І. Кінаш, С.С. Жуковський – Львів: Видавництво науково-технічної літератури, 1999. – 448 с.

12. Проектування. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції [Текст]. ДСТУ Н Б А.2.2.5:2007.- Уведено вперше ; чинний від 2008.07.01. - К. : Мінрегіонбуд України, 2008. - 44 с.

13. ДБН В.2.2-9:2018 - Громадські будинки та споруди.

14. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. - Чинні від 01.01.2014. - Київ: Укрархбудінформ, 2013. - V, 141 с.

15. 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.

16. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. - Чинні від 01.11.2011. - Київ: Укрархбудінформ, 2011. - IV, 123 с.

17. Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря будівель [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» / М.Ф.Боженко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 380 с.

18. Електропобутова техніка. Конспект лекцій для студентів спеціальності 5.14010201 «Обслуговування та ремонт електропобутової техніки»/ В.С.Пуць, О.Л. Герасимчук – Луцьк: ТК Луцького НТУ, 2016. – 144 с.

19. Белова Е.М. Системи кондиціонування повітря з чиллерами і фанкойлами / Белова Е.М. - М.: Євроклімат, 2003р. - 400.

20. Семенов Ю.В. Системи кондиціонування повітря з поверхневими повітряохолоджувачами / М. : ТЕХНОСФЕРА, 2014 р. - 272 с.

21. Павленко В. М., Ткаченко Д. О. Оцінювання ефективності використання рекуператора в системах вентиляції офісних приміщень - 2018р.
22. Вентиляція та кондиціонування громадських об'єктів : навчальний посібник / Джеджула В. В. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 71 с.
23. Е.В. Стефанов «Вентиляція і кондиціонування повітря», 2005 р.
24. Ратушняк Г. С. Експлуатація систем тепlopостачання та вентиляції / Г. С. Ратушняк, Г. С. Попова. - Вінниця : ВДТУ, 2001. - 122 с
25. І.А. Пономарчук. Вентиляція та кондиціонування повітря: Навчальний посібник/ Пономарчук І.А., Волошин О.Б. - Вінниця: ВНТУ, 2004.121с.
26. Зінич П. Л. Вентиляція громадських будівель і споруд: навчальний посібник / Зінич П. Л. – К. : КНУБА, 2002. – 256 с.
27. Вентиляція промислових цехів: вимоги, норми, проектування, монтаж. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://pingwin.lg.ua/post/ventilacia/uk/ventilacia-ventilacia-promislovih-cehiv-vimogi-normiproektuvanna-montaz.htm>
28. Вентиляція виробничих приміщень. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://pidru4niki.com/1775072438280/bzhd/ventilyatsiya_virobnichih_primischen
29. Вентиляція офісу - як це виглядає. - Режим досупу: <https://ventportal.com/ua/node/528>
30. Вентиляція і кондиціонування повітря. Режим доступу: <https://buklib.net/books/35231/>
31. ДСТУ Б А.2.4-41 «Опалення, вентиляція і кондиціонування повітря. Робочі креслення». – Вид. офіц. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2009 –31 с.
32. Росковшенко Ю. К. Центральні системи кондиціонування повітря: Навчальний посібник / Ю. К. Росковшенко – Київ: ІВНВКП «Укреліотех», 2008. – 216 с.

33. Нимич Г. В. Сучасні системи вентиляції і кондиціонування повітря. – К. : Вид.буд. "Аванпост-Прим", 2003. – 630с.
34. Основи охорони праці: Підручник./ К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, Д.В. Зеркалов, Р.В. Сабарно, О.І. Полукаров, В.С. Козьяков, Л.О. Митюк. За ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. – К.: Основа, 2003 – 472 с.
35. EN 13779:2007. Ventilation for non-residential buildings - Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems.
36. ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель» [зі зміною №1 від 1 липня 2013 року] – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2007. – 72 с.
37. Жихарєва Н. В. Оптимізація обладнання систем кондиціонування повітря [Текст]: навч. посібник: / Н. В. Жихарєва. – Одеська національна академія харчових технологій, 2014. - 118 с
38. О. В. Корнух «Стартап як прогресивна форма інноваційного підприємництва» / М. : ТЕХНОСФЕРА, 2014 р. - 26-30с.
39. Пікуль В.С. Що таке стартап? [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://3222.ua/article/scho_take_startup.htm
40. Godo, M. Study on Energy Saving Air - Conditioning Compact Desiccant Ventilation Units / M. Godo, T. Takatsuka, S. Shindo // International Symposium on Next - generation Air Conditioning and Refrigeration Technology, 2010, P. 6.
41. Godo, M. Study on energy saving air - conditioning system using compact desiccant ventilation units. Comparison of regeneration efficiency / M. Godo // JSRAE Annual Conf., 2008, P. 125-128.
42. Godo, M. Study on energy saving air - conditioning system using compact desiccant ventilation units. Adsorption and desorption behavior of the direct heating regeneration type / M. Godo // JSRAE Annual Conf., 2009, P. 427-430.
43. Herderger, S. New IAQ sensor for demand controlledventilation /

S.Herberfer, H. Ulmer // REHVA Journal - 2012. - August.

44. Kibert C. Construction Ecology. Nature as the basis for green buildings. [Spon press]. Canada, 2007. 328 p.

45. 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.