

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**Факультет інженерних систем і екології
Кафедра теплогазопостачання і вентиляції**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

**ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ З
РЕКУПЕРАЦІЄЮ ТЕПЛОТИ ВИТЯЖНОГО ПОВІТРЯ ТА
ТЕПЛОНАСОСНИМИ УСТАНОВКАМИ**

ІВАНІВ АЛІНА ОЛЕГІВНА

(прізвище, ім'я та по батькові студента повністю)

Київ 2025 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**Факультет інженерних систем і екології
Кафедра теплогазопостачання і вентиляції**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Д.е.н., професор Предун К.М.

«___» _____ 20__ р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

**ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

**ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ З
РЕКУПЕРАЦІЄЮ ТЕПЛОТИ ВИТЯЖНОГО ПОВІТРЯ ТА
ТЕПЛОНАСОСНИМИ УСТАНОВКАМИ**

Виконав студент групи ТВм-24-2

Спеціальність: будівництво та цивільна інженерія

Спеціалізація: теплогазопостачання і вентиляція

Іванів Аліна Олегівна
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

Керівник Ваколюк А.С.
(прізвище та ініціали)

к.т.н., доцент
(вчене звання, науковий ступінь)

Ідентичність підтверджую

Київ 2025р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет: інженерних систем і екології

Кафедра: теплогазопостачання і вентиляції

Освітній рівень: «магістр за ОПІ/ОНП»

Спеціальність: будівництво та цивільна інженерія

Спеціалізація: теплогазопостачання і вентиляція

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан факультету

д.т.н., професор Приймак О.В.

«___»_____20__ р.

ЗАВДАННЯ

**ДО ВИКОНАННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

ІВАНІВ АЛІНІ ОЛЕГІВНІ

(прізвище, ім'я та по батькові студента)

1. Тема роботи «Енергетична ефективність систем вентиляції з рекуперацією теплоти витяжного повітря та теплонасосними установками»

затверджена наказом ректора КНУБА №___ від «___»_____20__ р.

2. Керівник роботи

Ваколюк Анатолій Степанович, к.т.н., доцент

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту_____

4. Зміст пояснювальної записки за розділами:

Розділ 1. Аналіз використання теплонасосних технологій в системах вентиляції

Розділ 2. Прийняті інженерні рішення

Розділ 3. Енергетична ефективність систем вентиляції з рекуперацією теплоти витяжного повітря та теплонасосними установками

Розділ 4. Автоматика

Розділ 5. Охорона праці

Розділ 6. Енергозбереження

5. Графічний матеріал за розділами

Розділ 2. Листи 1-6 (плани поверхів будівлі з нанесенням запроектованих систем мікроклімату, аксонометричні схеми систем опалення, вентиляції та охолодження)

Розділ 3. Листи 7-9 (схема системи вентиляції з використання рекуператора та теплового насосу, розрахункові формули, залежності температури припливного та видаляемого повітря після рекуператора та після випарника теплового насосу від температури зовнішнього повітря та ККД рекуператора, висновки)

7. Календарний план виконання роботи:

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Розділ 1. Аналіз використання теплонасосних технологій в системах вентиляції	
Розділ 2. Прийняті інженерні рішення	
Розділ 3. Енергетична ефективність систем вентиляції з рекуперацією теплоти витяжного повітря та теплонасосними установками	
Розділ 4. Автоматика	
Розділ 5. Охорона праці	
Розділ 6. Енергозбереження	
Остаточне оформлення роботи	
Направлення роботи на рецензування, перевірку на плагіат	
Попередній захист роботи на кафедрі	

8. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірів	
		Дата	Підпис
Розділ 4			
Розділ 5			

9. Дата видачі завдання _____

Зав. кафедри _____ Предун К.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Ваколюк А.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Студент _____ Іванів А.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕЗЮМЕ (summary) до атестаційної випускної роботи студента:		Іванів Аліна Олегівна			
Заклад вищої освіти	Київський національний університет будівництва і архітектури				
Тема АРМ	Енергетична ефективність систем вентиляції з рекуперацією теплоти витяжного повітря та теплонасосними установками				
	Energy efficiency of ventilation systems with exhaust air heat recovery and heat pump units				
Освітній ступень	Магістр за освітньо-професійною/науковою програмою навчання				
Факультет	Факультет інженерних систем та екології				
Кафедра	Теплогазопостачання та вентиляції				
Спеціальність	Будівництво та цивільна інженерія				
Спеціалізація	Теплогазопостачання та вентиляції				
Керівник	Ваколюк Анатолій Степанович, к.т.н., доцент, доцент				
Обсяг роботи:	Пояснювальна записка				Креслень формату А1
	сторінок	розділів	таблиць	рисуноків	
		6	13	15	9
Розділ 1. Назва	Аналіз використання теплонасосних технологій в системах вентиляції				
Розділ 2. Назва	Прийняті інженерні рішення				
Розділ 3. Назва	Енергетична ефективність систем вентиляції з рекуперацією теплоти витяжного повітря та теплонасосними установками				
Розділ 4. Назва	Автоматика				
Розділ 5. Назва	Охорона праці				
Розділ 6. Назва	Енергозбереження				
Висновки по роботі:	Доведено, що при максимальній ефективності рекуператора при різних значеннях температури зовнішнього повітря можна отримати максимальні значення температури припливного повітря та мінімальні видаляемого на виході з нього при сталому значенні температури видаляемого повітря. При збільшенні температури зовнішнього повітря різниця в температурі видаляемого повітря на виході з випарника при різних значеннях ККД рекуператора в зазначеному діапазоні мінімальна (в межах 1°C).				
Ключові слова: рекуператор, тепловий насос, випарник, температурні показники повітря					
Keywords: recuperator, heat pump, evaporator, air temperature indicators					

Керівник _____ Ваколюк А.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Студент _____ Іванів А.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«___» _____ 20__ р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦІЇ	
1.1. Оцінка низькопотенційних джерел теплоти з метою використання їх в теплонасосних установках.....	
1.2. Огляд проведених досліджень з оцінки потенціалу використання теплових насосів в системах вентиляції	
1.3. Використання теплових насосів в системах вентиляції	
РОЗДІЛ 2. ПРИЙНЯТІ ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ	
2.1. Об'єкт для розробки систем мікроклімату.....	
2.2. Розрахункові параметри повітря	
2.2.1. Розрахункові параметри зовнішнього повітря	
2.2.2. Розрахункові параметри внутрішнього повітря	
2.3. Розробка системи опалення	
2.3.1. Визначення теплової потужності системи опалення приміщень.....	
2.3.2. Характеристика прийнятої системи опалення.....	
2.3.3. Вибір опалювальних приладів.....	
2.3.4. Визначення теплової потужності повітряно – теплової завіси.....	
2.4. Розробка систем вентиляції	
2.4.1. Визначення повітрообмінів в допоміжних приміщеннях.....	
2.4.2. Схема організації повітрообміну в актовому залі та допоміжних приміщеннях.....	
2.4.3. Визначення повітрообмінів в офісних приміщеннях.....	
2.4.4. Схема організації повітрообмінів в офісних приміщеннях.....	
2.4.5. Аеродинамічний розрахунок системи ПВ1	
2.4.6. Вибір повітрообробного обладнання системи ПВ1	
2.5. Розробка системи охолодження повітря	
2.5.1. Визначення холодильної потужності приміщень	

- 2.5.1.1. Надходження теплоти від людей.....
- 2.5.1.2. Надходження теплоти від джерел освітлення.....
- 2.5.1.3. Надходження теплоти від сонячної радіації.....
- 2.5.1.4. Надходження теплоти від оргтехніки.....
- 2.5.1.5. Загальні надходження теплоти.....
- 2.5.2. Характеристика прийнятої системи охолодження повітря.....
- 2.5.3. Підбір основного обладнання системи охолодження.....

РОЗДІЛ 3. ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ З РЕКУПЕРАЦІЄЮ ТЕПЛОТИ ТА ТЕПЛОНАСОСНИМИ УСТАНОВКАМИ

- 3.1. Опис теплонасосної системи вентиляції з рекуперацією теплоти видалюваного повітря.....
- 3.2. Визначення енергетичної ефективності системи вентиляції з рекуперацією теплоти та теплонасосною установкою.....

РОЗДІЛ 4. АВТОМАТИКА

- 4.1. Загальна інформація про призначення системи автоматики.....
- 4.2. Функції системи автоматизованого управління.....
- 4.3. Функціональна схема автоматики припливно – витяжної установки.....

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

- 5.1. Шкідливі виробничі фактори
 - 5.1.1. Шум.....
 - 5.1.2. Вібрація.....
 - 5.1.3. Ультрафіолетове випромінювання.....
 - 5.1.4. Дія шкідливих речовин.....
- 5.2. Методи захисту від вібрацій.....
- 5.3. Індивідуальні методи захисту від шуму.....

РОЗДІЛ 6. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

- 6.1. Енергозбереження як напрямок розвитку.....
 - 6.2. Основні напрямки енергозбереження в системах мікроклімату
 - 6.3. Методи модернізації систем опалення будівель.....
 - 6.4. Періодичний режим роботи систем опалення.....
 - 6.5. Опалення приміщень теплотою рециркуляційного повітря.....
 - 6.6. Вплив систем вентиляції на енергоспоживання будівлі.....
 - 6.7. Підвищення енергетичної ефективності вентиляторних установок..
- ЛІТЕРАТУРА.....

	ЛІТЕРАТУРА.....	
--	-----------------	--

ВСТУП

У середньому людина щодня вдихає і видихає близько 20 000 літрів повітря. При цьому сучасна людина проводить до 70 % свого часу (тобто близько 3/4 усього життя!) в приміщенні. Дуже важливо, щоб повітря, яким вона дихає, не містило шкідливих бактерій та часточок пилу. Якісний повітрообмін у приміщенні організовується за допомогою систем вентиляції.

Вентиляцією називається сукупність заходів та пристроїв, які використовуються під час організації повітрообміну для забезпечення заданого стану повітряного середовища у приміщеннях та на робочих місцях. Системи вентиляції забезпечують підтримання допустимих метеорологічних параметрів у приміщеннях різноманітного призначення. Система вентиляції повинна створювати у приміщенні повітряне середовище, яке задовольняє встановлені гігієнічні норми та технологічні вимоги.

З розвитком будівельних технологій (герметичні металопластикові вікна та двері) і їх масовим впровадженням у громадське будівництво, а також через повсюдне зростання щільності забудови, транспортного сполучення та промисловості більш традиційні методи вентиляції, такі як ручне провітрювання або витяжна вентиляція кухонь і санвузлів, не можуть забезпечити належну якість повітря у приміщенні.

Повноцінно впоратися з цими завданнями може лише примусова (механічна) припливно-витяжна вентиляція. При обладнанні системи вентиляції найважливішим є не лише питання якості повітря, але й економія теплової енергії (підтримання постійної температури). Фактори, які впливають на динаміку втрат тепла, різноманітні – від теплозахисту стін до якості опалювальних систем і пристроїв, щільності стиків панелей будівлі та віконних стиків, форми будівлі, а також індивідуальних особливостей споживацької поведінки.

У будинках, побудованих за сучасними технологіями, що мають герметичні вікна та якісну ізоляцію стін частка втрати тепла від вентиляції зростає у 1,5...2 рази (порівняно зі старими спорудами) і становить за різними оцінками від 30 до 70 % втрати тепла в будівлі.

З урахуванням значних теплових втрат через вентиляцію та тенденції до підвищення цін на енергоносії неодмінним атрибутом сучасної будівлі є припливно-втяжні установки з рекуперацією тепла та використанням низькопотенційних джерел теплоти.

Теплонасосні установки (ТНУ), які використовують відновлювані природні джерела енергії та низькотемпературні вторинні енергоресурси для перетворення в енергію, що придатна для практичного використання, широко застосовуються в усьому світі. Енергетична значимість доцільності їх впровадження безперечно доведена досвідом експлуатації десятків мільйонів установок різного функціонального призначення.

Доведено, що виробництво теплових насосів у світі підпорядковано конкретним потребам країн виробників. Тут мається на увазі не тільки кліматичні особливості різних країн, але і рівень будівельних технологій, що використовуються, і архітектурно-планувальних рішень об'єктів житлово-комунального господарства, і нові будівельні матеріали, і попит ринку, і навіть національні особливості. Тому за очевидною простотою пряме копіювання іноземних проектів або підбір обладнання не спеціалістами може не тільки привести до не оптимальних рішень, але і взагалі дискредитувати саму ідею впровадження теплонасосних технологій.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦІЇ

1.1. Оцінка низькопотенційних джерел теплоти з метою використання їх в теплонасосних установках

В якості низькопотенційного джерела теплоти (НПДТ) в теплонасосних установках (ТНУ) можна використовувати: вентиляційне повітря, що видаляється, зовнішнє повітря, ґрунту, стічні води, підземні води, поверхневі води (озера, моря) і т.д. Оптимальний варіант визначається в ході аналізу умов розташування об'єктів будівництва, архітектурно-планувальних рішень і конструктивних параметрів.

У таблиці 1.1 наведена характеристика основних НПДТ для теплових насосів. Інформація потенціалу в Гкал/рік надана по факту станом на 2005 рік та 2030 рік як перспективу розвитку.

Таблиця 1.1 – Характеристика основних низькопотенційних джерел теплоти для теплових насосів

Джерело теплоти	Температурний діапазон, °С	Технічний потенціал, млн. Гкал/рік	
		2005	2030
Атмосферне повітря	-15/25	Необмежений	Необмежений
Теплота ґрунту	10/35	370	370
Природні поверхневі води	0/10	20	20
Морська вода	0/10	10	50
Слабонагріті геотермальні флюїди	3/8	50	50
Шахтні води	0/10	14	18
Вода систем оборотного водопостачання	>10	150	300
Системи водовідведення	5/10	60	120
Вода очисних споруд	10/50	15	25
Вода промислових споруд	10/50	7	12
Вода комунально-побутових споруд	5/10	8	13
Теплота конденсації продуктів згоряння котельних установок	20/50	10	10
Вентиляційні повітряні викиди	15/25	12	20

З приведенного переліку джерел теплоти вигідно відрізняється зовнішнє повітря і ґрунт. По-перше, вони є загальнодоступними і абсолютно невичерпним, а, по-друге, мають досить широкий температурний діапазон використання. Але використання повітряних ТНУ в умовах холодних зим є досить проблематичним і малоефективним. В ґрунтових ТНУ ситуація з температурним режимом краще, але постає проблема капітальних витрат на інсталяцію обладнання та земельні роботи.

Вода як джерело низькопотенційної теплоти для теплового насоса може розглядатись як ідеальний варіант. При використанні води з артезіанських свердловин, які самі по собі досить затратні через буріння і необхідність прокладки значних по довжині трубопроводів, виникає проблема корозії і випадання мінеральних відкладень на поверхні теплообмінників. Відкриті водойми такі як озера, моря і річки можуть служити хорошим джерелом низькопотенційної теплоти. Однак, при їх використанні необхідно враховувати мінливість обсягів, чистоти і температурних режимів водних ресурсів. Екологічні аспекти в цьому випадку також повинні братись до уваги.

Перспективним є варіант використання теплового потенціалу стічних вод будинку. Дане джерело мало використовується на даний момент. Це пов'язано, перш за все, з біологічною та корозійною агресивністю і нерівномірним надходженням стоків в каналізаційні мережі. Надходження скидної теплоти відбувається з деяким запізненням по відношенню до часу споживання теплоти. Узгодження цих величин проводиться введенням в схемне рішення теплових насосів баків акумуляторів, які згладжують пікові навантаження в споживанні, наприклад, гарячої води. Недоліком використання стічних вод є непостійність графіку споживання гарячої води, що не дозволяє використовувати їх як основне джерело теплоти в теплонасосних схемах системи опалення.

Досить поширеним НПДТ є зовнішнє повітря яке крім переваг необмеженості та досить невисокої вартості ТН обладнання має також низку недоліків, таких як:

- швидке падіння коефіцієнта трансформації при зниженні температури зовнішнього повітря;
- достатньо висока гучність зовнішнього блоку;

- підвищення різниці температур конденсації і кипіння в період мінімальних температур в зимовий період, що призводить до зниження термодинамічної ефективності установки;

- необхідність проведення процедури дефростації (розмороження) випарника при утворенні на його поверхні «крижаної шуби».

Обледеніння поверхні випарника теплового насоса певною мірою допустиме. Однак, в умовах підвищеної вологості повітря і його температури нижче 0°C кількість необхідних циклів дефростації поверхні багаторазово зростає. Максимальна частота циклів дефростації поверхні випарника теплового насоса лежить в діапазоні температур $-5 \div 0^{\circ}\text{C}$ [1]. Це пов'язано зі значним осадженням вологи з повітря в процесі його проходження через теплообмінну поверхню випарника.

Виділена волога з повітря поступово накопичується на теплообмінній поверхні випарника у вигляді льоду, погіршуючи при цьому умови теплообміну між повітрям і холодоагентом. В умовах високої вологості і низької температури зовнішнього повітря експлуатація повітряного теплового насоса стає неефективною. Тепловий насос типу «повітря – вода» є доцільним рішенням тільки там, де технічно неможлива установка зовнішнього контуру ґрунтового теплообмінника, де відсутня вільна зовнішня поверхня, де житло знаходиться на кам'янистому ґрунті, де неможливі земельні роботи, або не бажано наносити шкоду існуючому природньому ландшафту прокладанням ґрунтового колектору. Тому можна зробити висновок, що наразі застосування повітряних теплових насосів для опалення в умовах українського клімату є неефективним рішенням. Це спонукає до пошуку інших, стабільніших за температурним рівнем джерел теплоти для ТНУ.

Одним з таких джерел поновлюваної енергії для теплового насоса є ґрунт. Температура ґрунту при сильному промерзанні поверхневих шарів на глибині 10 – 12 м не опускається нижче $5 - 8^{\circ}\text{C}$ [2]. Такі теплові насоси вилучають теплоту з ґрунту за допомогою ґрунтових зондів, що вводяться вертикально в глиб землі, або ґрунтових колекторів, що укладаються горизонтально вшир. Зонди і колектори заповнюються розсолон, тобто сумішшю з низькою температурою замерзання

(незамерзаючим теплоносієм). Розсіл відбирає теплоту, накопичену в землі, і віддає його (при транспортуванні тепловим насосом) в опалювальний контур.

Порівнюючи з повітрям, як джерелом теплоти для ТНУ ґрунт має вищу температуру в січні, коли є великий попит на теплову енергію для потреб опалення.. Температура ґрунту на глибині 1 м в північній Україні восени в жовтні-листопаді складає близько 10–13°C, а в січні – близько 0–5°C.

Теплові насоси типу «ґрунт – вода» широко використовуються в кліматичних умовах України, оскільки температура ґрунту відносно постійна протягом усього року [2]. Саме температура джерела теплоти основним чином впливає на ефективність роботи ТНУ, основним критерієм якої є COP (з англ. Coefficient of performance).

Дослідження [3] показують, що температура ґрунту по глибині залежить головним чином від типу ґрунту (пісок, глина, гравій і т.д.) і його вологості. Для ефективної регенерації ґрунту ділянки землі, під якими прокладено горизонтальні колектори теплового насоса повинні бути мінімально забудовані і добре освітлені. Таким чином забезпечується підготовка ґрунту до початку опалювального сезону і ефективна робота ТНУ. Контур горизонтального ґрунтового колектору теплового насоса на практиці розташовується на глибині 1,2-1,5 м [4]. Глибина закладки горизонтальних колекторів лежить в межах зміни температури ґрунту протягом року (рис. 1.1), тому слід враховувати суттєву зміну продуктивності геотермального теплового насосу. Більш глибока закладка в ґрунт колекторів призводить до невиправданого підвищення будівельних витрат і використовується для регіонів з більш холодним і тривалим зимовим періодом. Основним недоліком при використанні горизонтальних ґрунтових колекторів є масштаб необхідних земельних робіт.

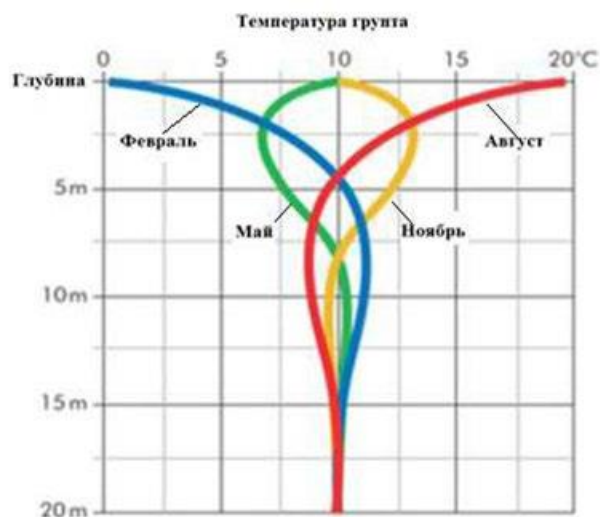


Рис.1.1. Зміна температури ґрунту на різній глибині залежно від місяця року

Використання вертикальних ґрунтових зондів в порівнянні з горизонтальними колекторами дозволяє зменшити необхідну поверхню ґрунту для геотермального теплового насоса в 10- 20 разів [5]. При прокладанні колекторів також необхідно враховувати той фактор, що можлива ситуація часткового обмерзання трубок ґрунтового теплообмінника, що не робить істотного впливу на регенерацію ґрунту. Значення питомого теплового потоку для вертикальних ґрунтових теплових зондів (Вт/м) в залежності від типу ґрунту [6], а також тепловіддача різних ґрунтів (Вт/м²) [4] представлена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.1 - Умовна тепловіддача та питомий тепловий потік різних типів ґрунтів

Тип ґрунту	Умовна тепловіддача, Вт/м ²	Питомий тепловий потік, Вт/м
Сухий піщаний ґрунт	10-15	20
Вологий піщаний ґрунт	15-20	40
Сухий глинистий ґрунт	20-25	60
Вологий глинистий ґрунт	25-30	60
Насичений водою ґрунт	30-35	80-100

Аналізуючи роботу ТН з використанням як джерела теплоти ґрунту, можна назвати такі його переваги та недоліки:

- високі початкові капіталовкладення на інсталяцію обладнання вертикальних свердловин (буріння свердловин, погодження цих робіт з відповідними організаціями і т.д.);

- висока ефективність роботи (COP) завдяки майже постійній досить високій температурі джерела теплоти;

- невисокі експлуатаційні затрати;

- простота обслуговування горизонтальних геотермальних теплообмінників;

- для установки вертикальних геотермальних теплообмінників необхідна невелика площа ділянки.

1.2. Огляд проведених досліджень з оцінки потенціалу використання теплових насосів в системах вентиляції

На опалення та охолодження приміщень припадає більшість споживання енергії в будівлях разом із гарячою водою. У багатьох країнах цю енергію все ще отримують з викопного палива. І так як його кількість не тільки обмежена, воно є ще екологічно шкідливим через вивільнення CO₂, що призводить до зміни клімату. Тому з 2012/27 Європейська директива з енергоефективності [7] підтримує принцип утилізації поновлюваних та вторинних джерел енергії для забезпечення енергією будівель різного призначення. Це значно підвищило інтерес до теплонасосних систем як альтернативного варіанту опалення та кондиціонування приміщень у будинках.

На сьогоднішній день проведено багато досліджень з визначення потенціалу економії системи повітряного теплового насоса в порівнянні з альтернативними системами опалення та кондиціонування. Варто відзначити, що впровадження теплонасосної системи має бути обґрунтованим для досягнення високої енергоефективності, і не завжди встановлення теплового насоса може бути доцільним. Так, в роботі [8] втори доводять, що котел на природньому газі, який використовується для системи опалення та кондиціонування повітря в офісній будівлі

в Сербії, має вищий показник енергоефективності, з кращою економією, ніж теплонасосна установка, на яку було замінено цей котел. Причиною такого незадовільного результату було застосування повітряної теплонасосної системи для водяного опалення приміщень, у яких не були замінені опалювальні прилади на низькотемпературні.

Ключове завдання при виборі адекватної системи опалення полягає в тому, щоб визначити економічні переваги для споживачів. Автори [9] показали, що порівняно зі звичайними котлами теплонасосні установки є енергетично та економічно доцільними, якщо їх правильно спроектувати відповідно до опалювального періоду та ціни на енергію в місцевості.

Результати досліджень показали, що комбінація утилізації сонячної енергії та повітряного теплового насоса має вищу ефективність порівняно з одним повітряним тепловим насосом на цілих 20 % з точки зору одиничної теплової потужності та COP. Однак ця різниця в ефективності була більшою за температури навколишнього середовища $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ у порівнянні з $7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ефективність за найкращих умов зросла на 27 %, а COP теплового насоса підвищився на 45,5 %.

Дослідження, результати якого проілюстровано в [10], показало, що для типового випадку в Стокгольмі утилізація вторинної теплоти за допомогою традиційного теплового насоса типу повітря-повітря може становити до 47 %. Цей показник було покращено до 65 % шляхом модернізації системи змішувача теплового насоса. Окупність досліджуваної системи становитиме приблизно 6 років, що можна вважати тривалим.

Результати розрахунків показали, що інтегрована механічна система вентиляції з тепловим насосом продемонструвала середній загальний коефіцієнт ефективності COP 9,5, 8,9 і 6,6 при $t_0 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (температура зовнішнього повітря) відповідно. Кількість утилізованої теплоти склала 86,2 %, що дозволило зменшити навантаження на компресор і зробило роботу ТН ще більш ефективною.

Автори [11] дослідили два основних методи для забезпечення повітря гарної якості та високої енергоефективності роботи систем з тепловими насосами в відремонтованих квартирах у холодному кліматі. Цими методами є рекуперация

теплоти і встановлення теплового насоса на стороні вентиляційних викидів механічної припливно-витяжної системи вентиляції. Було встановлено, що використання теплового насоса усуває потребу в районному споживанні теплової енергії протягом літа. Значення сезонної ефективності роботи всієї системи склало 3,6 Вт/Вт. Однак у дослідженні не має жодної згадки про точну капітальну вартість системи.

З технологічним прогресом звичайні газові котли стали «розумними» лише нещодавно. «Розумний» відноситься до систем, якими можна керувати бездротовим способом за допомогою програми на смартфоні, що має спеціальні робочі функції, такі як визначення місця розташування для обігріву будинку, наприклад. Найбільшою перевагою розумних систем є те, що мешканцям дуже зручно контролювати опалення протягом дня. Традиційна система програмування опалення, де користувач вибирає, коли опалення вмикати чи вимикати, дуже жорстка і спричиняє втрати енергії, коли вона не потрібна, наприклад, коли мешканці залишають будинок. Відключення такої системи та ввімкнення її знову викликає незручності. Таким чином, впровадження інтелектуальних систем опалення/вентиляції на базі теплових насосів може бути ідеальною функцією, яка потенційно може заощадити більше енергії.

Ця перевага особливо значна у випадку теплових насосів з утилізацією енергії витяжного повітря, які можуть регулювати швидкість обміну повітря за допомогою заслінок. Це може забезпечувати ефективне нічне вентиляційне охолодження, заощаджуючи користувачеві експлуатаційні витрати на тепловий насос як системи охолодження протягом кількох годин, якщо будинок добре ізольований.

1.3. Використання теплових насосів в системах вентиляції

Завдяки використанню різниці температур припливного і видаляемого повітря в системах припливно – витяжної вентиляції можна досягти підвищенню рівня її енергоефективності шляхом застосування теплонасосних технологій. Саме тому системи вентиляції є одним з найбільш розповсюджених варіантів застосування теплових насосів серед всіх систем мікроклімату. Однак, коли температура

навколишнього повітря зменшується або зростає, ефективність простих теплонасосних систем значно знижується [12], що призводить до потреб застосування вдосконалених систем.

Дотримання правил охорони здоров'я вимагає постійного надходження свіжого зовнішнього повітря для підтримки якості повітря в будівлі. Щоб оптимізувати споживання енергії, доцільно рекуперувати теплову енергію з відпрацьованого повітря. Сучасні конструкції об'єднують припливний і витяжний канали в єдиний блок, полегшуючи взаємодію між двома повітряними потоками [13]. Однак у старих будівлях незручне розташування припливних і витяжних каналів створює значну проблему для рекуперації теплоти в системах вентиляції.

Для того, щоб повітря необхідної температури надходило в приміщення, використовуються повітрянагрівачі для підігріву припливного повітря в найпростіших системах вентиляції. Залежно від джерела теплоти калорифери можуть бути водяними, газовими або електричними. Нагрівання повітря гарячою водою або електроенергією є найкращими варіантами, оскільки дає можливість контролювати температуру повітря точніше. Проте повітря, яке видаляється, в таких системах найчастіше надходить безпосередньо в навколишнє середовище без утилізації його енергії, що робить ефективність подібних систем дуже низькою [14]. Для збільшення ефективності в такі системи встановлюються рекуператори.

Рекуперація енергії та подальша економія можуть бути досягнуті завдяки використанню вискоелективних теплообмінників, таких як пластинчасті теплообмінники, для подачі свіжого навколишнього повітря та рекуперації. Припливно-витяжні установки, оснащені рекуперативними роторними теплообмінниками, і теплонасосними установками (ТНУ) також широко використовуються для досягнення ефективною рекуперації теплоти [15].

У ситуаціях, коли пряма передача теплоти неможлива, використовуються повітряні рекуператори теплоти з проміжним теплоносієм. Вибір відповідної установки залежить від технічних і гігієнічних вимог, включаючи конфігурацію систем припливно-витяжної вентиляції, запобігання перенесенню запахів і шкідливих

речовин, а також співвідношення об'єму припливного повітря до об'єму витяжного повітря.

Вибір типу рекуператора теплоти обумовлюється порівнянням витрат на енергію або економії з вартістю обладнання. Одним з ефективних підходів до утилізації низькопотенційної теплоти є використання парокомпресійного холодильного обладнання у системах кондиціонування повітря, що працюють у режимі теплового насоса. Теплова потужність теплонаосної установки визначається необхідною продуктивністю охолодження.

У теплий період використовується зворотня вода після системи кондиціонування в якості низькопотенційного джерела теплоти, яка надходить до випарника ТН. У холодний період для підігріву контурної води системи тепlopостачання використовується оборотна вода з ТНУ. Ефективність роботи такої системи в загальному тепловому балансі типового підприємства, становить приблизно 3,3 Вт/Вт [16].

На рис. 1.2 наведено схематичне зображення припливно – витяжної установки з рекуперацією теплоти видаляемого повітря та контуром теплового насоса. У рекуператорі припливне повітря попередньо нагрівається (або охолоджується) за рахунок відібраної теплоти (або холоду) з вентиляційних викидів. Після цього припливне повітря доводиться до необхідної температури за рахунок конденсатора (або випарника) теплового насосу [17].

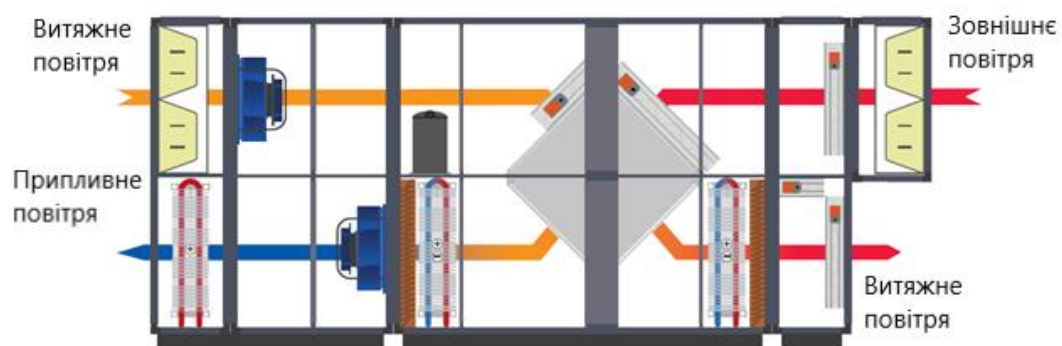


Рис.1.2. Припливно-витяжна установка з пластинчатим рекуператором та контуром теплового насоса для систем вентиляції та кондиціонування

Ефективність роботи теплового насосу залежить від температури зовнішнього повітря t_0 , але також дещо знижується зі збільшенням коефіцієнта рекуперації. Однак вплив величини коефіцієнта рекуперації на зниження ефективності системи є незначним. Взагалі ефективність таких теплонасосних систем значно підвищується за рахунок використання як рекуператора, так і теплового насоса, у порівнянні з простими системами вентиляції з повітрянагрівачами (без використання рекуперації).

Коли повітря, яке видаляється, має відносно високу температуру і не містить шкідливих речовин, частина його не видаляється в навколишнє середовище, а повертається назад в систему вентиляції. Це відбувається під час змішування з часткою свіжого повітря, що надходить для забезпечення необхідної витрати припливного повітря до приміщення. Такий захід призводить до економії витрат на придбання й експлуатацію вентиляційної системи за рахунок зменшення потреби в нагріванні зовнішнього повітря. Енергія, необхідна для нагріву зовнішнього повітря в холодний період, може бути зменшена на 40 % порівняно зі звичайними системами [18].

Влітку системи повітряного охолодження також широко використовують рециркуляцію. На рис. 1.3 наведено схему припливно – витяжної установки з рекуперацією, рециркуляцією та контуром ТН.

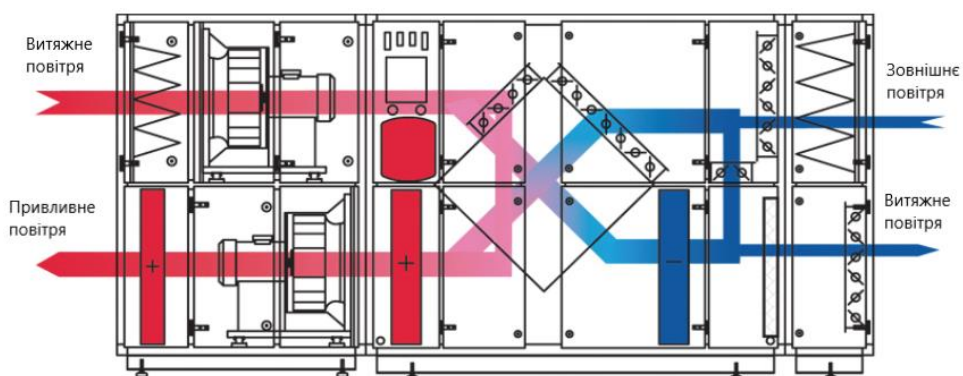


Рис.1.3. Припливно-витяжна установка з пластинчастим рекуператором, заслінками рециркуляції витяжного повітря та контуром теплового насоса для систем вентиляції та кондиціонування

Слід зазначити, що рециркуляція може відбуватись як до, так і перед рекуператором. Проте найбільш типовим є змішування потоків повітря перед рекуператором. Отримана суміш з більшою температурою ніж температура зовнішнього повітря (у холодний період) далі додатково нагрівається в рекуператорі за рахунок вентиляційних викидів. Після чого припливне повітря догрівається до заданої температури в конденсаторі теплового насоса.

Прикладом припливно – витяжної установки з тепловим насосом можуть служити установки ВУТ Р ТН (Е)Г ЕС виробництва VENTS (рис. 1.4).

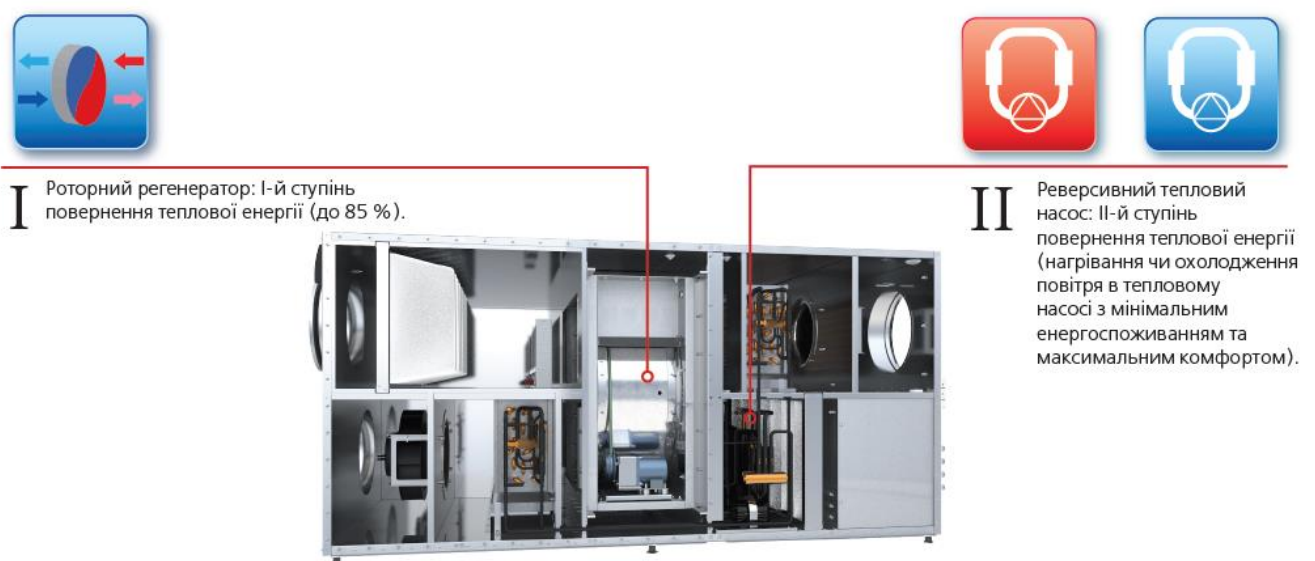


Рис.1.4. Припливно – витяжна установка з роторним рекуператором та тепловим насосом ВУТ Р ТН (Е)Г ЕС

Переваги використання даного обладнання в системах вентиляції:

- комфортні параметри повітря цілий рік. Робота реверсивного теплового насоса в режимі нагрівання або охолодження забезпечує комфортні параметри повітря в приміщенні;
- рішення «Все включено». Не вимагається підключення ККБ, чілера, трубопроводів, допоміжного обладнання;
- найвищий коефіцієнт енергоефективності та економія ресурсів. Двоступенева система повернення теплової енергії: 1 ступінь – повернення теплової енергії в роторному рекуператорі, 2 ступінь – догрівання/доохолодження в

тепловому насосі; енергоефективні ЕС – мотори вентиляторів; саморегульований позисторний електронагрівач зі ступінчастим вмиканням секцій попереднього нагрівання;

- зручність та безпека. Заводське заправлення холодильним агентом, не вимагається залучення спеціалістів із холодопостачання під час проведення монтажних робіт;
- екологічна безпека та захист. Використовується озонобезпечний холодильний агент R410A, заправлення одного контуру не перевищує 2 кг;
- інтелектуальне керування: розумні алгоритми автоматичного керування, а також використання надійних компонентів гарантують безпечну та ефективну експлуатацію обладнання; гнучке налаштування інженерних параметрів та параметрів користувача; вся система автоматики керується від одного контролера.

Принцип роботи установки наступний: відпрацьоване повітря з приміщення витяжним повітропроводом надходить до установки, де очищується у витяжному фільтрі, після чого проходить крізь роторний теплообмінник, витяжний теплообмінник теплового насоса, і за допомогою витяжного вентилятора повітропроводами видаляється на вулицю. В цей самий час повітря з вулиці припливними повітропроводами надходить до установки. В установці повітря фільтрується, далі проходить крізь електричний нагрівач (опція*), потім через роторний теплообмінник, припливний теплообмінник теплового насоса, і за допомогою припливного вентилятора повітропроводами подається до приміщення. У роторному теплообміннику відбувається обмін тепловою енергією витяжного повітря, яке забирається з приміщення, та припливного повітря, яке подається до приміщення. Роторний теплообмінник зменшує втрати теплової енергії та експлуатаційні витрати на обігрівання приміщення холодної пори року або кондиціонування приміщення теплої пори року. Ефект зменшення експлуатаційних витрат та мінімізації втрат теплової енергії підсилюється завдяки рекуперації залишкової теплової енергії витяжного повітря в тепловому насосі. Роторний теплообмінник, а пізніше й тепловий насос здійснюють нагрівання або охолодження

припливного повітря, яке надходить із вулиці, за рахунок теплової енергії витяжного повітря, що видаляється з приміщення на вулицю. Зазначене поєднання теплового насоса і роторного теплообмінника доводять співвідношення отриманої енергії до спожитої до 8, тобто з 1 кВт споживаної електроенергії можна отримати до 8 кВт теплової потужності.

Схематично принцип роботи припливно – витяжної установки наведений на рис. 1.5 [19].



Рис.1.5. Схематичне зображення принципу роботи припливно – витяжної установки з тепловим насосом в двох режимах роботи

РОЗДІЛ 2

ПРИЙНЯТІ ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ

2.1. Об'єкт для розробки систем мікроклімату

В якості об'єкта для розробки систем мікроклімату обрана двоповерхова будівля з технічними приміщеннями та паркінгом у м. Кропивницький Кіровоградської області. До переліку приміщень будівлі за призначенням переважно належать офісні приміщення, кабінети керівників, актові зали на 80 місць, зала нарад, а також технічні приміщення і санвузли.

Для компенсації втрат теплоти в зимовий період року планується запроектувати систему опалення, для асиміляції теплоти і вологи – системи вентиляції і кондиціонування.

2.2. Розрахункові параметри повітря

2.2.1. Розрахункові параметри зовнішнього повітря

Розрахункові параметри зовнішнього повітря приймаються відповідно до [20] в залежності від рекомендацій, наведених у [21]. Результати вибору наведені в таблиці таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Розрахункові параметри зовнішнього повітря

Період року	Опалення та вентиляція	
	Температура °С	Ентальпія кДж/кг
Теплий	+25	+54,7
Холодний	-22	-22,2

2.2.2. Розрахункові параметри внутрішнього повітря

Розрахункові параметри повітря в приміщенні приймаються відповідно до [21] у межах допустимих норм і зводяться в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 - Розрахункові параметри внутрішнього повітря

Період року	Температура в робочій зоні, °C	Рухливість повітря в робочій зоні, м/с	Відносна вологість у робочій зоні, %	Температура припливного повітря, °C	Температура повітря, що видаляється, °C
Теплий	24	0,5	65	22	25
Холодний	20	0,2	45	18	21

Температура припливного повітря приймається:

- теплий період $t_{in}^T = 22 \text{ } ^\circ\text{C}$;

- холодний період, $^\circ\text{C}$:

$$t_{in}^X = t_{wz}^X - \Delta t \quad (2.1)$$

$$t_{in}^X = 20 - 2 = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$$

де Δt - допустима різниця температур, $\Delta t = 2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Температура повітря, що видаляється, визначається за формулою, $^\circ\text{C}$:

$$t_l = t_{wz} + grad t (H - h_{pz}) \quad (2.2)$$

де $grad t$ – температурний градієнт;

H – висота приміщення, м; $H = 3$ м;

h_{pz} - висота робочої зони, м; $h_{pz} = 2$ м.

- теплий період: $t_l = 24 + 1(3 - 2) = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$

- холодний період: $t_l = 20 + 0,5(3 - 2) = 20,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

2.3. Розробка системи опалення

2.3.1. Визначення теплової потужності системи опалення приміщень

Загальні розрахункові тепловтрати приміщення, Вт, визначаються як

$$\Phi_i = (\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}) \cdot f_{\Delta\theta,i} \quad (2.3)$$

де $f_{\Delta\theta,i}$ – поправочний температурний коефіцієнт, що враховує додаткові тепловтрати в приміщенні при розрахунковій температурі в ньому більше ніж в сусідніх приміщеннях [22];

$\Phi_{T,i}$ - трансмісійні тепловтрати приміщення, Вт;

$\Phi_{V,i}$ - вентиляційні тепловтрати приміщення, Вт.

Трансмісійні тепловтрати опалювального приміщення, Вт, визначається за формулою

$$\Phi_{T,i} = \sum_k f_k \cdot A_k \cdot U_k \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e), \quad (2.4)$$

де f_k – поправочний температурний коефіцієнт для k -будівельного огороження, що враховує додаткові тепловтрати через мости холоду [22];

A_k – площа теплопередачі k -ї будівельної конструкції, м²;

U_k – коефіцієнт передачі теплоти від внутрішнього повітря через k -ту будівельну конструкцію огороження приміщення до зовнішнього середовища, Вт/м²·°С;

$\theta_{int,i}$, θ_e - різниця температур внутрішнього та зовнішнього повітря, °С.

Вентиляційні тепловтрати приміщення, Вт, визначаються за формулою

$$\Phi_{V,i} = 0,34 \cdot V_{min,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e), \quad (2.5)$$

де $V_{min,i}$ – мінімальна подача повітря до опалювального приміщення за національними гігієнічними вимогами, м³/год. Вона визначається за нормованою кратністю:

$$V_{min,i} = n_{min} \cdot V_i, \quad (2.6)$$

де n_{min} – мінімальна кратність повітрообміну за санітарно-гігієнічними вимогами [22].

Теплова потужність системи опалення приміщення, Вт, розраховується по формулі

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_i + \Phi_{RH,i} + \Phi_{Q,i} \quad (2.7)$$

Розрахунок ведеться в табличній формі і наведений в таблиці 2.3.

2.3.2. Характеристика прийнятої системи опалення

В будівлі, що розглядається, передбачено дві системи опалення: повітряна та водяна. Повітряна система опалення реалізується для офісних приміщень, актової зали та зали нарад, а також для вестибюля. Нагрівання повітря в офісних приміщенні здійснюється в конструкції 4 – хканальних та касетних фанкойлів, установка яких передбачена в конструкції підшивної стелі. В приміщенні вестибюля обробка повітря так само відбувається у фанкойлах тільки вбудованих в конструкцію підлоги.

Так як в проекті передбачено застосування 4-хканальних фанкойлів, які будуть працювати як в режимі опалення взимку, так і в режимі охолодження влітку, то їх підбір буде виконано в розділі «Розробка системи кондиціонування».

В сходових клітинах та санвузлах проектом передбачена водяна система опалення, де в якості опалювальних приладів використовуються панельні радіатори «Purmo».

В обох випадках в якості гріючого теплоносія виступає гаряча вода з параметрами 80/60°C. Джерелом теплоти виступає дахова котельня. Із зазначеними параметрами з котельні вода надходить до вузла А, де її температура знижується до параметрів 45/40°C. І вже з такими температурними показниками теплоносій надходить в систему фанкойлів.

2.3.3. Вибір опалювальних приладів

В якості опалювальних приладів у водяній системі опалення сходових клітин і санвузлів передбачені панельні радіатори фірми «Purmo» [23]. Встановлена потужність опалювальних приладів не повинна бути нижчою за визначену теплову потужність системи опалення відповідного приміщення (таблиця 2.3).

Результати підбору радіаторів та їх кількості для кожного приміщення наведені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Вибір типів опалювальних приладів та їх кількості

№ приміщення на плані	Теплова потужність СО, Q _{CO} , Вт	Тип радіатора	N, шт
Поверх на відм. 0.000			
2	8068	FWV03	4
10	4766	C22 700x500	5
11	677	C22 700x500	1
12	268	C22 500x500	1
13	211	C22 500x500	1
14	747	C22 700x500	1
15	2843	C22 700x500	5
Поверх на відм. +3,300			
17	751	C22 700x500	1
18	225	C22 500x500	1
19	243	C22 500x500	1
22	751	C22 700x500	1

2.3.4. Визначення теплової потужності повітряно – теплової завіси

Витрата теплоти на нагрівання холодного повітря, що поступає через двері, в холодний період Q_{xn}^x визначається за рівнянням:

$$Q_{xn}^x = 0,278 \cdot G \cdot c \cdot (t_{wz}^x - t_{ext}^x) \cdot \frac{\tau}{60}, \quad (2.8)$$

де c – теплоємність повітря, кДж/(кг·К);

τ – час, протягом якого двері відкриті, хв;

G – кількість повітря, що уривається, кг/год:

$$G = 16000 \cdot \mu \cdot F \cdot \sqrt{h \cdot (\rho_{ext} - \rho_{in}) \cdot \rho_{ext}}, \quad (2.9)$$

μ - коефіцієнт витрити; при куті розкриття дверей $\mu = 0,18$;

F – площа дверей, м²;

h – відстань між центрами припливних і витяжних отворів, м.

$$h = 0,5 \cdot H_{np} = 0,5 \cdot 2 = 1 \text{ м};$$

ρ_{ext}, ρ_{wz} - густина сухого зовнішнього і внутрішнього повітря, кг/м³ при

$P_6=101,33$ кПа ;

$$\rho_{ext,wz} = \frac{353}{237 + t_{ext,wz}} \quad (2.10)$$

$$\rho_{ext} = \frac{353}{237 - 22} = 1,412 \text{ кг/м}^3 ;$$

$$\rho_{wz} = \frac{353}{237 + 14} = 1,23 \text{ кг/м}^3 ;$$

$$G^x = 16000 \cdot 0,18 \cdot 2,4 \cdot \sqrt{1 \cdot (1,412 - 1,23) \cdot 1,412} = 3504 \text{ кг} / \text{год};$$

$$Q_{xn}^x = 0,278 \cdot 3504 \cdot 1,005 \cdot (14 + 22) \cdot \frac{3}{60} = 1811 \text{ Вт};$$

Для компенсації втрат теплоти через входні двері в кількості 1811 Вт до установки приймається до установки теплова завіса Systemair LG8.

Характеристика теплової завіси:

- напруга 400В;
- витрата повітря 2100 м³/год.;
- потужність нагріву 3-8 кВт.;
- рівень шуму 42 дБ.; вага 28 кг.

2.4. Розробка систем вентиляції

Всі приміщення будівлі розділені на 3 категорії:

- основне приміщення (актовий зал);
- офісні приміщення;
- допоміжні приміщення.

Для всіх наведених категорій повітрообмін визначається різними методами: для актового залу – розрахунковим шляхом, для допоміжних приміщень – за кратністю та мінімальною витратою повітря на санітарний прилад; для офісних приміщень – в залежності від кількості людей і площі.

2.4.1. Визначення повітрообмінів в допоміжних приміщеннях

Повітрообмін за кратністю визначається за формулою:

$$L = k \cdot Vn, \quad (2.11)$$

де k - кратність повітрообміну, год⁻¹ [24];

Vn – об'єм приміщення, м³.

Результати розрахунку повітрообмінів для допоміжних приміщень наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахунок повітрообміну по нормативній кратності

№ прим.	Найменування приміщення	Vп, м ³	Кратність повітрообміну, год ⁻¹		Витрата повітря, м ³ /год	
			Kn	Kв	Ln	Lв
1	2	3	4	5	6	7
Поверх на відм. -3,900						
7	Технічне приміщення	58	-	1	-	60
9	Технічне приміщення	257	-	1	-	260
10	Технічне приміщення	116	-	1	-	120
11	Технічне приміщення	174	-	1	-	175
12	Коридор	116	За балансом	-	715	-
13	Чилерна	100	2	3	200	300
Поверх на відм. 0,000.						
2	Вестибюль	1490	2	-	3000	-
11	Санвузол	29	-	50 м ³ /год на один унітаз	-	150
12	Технічне приміщення	11	-	1	-	15
13	Технічне приміщення	11	-	1	-	15
14	Санвузол	29	-	50 м ³ /год на один унітаз	-	150

Поверх на відм. +3,300						
18	Санвузол	29	-	50 м ³ /год на один унітаз	-	150
19	Технічне приміщення	11	-	1	-	15
20	Технічне приміщення	11	-	1	-	15
21	Санвузол	28	-	50 м ³ /год на один унітаз	-	150

2.4.2. Схема організації повітрообміну в актовому залі та допоміжних приміщеннях

Повітрообмін актового залу прийнято за розрахунком за надлишками теплоти і вологи. Він склав 1580 м³/год. В результаті передбачена припливно-витяжна вентиляція з механічним спонуканням руху повітря.

Подавання припливного повітря і видалення відпрацьованого здійснюється в/з верхньої зони приміщення за допомогою дифузорів «Madel» DSQ 225x225: 5 дифузорів забезпечують подавання повітря і 5 видалення. Обробка повітря здійснюється за допомогою припливно – витяжної установки, розміщення якої передбачено на технічному поверсі будівлі.

Що стосується допоміжних приміщень, то в них передбачено як подавання, так і видалення повітря. В приміщеннях технічного призначення, які розміщені в підвальному поверсі будівлі, подавання свіжого повітря забезпечує припливна система П1, а видалення – витяжна В1.

Видалення повітря з приміщень санвузлів, розміщених на всіх трьох поверхах, забезпечують механічні витяжні системи В2 та В3. Витяжні канали з кожного приміщення обладнані каналними вентиляторами Vents – 100 Turbo.

Видалення повітря з технічних приміщень 1-го та 2-го поверхів передбачено природним шляхом за допомогою систем ВП1- ВП4.

В якості повітророзподільників в системах вентиляції допоміжних приміщень

прийняті вентиляційні ґратки, що регулюються.

2.4.3. Визначення повітрообмінів в офісних приміщеннях

Повітрообмін в офісних приміщеннях розраховується в залежності від кількості людей і площі приміщення [21] за рівнянням:

$$L = n \cdot q_p + S \cdot q_v, \quad (2.12)$$

де n – проектна кількість людей у приміщенні;

q_p – питома витрата зовнішнього повітря на 1 людину, $\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{людину})$;

S – площа приміщення, м^2 ;

q_v – питома витрата зовнішнього повітря на розбавлення будівельних забруднень, $\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$.

У всіх приміщеннях спостерігається повітряний баланс.

Розрахунок виконується у вигляді таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Розрахунок повітрообміну офісних приміщень

№ прим	Найменування приміщення	n , людей	q_p , $\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{людину})$	S , м^2	q_v , $\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$	L , $\text{дм}^3/\text{с}$	L , $\text{м}^3/\text{год}$	Прийнята L , $\text{м}^3/\text{год}$
0.000								
3	Кабінет керівника організації	2	7	25,19	0,7	31,63	114,20	120
4	Кабінет начальника відділу	1	7	18,12	0,7	19,68	71,06	70
5	Офісне приміщення	20	7	100,87	1,4	281,22	1015,23	120
6	Офісне приміщення	8	7	42,3	0,7	85,61	309,06	310
7	Офісне приміщення	8	7	44,53	0,7	87,17	314,70	320
8	Офісне приміщення	8	7	43,3	0,7	86,31	311,59	320

16	Офісне приміщення	8	7	41,63	0,7	85,14	307,37	310
17	Офісне приміщення	7	7	42,3	0,7	78,61	283,79	290
19	Офісне приміщення	5	7	28,53	0,7	54,97	198,45	200
20	Офісне приміщення	1	7	6	0,7	11,20	40,43	40
21	Кімната охорони	3	7	17,52	0,7	33,26	120,09	120
3.300								
1	Кабінет начальника відділу	2	7	15,25	0,7	24,68	89,08	90
2	Офісне приміщення	7	7	34,58	0,7	73,21	264,28	270
3	Офісне приміщення	9	7	56,2	0,7	102,34	369,46	370
4	Офісне приміщення	9	7	65,95	0,7	109,17	394,10	400
5	Офісне приміщення	5	7	49,51	0,7	69,66	251,47	250
14	Кімната нарад	4	7	14,35	0,7	38,05	137,35	140
15	Офісне приміщення	5	7	15,18	0,7	45,63	164,71	170

2.4.4. Схема організації повітрообміну офісних приміщеннях

В офісних приміщеннях будівлі преком передбачена припливно - витяжна система вентиляції з механічним спонуканням руху повітря. Подавання свого повітря і видалення відпрацьованого здійснюється в/з верхньої зони приміщення. Запроектована припливно-витяжна вентиляція з рекуперацією теплоти та механічним спонуканням руху повітря. В якості повітророзподільників використовуються дифузори «Madel» DSQ 225x225. Кількість встановлених дифузорів в кожному приміщенні визначалась виходячи з загальної кількості повітря на приміщення і пропускної здатності кожного повітророзподільника.

Припливні і витяжні повітропроводи, які обслуговують офісні приміщення, об'єднані в єдину припливно – витяжну вентиляційну систему ПВ1.

2.4.5. Аеродинамічний розрахунок системи ПВ1

Розрахунок виконується в наступній послідовності:

а) площа перетину розрахункової ділянки повітропроводу визначається за формулою, м²:

$$F_{op} = \frac{L}{3600v_{max}} \quad (2.13)$$

де L - витрата повітря на ділянці, м³/год.

v_{max} – максимально допустима швидкість на ділянці, м/с:

– у магістралях $V_{max}=5\text{м/с}$;

– у відгалуженнях $V_{max}=3\text{м/с}$.

Розміри перетину повітропроводу підбираються так, щоб площа перетину була більшою або дорівнювала F_{op} .

б) фактична швидкість руху повітря на ділянках повітропроводу визначається за формулою, м/с:

$$v = \frac{L}{3600 \cdot a \cdot b} \quad (2.14)$$

в) еквівалентний діаметр для повітропроводу прямокутного перерізу визначається як, мм:

$$d_{\text{екв.}} = \frac{2ab}{a+b} \quad (2.15)$$

г) витрати тиску на тертя на ділянці визначаються за формулою, Па:

$$\Delta P_{tr} = R l \quad (2.16)$$

де R – питома витрата тиску на тертя, Па/м;

n – коефіцієнт, що враховує шорсткість стінок повітропроводу;

l – довжина ділянки, м.

д) витрати тиску на місцеві опори визначається за формулою, Па:

$$\Delta P_{m.c.} = Z = \sum \zeta \cdot P_d \quad (2.17)$$

$\sum \zeta$ - сума коефіцієнтів місцевих опорів на ділянці, зводяться у таблицю 3.3 та 3.4;

P_d – динамічний тиск, Па;

е) втрати тиску на ділянці визначаються за формулою:

$$\Delta P_{уч.} = \Delta P_{тр} + \Delta P_{м.о.} \quad (2.18)$$

Розрахункова схема системи ПВ1 наведена на рис.2.1, а розрахунок зведено до таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Аеродинамічний розрахунок системи ПВ1

№	L, м ³ /год	l, м	Розміри, мм			V, м/с	R, Па/м	n	Rl, Па	P _л , Па	Σξ	z, Па	Rln+z, Па
			a	b	d _{ек}								
Приплив													
1-2	60	5	150	150	150	0,7	0,05	1,28	0,25	0,29	3,7	1,1	1,35
2-3	200	7	150	150	150	2,5	0,64	1,31	4,48	3,75	1,47	5,5	9,98
3-4	553	3	300	150	200	3,4	0,88	1,3	2,64	6,94	1,47	10,2	12,84
4-5	906	3,2	350	200	254,5	3,6	0,78	1,31	2,5	7,78	1,47	11,4	13,9
5-6	1260	7,3	450	200	276,9	3,9	0,84	1,31	6,13	9,13	2,72	24,8	30,93
6-7	1470	1,1	500	200	285,7	4,1	0,9	1,28	0,99	10,09	0,21	2,1	3,09
7-8	1680	3	500	200	285,7	4,7	1,18	1,31	3,54	13,25	0,21	2,8	6,34
8-9	1890	8,5	500	200	285,7	5,3	1,5	1,3	12,7	16,85	1,41	23,8	36,55
9-10	3660	17	800	200	320	6,4	1,96	1,31	33,3	24,58	2,61	64,2	97,52
10-11	6020	22	800	300	436,4	7	1,72	1,31	37,84	29,4	0,32	9,4	58,97
												Σ	271,47
Витяжка													
1-2	60	3	150	150	150	0,7	0,05	1,28	0,15	0,29	3,7	1,1	1,25
2-3	200	2	150	150	150	2,5	0,64	1,31	1,28	3,75	0,32	1,2	2,48
3-4	553	3,1	300	150	200	3,4	0,88	1,3	2,73	6,94	0,32	2,2	4,93
4-5	906	3,2	350	200	254,5	3,6	0,78	1,31	2,5	7,78	0,32	2,5	5
5-6	1260	3,3	450	200	276,9	3,9	0,84	1,31	2,77	9,13	0,32	2,9	5,67
6-7	1470	2	500	200	285,7	4,1	0,9	1,28	1,8	10,09	0,21	2,1	3,9
7-8	1680	2	500	200	285,7	4,7	1,18	1,31	2,36	13,25	0,21	2,8	5,16
8-9	1890	16	500	200	285,7	5,3	1,5	1,3	24	16,85	2,4	40,4	64,4
9-10	3660	7,2	800	200	320	6,4	1,96	1,31	14,1	24,58	2,51	61,7	75,81
10-11	6020	20	800	300	436,4	7	1,72	1,31	34,4	29,4	0,32	9,4	54,46
												Σ	223,06

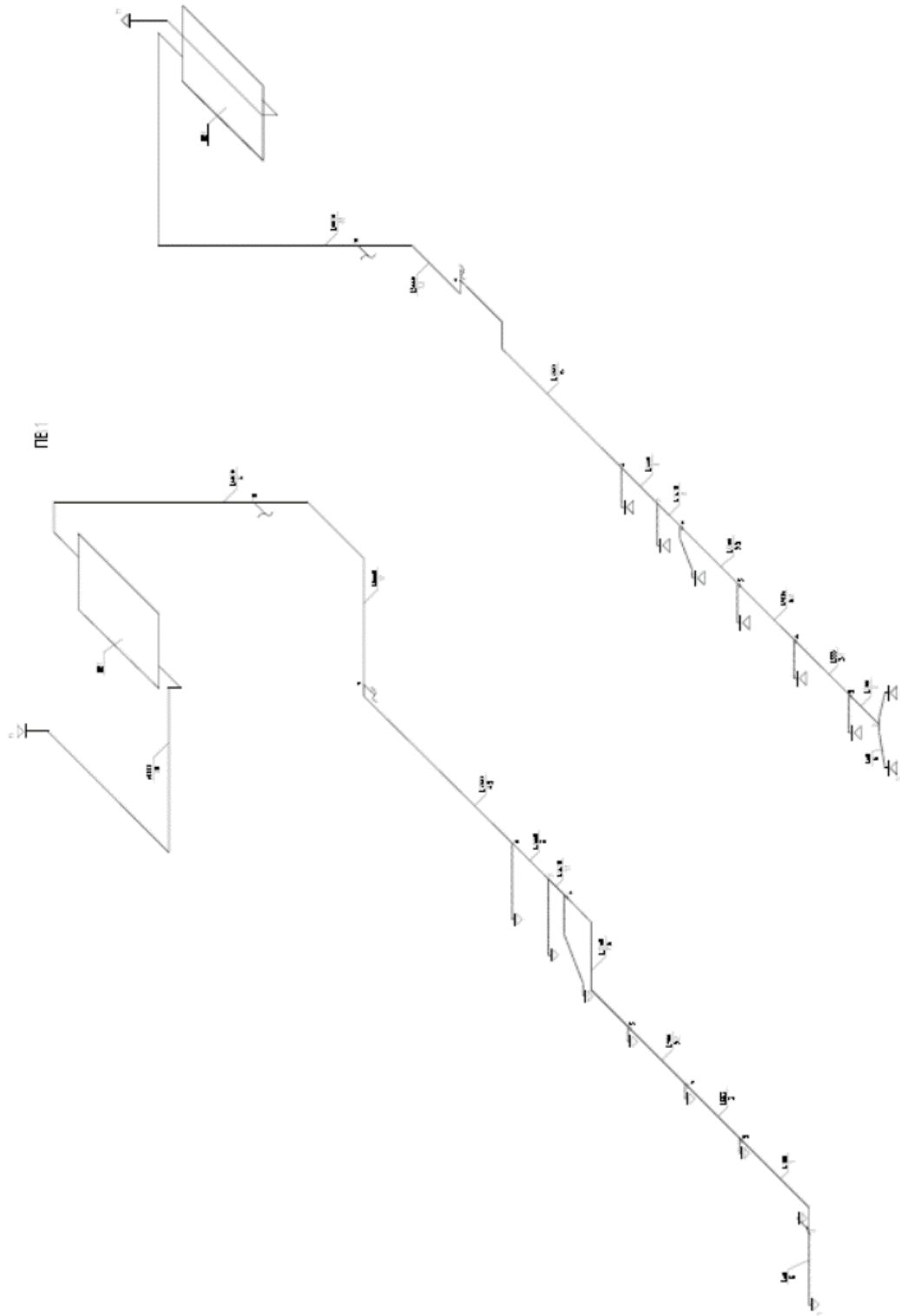


Рис.2.1. Розрахункова схема системи ПВ1

2.4.6. Підбір повітрообробного обладнання системи ПВ1

Для обробки зовнішнього повітря до параметрів припливного в системі ПВ1 до установки приймається припливно – витяжна установка Geniox Core 12 виробництва компанії Systemair. Конструкція установки та її геометричні розміри наведені на рис.2.2.

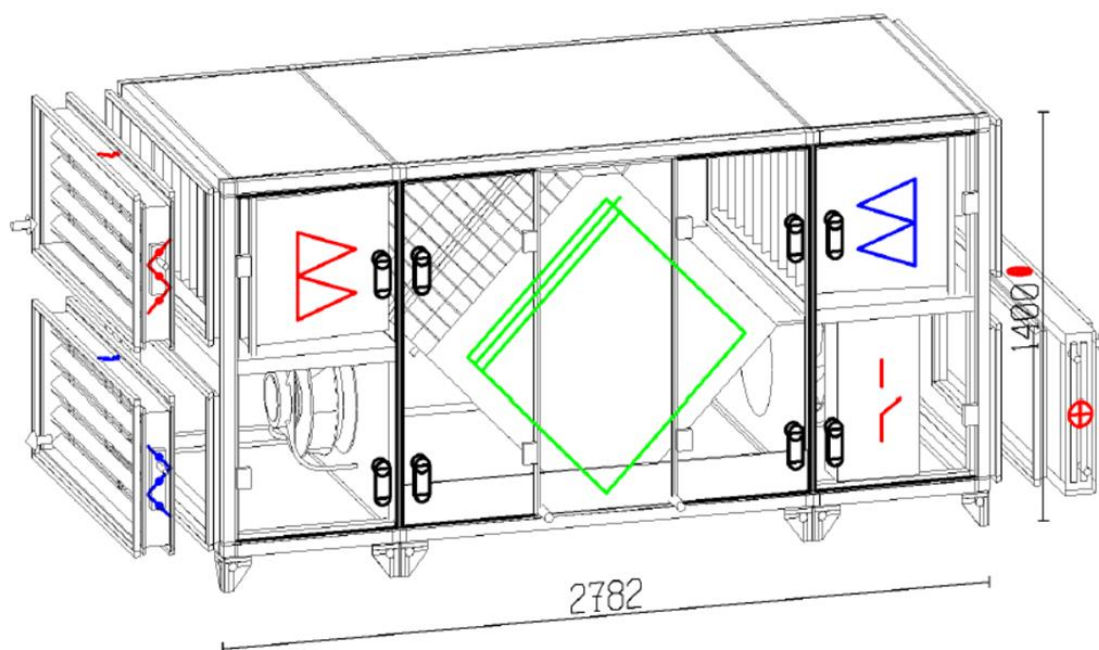


Рис.2.2. Конструкція та геометричні розміри припливно – витяжної установки Geniox Core 12

Повітрообробний агрегат складається з припливної та витяжної секцій. В свою чергу до складу припливної входять:

- повітрозабірний клапан;
- фільтр F7;
- пластинчастий рекуператор;
- вентилятор;
- водяний повітрянагрівач.

Витяжна секція складається з:

- фільтру;

- пластинчастого рекуператора;
- вентилятора;
- повітряного клапану.

2.5. Розробка системи охолодження повітря

Система охолодження в будівлі проектується з метою асиміляції надлишків теплоти в приміщеннях офісної будівлі і створення комфортних умов для довготривалого перебування людей в приміщеннях.

В проєкті розглядаються наступні види теплових надходжень:

- теплових надходжень від людей;
- теплових надходжень від штучного освітлення;
- теплових надходжень за рахунок сонячної радіації;
- теплових надходжень від оргтехніки.

2.5.1. Визначення холодительної потужності приміщень

2.5.1.1. Надходження теплоти від людей

Кількість теплоти, що надходить в приміщення від людей, $Q_{\text{л}}$ Вт, визначається по формулі:

$$Q_{\text{л}} = q_{\text{ч}} \cdot n_{\text{ч}}, \quad (2.19)$$

де $q_{\text{ч}}$ – повне виділення теплоти від однієї особи, Вт/люд [26];

Величина повних теплових надходжень від людей в теплий період року при помірній роботі дорівнює $q_{\text{ч}}^{\text{T}} = 205$ Вт/люд.

Розрахунок теплових надходжень даного типу виконується у табличній формі.

Таблиця 2.8 – Надходження теплоти від людей

№	Найменування приміщення	пч, осіб	Q _ч , Вт/люд	Q _л , Вт
Поверх на відм. 0.000				
3	Кабінет керівника	1	205	205
4	Кабінет керівника	1	205	205
5	Офісне приміщення	20	205	4100
6	Офісне приміщення	8	205	1640
7	Офісне приміщення	8	205	1640
8	Офісне приміщення	8	205	1640
16	Офісне приміщення	8	205	1640
17	Офісне приміщення	8	205	1640
19	Офісне приміщення	5	205	1025
21	Приміщення охорони	4	205	820
Поверх на відм. 3.300				
1	Кабінет керівника	1	205	205
2	Офісне приміщення	6	205	1230
3	Офісне приміщення	10	205	2050
4	Офісне приміщення	12	205	2460
5	Офісне приміщення	10	205	2050
7	Актова зала на 80 місць	80	205	16400
10	Офісне приміщення	4	205	820
14	Зала нарад	5	205	1025
15	Кабінет керівника	1	205	205

2.5.1.2. Надходження теплоти від джерел освітлення

Розрахунок ведеться за рівнянням:

$$Q_{осв} = E \cdot F \cdot q_{осв} \cdot \eta_{осв} \quad (2.20)$$

де E – питома освітленість, лк, приймається за [9] у залежності від типу приміщення;

$E=200$ лк;

F – площа освітленої поверхні, м².

$q_{осв}$ - питомі виділення тепла від освітлення, Вт/(м²/лк);

$q_{осв}= 0,056$ Вт/(м²/лк);

$\eta_{осв}$ – частка теплоти, що надходить у приміщення, приймається в залежності від типу освітлення; $\eta_{осв} = 0,43$.

Результати розрахунку зведені до таблиці 2.9.

Таблиця 2.8 – Надходження теплоти від джерел освітлення

№	Найменування приміщення	Е	F	q	η	Q _{Осв.} , Вт
Поверх на відм. 0.000						
3	Кабінет керівника	200	25,19	0,056	0,43	121,32
4	Кабінет керівника	200	18,12	0,056	0,43	87,27
5	Офісне приміщення	200	100,87	0,056	0,43	485,79
6	Офісне приміщення	200	42,3	0,056	0,43	203,72
7	Офісне приміщення	200	44,53	0,056	0,43	214,46
8	Офісне приміщення	200	43,3	0,056	0,43	208,53
16	Офісне приміщення	200	41,63	0,056	0,43	200,49
17	Офісне приміщення	200	42,3	0,056	0,43	203,72
19	Офісне приміщення	200	28,53	0,056	0,43	137,40
21	Приміщення охорони	200	17,52	0,056	0,43	84,38
Поверх на відм. 3.300						
1	Кабінет керівника	200	15,25	0,056	0,43	73,44
2	Офісне приміщення	200	34,58	0,056	0,43	166,54
3	Офісне приміщення	200	56,2	0,056	0,43	270,66
4	Офісне приміщення	200	65,95	0,056	0,43	317,62
5	Офісне приміщення	200	49,51	0,056	0,43	238,44
7	Актова зала на 80 місць	200	144,46	0,056	0,43	695,72
10	Офісне приміщення	200	19,45	0,056	0,43	93,67
14	Зала нарад	200	14,35	0,056	0,43	69,11
15	Кабінет керівника	200	15,18	0,056	0,43	73,11

2.5.1.3. Надходження теплоти за рахунок сонячної радіації

Сонячна радіація в приміщення може надходити двома шляхами: через вікна та через покриття. Так як в даному випадку архітектурними рішеннями передбачено наявність технічного поверху, то надходження теплоти через суміщене покриття можна не враховувати. В свою чергу надходження теплоти через світлопрозорі огорожувальні конструкції можуть бути визначені за формулою:

$$Q_{c.p.} = F_B \cdot q_B^{c.p.}, \quad (2.21)$$

де F_n - площа вікон, м²;

$q_B^{c.p.}$ - питомі теплонадходження від сонячної радіації через світлопрозорі огорожувальні конструкції, Вт/м².

Результати розрахунків наведені в таблиці 2.9

Таблиця 2.9 – Надходження теплоти від сонячної радіації

№	Найменування приміщення	F ₁ , м ²	$q_B^{c.p.}$, Вт/м ²	F ₂ , м ²	$q_B^{c.p.}$, Вт/м ²	Q _{c.p.} , Вт
Поверх на відм. 0.000						
3	Кабінет керівника	7,67	186			1426,62
4	Кабінет керівника	5,022	186	12,69	208	3573,61
5	Офісне приміщення	25,38	186			4720,68
6	Офісне приміщення	7,1	186			1320,60
7	Офісне приміщення	8,91	186			1657,26
8	Офісне приміщення	8,91	186			1657,26
16	Офісне приміщення	8,91	186			1657,26
17	Офісне приміщення	14,58	186			2711,88
19	Офісне приміщення	7,1	186			1320,60
Поверх на відм. 3.300						
1	Кабінет керівника	5,21	186			969,06
2	Офісне приміщення	7,1	186			1320,60
3	Офісне приміщення	14,36	186			2670,96
4	Офісне приміщення	25,38	186			4720,68
5	Офісне приміщення	12,69	186	12,69	208	4999,86
10	Офісне приміщення	7,1	186			1320,60
14	Зала нарад	3,05	186			567,30
15	Кабінет керівника	5,24	186			974,64

2.5.1.4. Надходження теплоти від оргтехніки

Надходження теплоти від комп'ютера береться за сумарними показниками компонентів : процесор 40-50 Вт, материнська плата 15-30 Вт, модуль пам'яті DDR DRAM 5-10 Вт, відео карта AGP 5-10 Вт, жорсткі диски IDE 20 Вт, привід DVD-RW 18 Вт, мультимедійна карта 3 Вт, блок живлення 26-35 Вт, LED монітор 55 Вт.

Для розрахунку приймається 190 Вт виділень теплоти на один комп'ютер, на один багатофункціональний принтер – 800 Вт.

Результати розрахунків наведені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 - Надходження теплоти від сонячної радіації

№	Найменування приміщення	Кількість комп'ютерів, шт	$q_{Комп}$, Вт/шт	$q_{Принт}$, Вт	$Q_{орг}$, Вт
Поверх на відм. 0.000					
3	Кабінет керівника	1	190	800	990
4	Кабінет керівника	1	190	800	990
5	Офісне приміщення	20	190	1600	5400
6	Офісне приміщення	8	190	800	2320
7	Офісне приміщення	8	190	800	2320
8	Офісне приміщення	8	190	800	2320
16	Офісне приміщення	8	190	800	2320
17	Офісне приміщення	8	190	800	2320
19	Офісне приміщення	5	190	800	1750
21	Приміщення охорони	4	190		760
Поверх на відм. 3.300					
1	Кабінет керівника	1	190	800	190
2	Офісне приміщення	6	190	800	1140
3	Офісне приміщення	10	190	800	1900
4	Офісне приміщення	12	190	800	2280
5	Офісне приміщення	10	190	800	1900
7	Актова зала на 80 місць	2	190		380
10	Офісне приміщення	4	190	800	760
14	Зала нарад	1	190		190
15	Кабінет керівника	1	190	800	190

2.5.1.5. Загальні надходження теплоти

Сума всіх видів теплонадходжень в приміщення являє собою холодильну потужність кожного з них.

Розрахунок загальних надходжень теплоти ведеться за формулою:

$$Q_{над} = Q_{л} + Q_{осв} + Q_{с.р.} + Q_{орг} \quad (2.22)$$

Результати розрахунків наведені в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Загальні надходження теплоти

№	Найменування приміщення	Q _л , Вт	Q _{осв} , Вт	Q _{с.р.} , Вт	Q _{орг} , Вт	ΣQ, Вт
Поверх на відм. 0.000						
3	Кабінет керівника	205	121,32	1426,62	990	2742,94
4	Кабінет керівника	205	87,27	3573,61	990	4855,88
5	Офісне приміщення	4100	485,79	4720,68	5400	14706,47
6	Офісне приміщення	1640	203,72	1320,60	2320	5484,32
7	Офісне приміщення	1640	214,46	1657,26	2320	5831,72
8	Офісне приміщення	1640	208,53	1657,26	2320	5825,79
16	Офісне приміщення	1640	200,49	1657,26	2320	5817,75
17	Офісне приміщення	1640	203,72	2711,88	2320	6875,60
19	Офісне приміщення	1025	137,40	1320,60	1750	4233,00
21	Приміщення охорони	820	84,38	-	760	1664,38
Поверх на відм. 3.300						
1	Кабінет керівника	205	73,44	969,06	190	1437,50
2	Офісне приміщення	1230	166,54	1320,60	1140	3857,14
3	Офісне приміщення	2050	270,66	2670,96	1900	6891,62
4	Офісне приміщення	2460	317,62	4720,68	2280	9778,30
5	Офісне приміщення	2050	238,44	4999,86	1900	9188,30
7	Актова зала на 80 місць	16400	695,72	-	380	17475,72
10	Офісне приміщення	820	93,67	1320,60	760	2994,27
14	Зала нарад	1025	69,11	567,30	190	1851,41
15	Кабінет керівника	205	73,11	974,64	190	1442,75

2.5.2. Характеристика прийнятої системи охолодження

В проєкті прийнята система охолодження повітря типу «чилер – фанкойл». В якості джерела теплоти передбачено чилер. Установка обладнання передбачена в підвалі будівлі, а конденсатор - на покрівлі. Холодоносієм в системі холодопостачання виступає вода з температурними параметрами 7-12°C. Циркуляцію холодоносія від чиллера до фанкойлів забезпечує насосна станція. Холодоносієм передбачається подавати до споживачів системою пластикових трубопроводів «Climatherm». Прокладання труб передбачається за підвісною стелею.

Ув'язку відгалужень в трубопроводній системі холодопостачання планується виконувати за допомогою ручних балансувальних клапанів, що встановлюються у споживачів холоду.

2.5.3. Підбір основного обладнання системи холодопостачання

В межах даної роботи в якості основного обладнання розглядається джерело холоду – чилер та фанкойли, які встановлюються в приміщеннях. Підбір чилера здійснюється по величині загальної холодильної потужності.

У відповідності до результатів розрахунків, наведених в таблиці 2.11, загальна холодильна потужність приміщень офісного центру становить 113 кВт. У відповідності до цього до установки приймається чилер з виносним конденсатором Daikin EWWD-J-SS 120 холодильною потужністю 120 кВт.

Для охолодження повітря в приміщеннях передбачена установка фанкойлів FCK 04 виробництва Trane. Холодильна потужність одного фанкойла дорівнює 3.4 кВт. Так як за допомогою цих же фанкойлів здійснюється нагрівання повітря в приміщенні в холодний період року, то приймаються 4-хтрубні екземпляри. Продуктивність даного обладнання по теплу становить 2,4 кВт.

Результати розрахунку кількості встановлених фанкойлів по приміщеннях офісного центру наведені в таблиці 2.12.

Таблиця 2.11 – Вибір кількості фанкойлів FCK 04

№	Найменування приміщення	Теплова потужність приміщення, Вт	Холодильна потужність фанкойлу, Вт	Кількість фанкойлів, шт	Холодильна потужність приміщення, Вт	Холодильна потужність фанкойлу, Вт	Кількість фанкойлів, шт
Поверх на відм 0.000							
3	Кабінет керівника	1075	2400	1	2742,94	3400	1
4	Кабінет керівника	1526	2400	1	4855,88	3400	1
5	Офісне приміщення	5378	2400	2	14706,47	3400	4
6	Офісне приміщення	2094	2400	1	5484,32	3400	2
7	Офісне приміщення	2242	2400	1	5831,72	3400	2
8	Офісне приміщення	2196	2400	1	5825,79	3400	2
16	Офісне приміщення	2134	2400	1	5817,75	3400	2
17	Офісне приміщення	2443	2400	1	6875,60	3400	2
19	Офісне приміщення	1551	2400	1	4233,00	3400	1
21	Приміщення охорони	743	2400	1	1664,38	3400	1
Поверх на відм. 3.300							
1	Кабінет керівника	893	2400	1	1437,50	3400	1
2	Офісне приміщення	1818	2400	1	3857,14	3400	1
3	Офісне приміщення	3088	2400	1	6891,62	3400	2
4	Офісне приміщення	4017	2400	2	9778,30	3400	3
5	Офісне приміщення	3503	2400	1	9188,30	3400	3
7	Актова зала на 80 місць		2400	0	17475,72	3400	6
10	Офісне приміщення	1191	2400	1	2994,27	3400	1
14	Зала нарад	778	2400	1	1851,41	3400	1
15	Кабінет керівника	917	2400	1	1442,75	3400	1

Так як холодильна потужність приміщень перевищує теплову, то до установки приймається та кількість фанкойлів, яка повністю забезпечить приміщення відповідною кількістю холоду. З урахуванням цього теплова потужність буде покрита 100%. Розміщення обладнання в межах приміщень наведено на графічній частині.

РОЗДІЛ 3

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ З РЕКУПЕРАЦІЄЮ ТЕПЛОТИ ВИТЯЖНОГО ПОВІТРЯ ТА ТЕПЛОНАСОСНИМИ УСТАНОВКАМИ

3.1. Опис теплонасосної системи вентиляції з рекуперацією теплоти видаляемого повітря

В якості одного з варіантів підвищення ефективності систем вентиляції є використання теплових насосів в комплексі з рекуператором теплоти видаляемого повітря. Дане обладнання об'єднується в межах однієї припливно – витяжної установки з метою максимально ефективного використання теплоти повітря, яке видаляється з приміщення.

Розрахунки будуть проводитись у відповідності до схеми системи вентиляції, наведеної на рис.3.1.

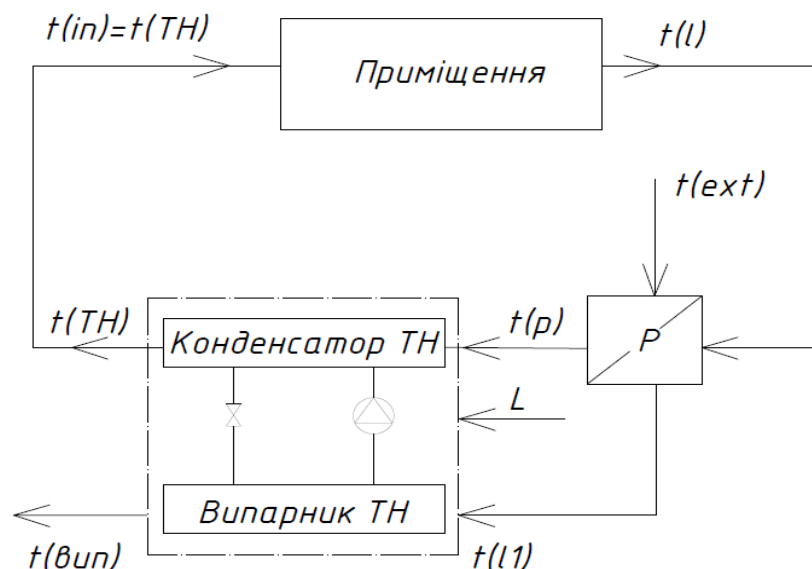


Рис.3.1. Схема теплонасосної системи вентиляції з рекуперацією теплоти видаляемого повітря

Принцип роботи наведеної схеми системи вентиляції наступний: зовнішнє повітря з температурою t_{ext} надходить в рекуператор припливно – витяжної установки, де нагрівається до температури t_p за рахунок тепловіддачі від видаляемого

повітря, яке надходить в рекуператор з приміщення з температурними параметрами t_l . Охолоджене внутрішнє повітря після рекуператора з температурними параметрами t_{l1} направляється до випарника ТН, де охолоджується до температури $t_{\text{вип}}$ і з цими температурними значеннями надходить в атмосферне повітря. Підігріте зовнішнє повітря після рекуператора надходить в конденсатор ТН, де підігрівається до температурних параметрів $t_{\text{ТН}}$, які в свою чергу дорівнюють температурі припливного повітря t_{in} .

3.2. Визначення енергетичної ефективності системи вентиляції з рекуперацією теплоти та теплонасосною установкою

Енергетична ефективність системи вентиляції визначається перш за все температурними параметрами повітря в контрольних точках системи. Ними в даному випадку є:

- температура припливного повітря після рекуператора t_p ;
- температура видаляемого повітря після рекуператора t_{l1} ;
- температура видаляемого повітря на виході з випарника $t_{\text{вип}}$;
- температура припливного повітря на виході з конденсатора $t_{\text{ТН (in)}}$.

Температура припливного повітря на виході з рекуператора визначається як:

$$t_p = t_{\text{ext}} - \eta_p (t_{\text{ext}} - t_l) \quad (3.1)$$

де η_p – ефективність роботи рекуператора.

Ефективність роботи рекуператора визначається за рівнянням

$$\eta_p = \frac{t_l - t_{l1}}{t_p - t_{\text{ext}}} \quad (3.2)$$

Тепловий баланс рекуператора та рівняння (3.1) дають можливість отримати формулу для визначення температури повітря, яке видаляється, після рекуператора t_{l1}

$$t_{l1} = t_l - \eta_p (t_p - t_{\text{ext}}) \quad (3.3)$$

ККД рекуператора – це величина, яка визначається, як правило, розрахунком під час підбору припливно – витяжних установок, але може змінюватись в залежності від температур зовнішнього та видаляемого повітря. У відповідності до технічного паспорту установки ПВ1, підбір якої виконано в розділі 2 даної роботи, температурний ККД рекуператора при розрахунковій температурі проєктування системи опалення $t_{ext}=-22^{\circ}\text{C}$ становить 92%. Але даний параметр може змінюватись і для проведення розрахунків приймається, що ККД рекуператора може дорівнювати 80%, 70%, 60% та 50%.

Температура зовнішнього повітря так само змінюється впродовж зимового періоду року від $+8^{\circ}\text{C}$ до -22°C . По цій причині для проведення розрахунку приймається наступний ряд температурних значень зовнішнього повітря: $+8^{\circ}\text{C}$, 0°C , -10°C , -15°C та -22°C .

Температура повітря, яке видаляється з приміщення $t_i=21^{\circ}\text{C}$.

Результати розрахунку температур припливного повітря на виході з рекуператора при різних значеннях його ефективності та температурах зовнішнього повітря наведені у вигляді діаграми на рис. 3.2.

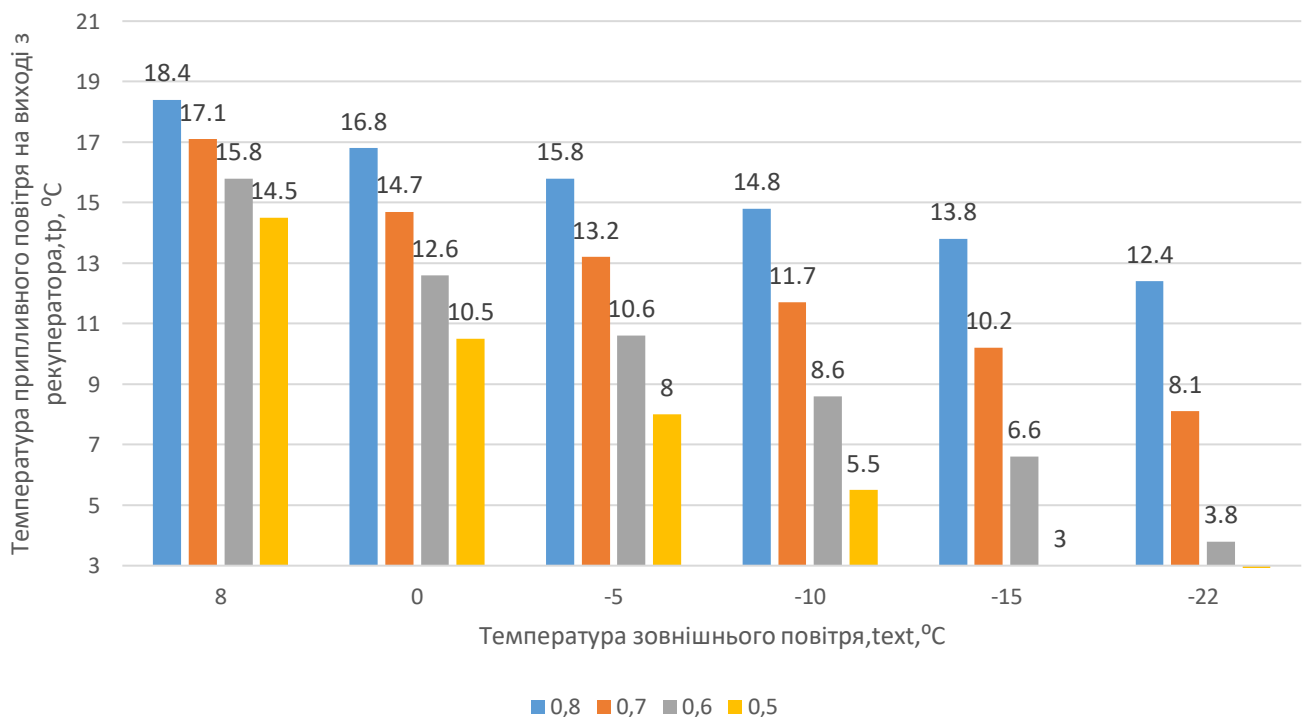


Рис.3.2. Залежність температури припливного повітря на виході з рекуператора, t_p , від температури зовнішнього повітря, t_{ext} , та ККД рекуператора

Отримані результати показують, що при максимальній ефективності рекуператора при різних значеннях температури зовнішнього повітря можна отримати максимальні значення температури припливного повітря на виході з нього при сталому значенні температури видаляемого повітря.

За рівнянням (3.3) виконується розрахунок температурних показників видаляемого повітря на виході з рекуператора. Результати розрахунку при різних значеннях ефективності теплоутилізатора та температурах зовнішнього повітря наведені у вигляді діаграми на рис. 3.3.

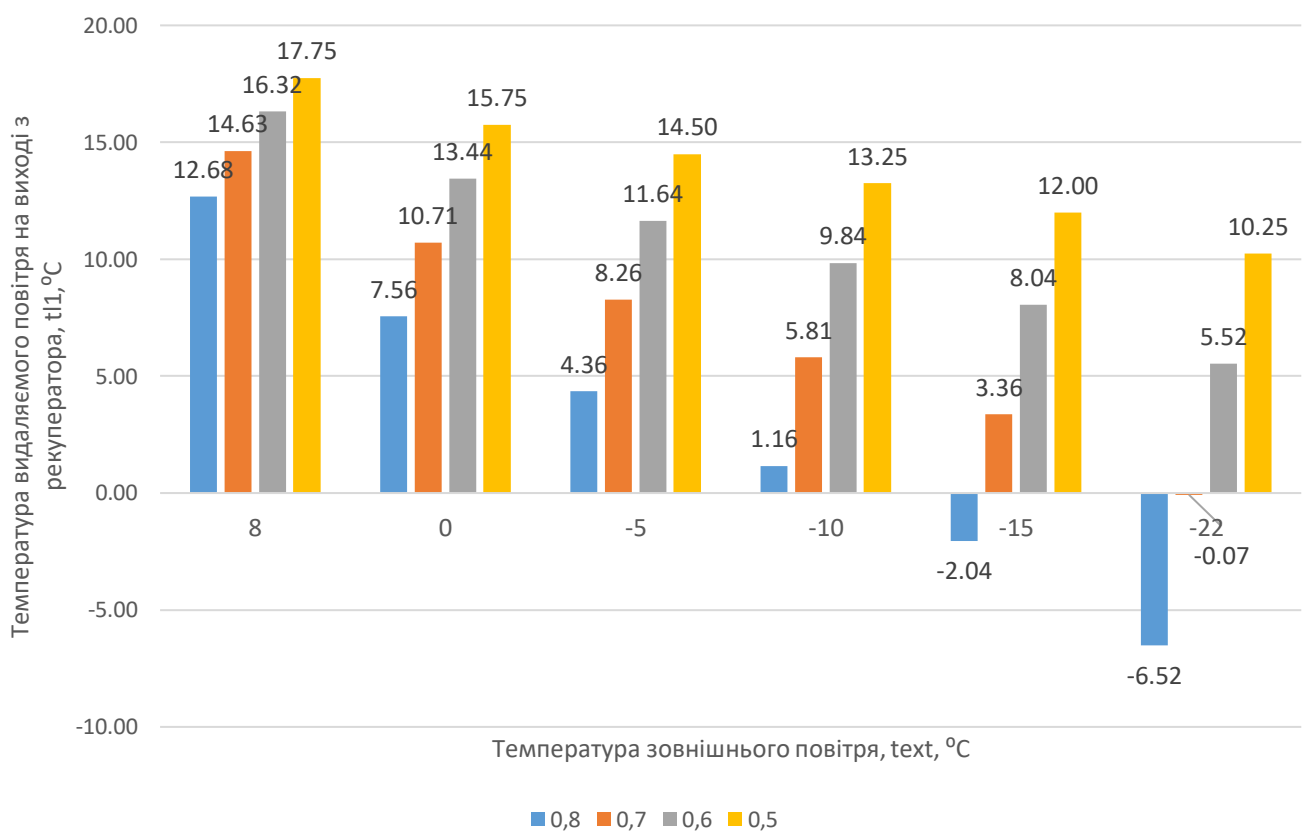


Рис.3.3. Залежність температури видаляемого повітря, t_{11} , на виході з рекуператора, t_p , від температури зовнішнього повітря, t_{ext} , та ККД рекуператора

Чим більше ефективність рекуператора тим меншу температуру видаляемого повітря на виході з нього можна отримати. Тобто тим глибше утилізація теплоти видаляемого повітря.

Температурні показники видаляемого повітря на виході з випарника теплового насосу можуть бути розраховані за рівнянням:

$$t_{\text{вип}} = t_{\text{in}} - (t_{\text{in}} - t_{\text{ext}})\eta_p - (1 - \eta_p)(t_{\text{in}} - t_{\text{ext}})\frac{\varphi - 1}{\varphi}. \quad (3.4)$$

де φ - коефіцієнт трансформації теплового насосу:

$$\varphi = \varphi_T \cdot \eta_{\text{ТН}}, \quad (3.5)$$

де $\eta_{\text{ТН}}$ – ККД теплового насосу. Для виконання розрахунку може бути прийнятим 0,6;

φ_T - коефіцієнт трансформації ідеального циклу ТН з урахуванням теплових необоротностей у випарнику і конденсаторі:

$$\varphi_T = \frac{1}{1 - \frac{T_2}{T_1}} = \frac{1}{1 - \frac{273 + t_{\text{вип}} - \Delta t_{\text{вип}}}{273 + t_p + \Delta t_k}}, \quad (3.6)$$

де $\Delta t_{\text{вип}}$ та Δt_k – різниці температур повітря і робочого тіла теплового насосу на виході із випарника і конденсатора ($\Delta t_{\text{вип}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ та $\Delta t_k = 10 \text{ }^\circ\text{C}$).

Рівняння (3.4) та (3.6) вирішуються в комплексі шляхом підбору такого значення температури видаляемого повітря після випарника $t_{\text{вип}}$, щоб в кінці розрахунку прийняте значення даного температурного показника було максимально наближене до розрахункового.

Розрахунок виконано в табличній формі (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Розрахунок температури видаляемого повітря на виході з випарника

$t_{\text{ext}}, \text{ }^{\circ}\text{C}$	8	0	-5	-10	-15	-22
0,8						
$t_{\text{вип}}(\text{прийн}), \text{ }^{\circ}\text{C}$	8	3,5	0	-4	-7,4	-12
$\varphi_{\text{г}}$	9,91	9,00	8,35	7,68	7,20	6,65
φ	5,95	5,40	5,01	4,61	4,32	3,99
$t_{\text{вип}}(\text{розрах}), \text{ }^{\circ}\text{C}$	8,34	3,33	-0,41	-3,92	-7,37	-11,98
0,7						
$t_{\text{вип}}(\text{прийн}), \text{ }^{\circ}\text{C}$	8,3	4,6	1,7	-1	-3,8	-7,1
$\varphi_{\text{г}}$	24,19	18,38	15,46	13,48	11,89	10,44
φ	14,51	11,03	9,28	8,09	7,13	6,27
$t_{\text{вип}}(\text{розрах}), \text{ }^{\circ}\text{C}$	8,54	4,66	1,58	-1,21	-3,81	-7,19
0,6						
$t_{\text{вип}}(\text{прийн}), \text{ }^{\circ}\text{C}$	8,5	6	3,2	1	-1	-3,5
$\varphi_{\text{г}}$	24,61	20,21	16,85	14,89	13,48	12,04
φ	14,77	12,13	10,11	8,94	8,09	7,23
$t_{\text{вип}}(\text{розрах}), \text{ }^{\circ}\text{C}$	8,79	5,76	3,20	0,94	-1,11	-3,71
0,5						
$t_{\text{вип}}(\text{прийн}), \text{ }^{\circ}\text{C}$	9	6,6	4,5	2,7	1	-1
$\varphi_{\text{г}}$	25,73	21,12	18,26	16,36	14,89	13,48
φ	15,44	12,67	10,95	9,82	8,94	8,09
$t_{\text{вип}}(\text{розрах}), \text{ }^{\circ}\text{C}$	9,09	6,73	4,55	2,68	1,03	-1,02

Графічна залежність температури видаляемого повітря на виході з випарника від температури зовнішнього повітря та ефективності рекуператора у вигляді стовпчастої діаграми наведена на рис. 3.4.

Аналіз отриманих результатів показує, що при збільшенні температури зовнішнього повітря різниця в температурі видаляемого повітря на виході з випарника при різних значеннях ККД рекуператора в зазначеному діапазоні мінімальна (в межах 1°C), що можна вважати не суттєвим. При зниженні температури зовнішнього повітря чітко прослідковується вплив на результат ефективності рекуператора: чим вода більша, тим нижче значення температури видаляемого повітря на виході з випарника можна отримати. І при розрахунковій температурі зовнішнього повітря для проектування системи вентиляції в холодний період року різниця температур при мінімальній і максимальній ефективності рекуператора досягає 10°C .

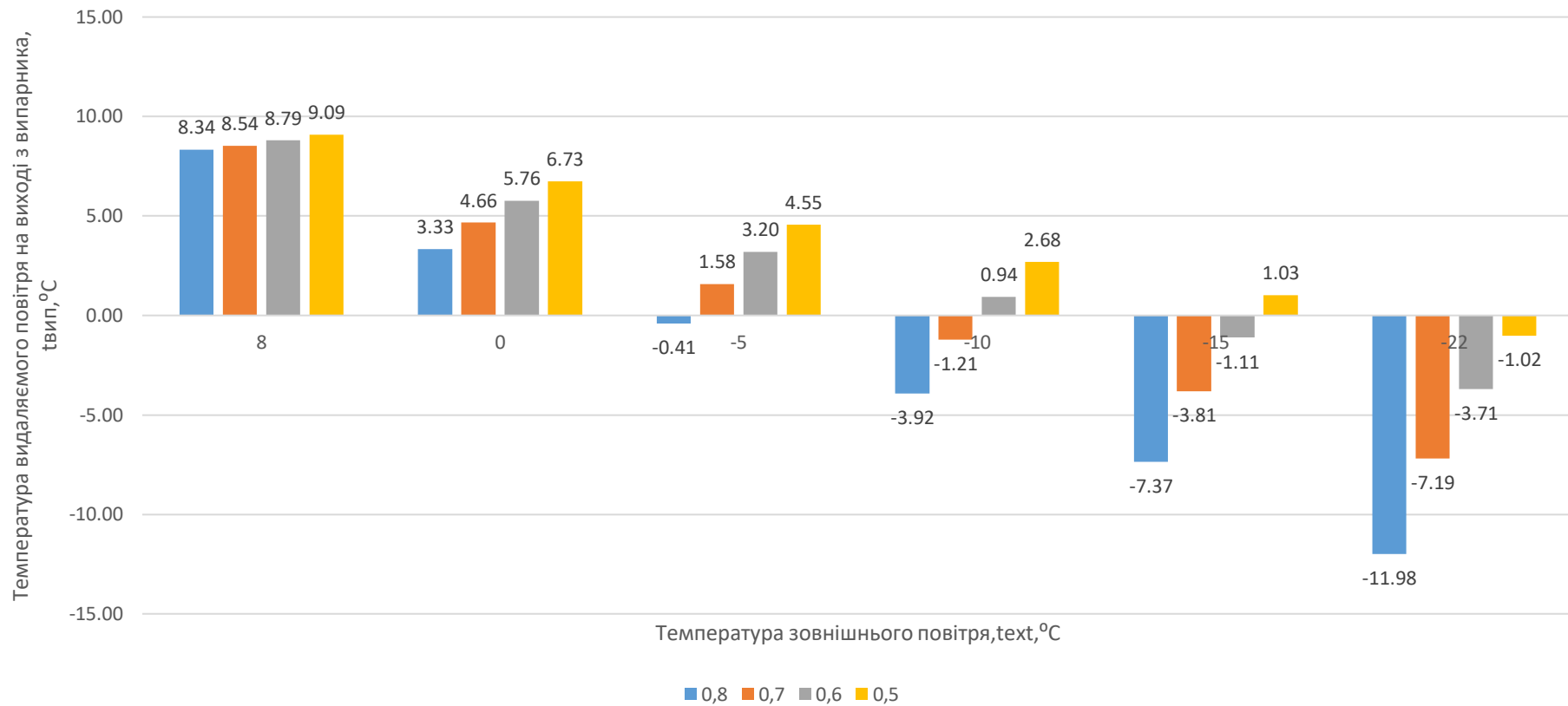


Рис.3.4. Залежність температури видаляемого повітря на виході з випарника від температури зовнішнього повітря та ефективності рекуператора

В межах даної роботи доцільно порівняти температури повітря, з якими воно надходить в атмосферу при застосуванні теплового насосу в структурі припливно – витяжної установки і без його наявності там.

Результати розрахунків представлені у вигляді стовпчастої діаграми (рис. 3.5).

Наведена стовпчата діаграма демонструє ту різницю в температурах видаляемого повітря, яка надходить в атмосферу у випадку застосування лише рекуператора, також рекуператора в комплексі з тепловим насосом. Можна прослідкувати, що при одній і тій же самій ефективності рекуператора різниця між температурами видаляемого повітря у випадку застосування лише рекуператора та рекуператора в комплексі з тепловим насосом набуває свого максимального значення при мінімальній ефективності рекуператора. Таким чином, якщо вважати, що роторний рекуператор має максимальну ефективність, яка може досягати 80-90%, то максимальна ефективність від застосування рекуператора та теплового насосу може бути досягнена при використанні пластинчастого рекуператора з ефективністю до 60%.

У всіх випадках, що розглядалися, доведено, що застосування теплового насосу дає можливість отримати значно нижчу температури видаляемого повітря на виході з припливно – витяжної установки. З точки зору екологічного ефекту, це знизить тепловий вплив від роботи системи вентиляції на атмосферне повітря.

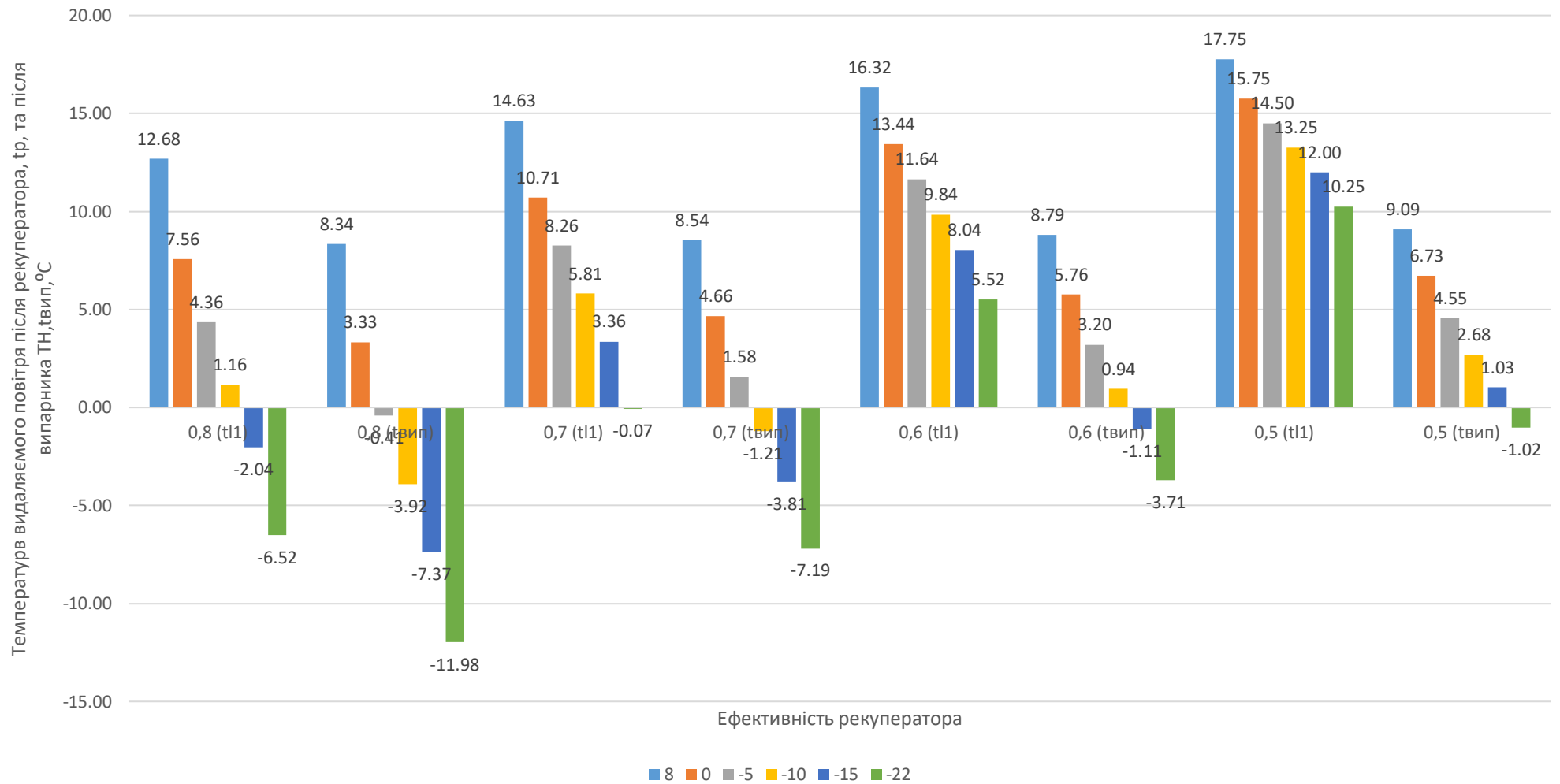


Рис.3.4. Стівпчаста діаграма температур видаляемого повітря після рекуператора та після випарника теплового насосу в залежності від температури зовнішнього повітря та ефективності рекуператора

РОЗДІЛ 4

АВТОМАТИКА

4.1. Загальна інформація про призначення системи автоматики

Якісна робота системи вентиляції, її енергоефективність і точність підтримки параметрів залежать від алгоритму регулювання і апаратної функціональності системи автоматизації.

Алгоритм управління системою вентиляції забезпечує зміну параметрів зовнішнього повітря до заданих параметрів повітря, що подаються в розмірі із спостереженням теплової та електричної потужності обладнання. Для вимірювання, контролю та регулювання параметрів застосовуються логічні пристрої – плати та контролери з конфігурацією програмного забезпечення для певного типу установки вентиляції.

Регулювання параметрів здійснюється виконавчими механізмами

– приводами заслонок, клапанами узлов змішування, регуляторами потужності електричного нагрівача, преобразователями частоти і переключателями швидкостей приводів мотор-вентиляторів. Контроль і вимірювання параметрів

виконують датчики температури, вологості, концентрації CO₂, диференціальні реле і термостати захисту.

У багаторівневих системах управління застосовуються виконавчі механізми з сигналами зворотного зв'язку для контролю положення або стану. Застосовуємо до систем автоматичного управління два типи сигналів – дискретний (цифровий) і аналоговий.

Дискретний сигнал повідомляє про наявність/відсутності значень контрольованого параметра або передає команді на виконання/відміну визначеної функції. Вхідні дискретні сигнали в системах управління вентиляційним обладнанням відображають стан контактів реле тиску, термостатів і комутаційних пристроїв силового обладнання. Вихідні дискретні

сигнали реалізовані у вигляді релейних контактів ЛУ, які подають напругу на приводи повітряних заслінок (откр./закр.), силові комутаційні пристрої або сигнали запуску перетворювачів частоти і включення компресорно-конденсаторного блоку фреонового повітроохолоджувача.

Аналоговий сигнал характеризує рівень контрольованого параметра або задає величину його зміни.

Вхідні аналогові сигнали відображають показання датчиків або задання вихідного пульта управління на зміну температури. На вході логічного пристрою аналогові сигнали подають у формі опору, напруги 0...10 В або току 4...20 мА. Вихідні аналогові сигнали подаються на виконавчі механізми для вузлів положення заслінок пластинчастого рекуператора або рециркуляції, вузлів змішування клапанів, керування вихідною частотою перетворювача роторного рекуператора та регулювання продуктивності конденсаторно-компресорного блоку. Форма вихідних аналогових сигналів – 0...10 В або 4...20 мА.

Для припливних вентиляційних систем схемами автоматизації забезпечується:

- місцеве і автоматичне керування електродвигуна припливного вентилятора;
- контроль температури теплоносія після калориферу;
- захист калориферу від заморожування;
- контроль забруднення фільтрів;
- контроль перепаду тиску на вентиляторах;
- управління електроприводами повітряних засувок, а також забезпечення їх закриття при відключенні електроживлення пристрою.

Забезпечення технологічного обладнання засобами контролю і автоматизації скорочують кількість обслуговуючого персоналу, поліпшують умови працюючих, підтримують оптимальний обмін повітря в приміщеннях.

4.2. Функції системи автоматизованого управління

Системи управління припливними і припливно-витяжними вентиляційними агрегатами, розроблені на базі промислового контролера, з конфігурацією керуючої програми під певний тип повітрооброблюючих установок. У комплект системи автоматизованого управління (САУ) входить щит управління, а також необхідний комплект датчиків і виконавчих механізмів. Функції управління, контролю параметрів і захисту обладнання забезпечує оптимальний набір програмних і апаратних засобів автоматизації.

Загальні функції:

- регулювання температури припливного повітря або повітря в приміщенні, згідно заданого значення;
- дистанційне включення / вимикання системи та контроль режимів «робота / аварія», за допомогою виносного пульта управління;
- автоматичне перемикання режимів «зима / літо» згідно заданого значення температури зовнішнього повітря;
- робота системи по добовому або тижневому графіку;
- контроль засмічення повітряних фільтрів;
- контроль параметрів мережі живлення;
- відключення системи при надходженні сигналу «пожежа»;
- відключення системи при переході в аварійний режим.

Відносно рідинного нагрівача:

- захист і керування циркуляційним насосом вузла теплопостачання;
- управління 3-х ходовим клапаном вузла теплопостачання;
- підтримання температури зворотного теплоносія в режимі очікування;
- прогрів повітронагрівача перед пуском вентилятора;
- захист повітронагрівача від замерзання по температурі зворотного теплоносія і температурі повітря за нагрівачем.

Відносно електричного нагрівача:

- дискретне або аналогове управління секціями ЕВН;
- захист ЕВН від перегріву;
- з'їм залишкового тепла перед виключенням системи.

Відносно рідинного охолоджувача:

- захист і керування циркуляційним насосом вузла холодопостачання;
- управління 3-х ходовим клапаном вузла холодопостачання.

Відносно охолоджувача безпосередньої дії:

- управління компресорно-конденсаторним блоком;
- забезпечення настроюються інтервалів роботи і очікування компресора ККБ.

Відносно теплоутилізаторів:

- захист від замерзання перехресного і роторного рекуператора;
- управління приводом обвідної заслінки перехресного рекуператора;
- управління приводом роторного рекуператора;
- захист і керування циркуляційним насосом рідинного теплоутилізатора;
- управління 3-х ходовим клапаном рідинного теплоутилізатора.

Відносно рециркуляції:

- ручне та автоматичне керування приводами заслінок рециркуляції [27].

4.3. Функціональна схема автоматики припливно – витяжної установки

Функціональна схема автоматики припливно – витяжної установки Geniox Core 12 наведена на рис.4.1.

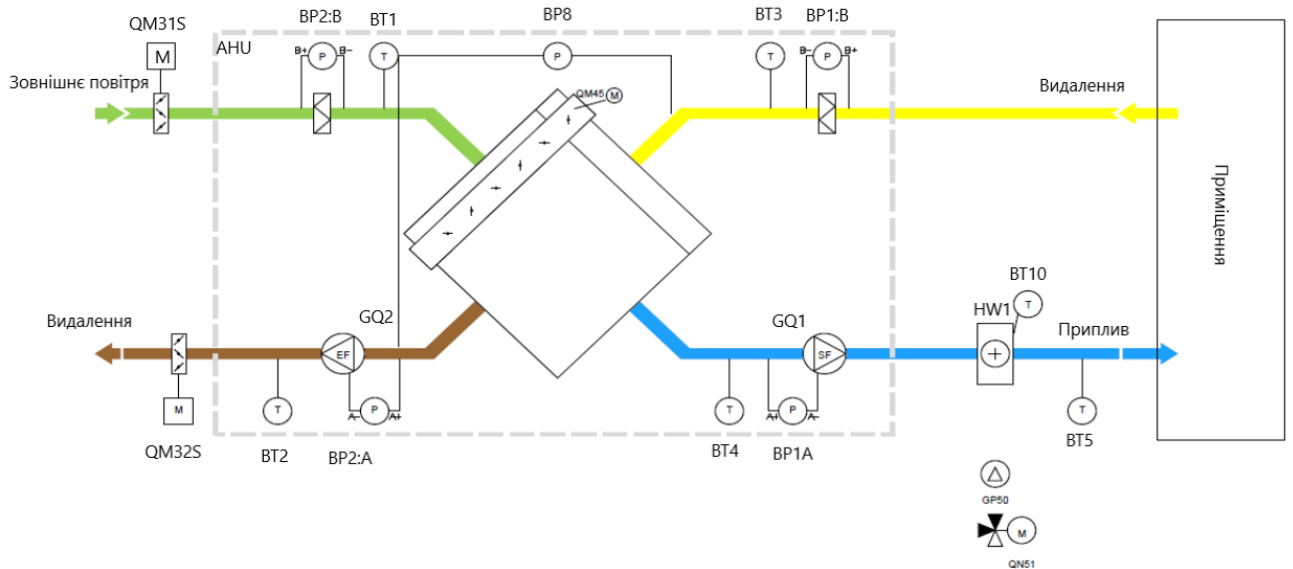


Рис.4.1. Функціональна схема автоматики припливно – витяжної установки Geniox Core 12

СПЕЦИФІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ

Позначення на схемі	Найменування
BP1:A	Датчик тиску: вентилятор припливного повітря
BP1:B	Датчик тиску: фільтр видаляемого повітря
BP2:A	Датчик тиску: вентилятор видаляемого повітря
BP2:B	Датчик тиску: фільтр припливного повітря
BP8	Датчик тиску: теплообмінник видаляемого повітря
BT1	Температурний датчик: зовнішнє повітря
BT10	Температурний датчик: захист від замерзання
BT2	Датчик температури: повітря, що видаляється

BT3	Датчик температури: повітря, що видаляється
BT4	Датчик температури: припливне повітря після рекуператора
BT5	Датчик температури: припливне повітря після нагрівача
GP50	Циркуляційний насос: нагрівач
GQ1	ЕС – вентилятор: приплив
GQ2	ЕС – вентилятор: видалення
HMI	Панель управління HMI
QM31S	Привід клапану: зовнішнє (припливне) повітря, зворотна пружина
QM32S	Привід клапану: повітря, що видаляється, зворотна пружина
QM45	Привід клапану: теплообмінник/байпас
QN51	Valve: Heater (3-port)

Загальні положення

Повітрообробний агрегат запускається в роботу на нормальній швидкості у відповідності з графіком. Під час запуску повітряний клапан зовнішнього повітря (QM31S), повітряний клапан видаляемого повітря (QM32S) , теплообмінник (VVX) запускаються і працюють на 100% впродовж часу затримки, який було задано.

Якщо температура зовнішнього повітря (BT1) стає нижчою ніж встановлена мінімальна межа нагрівач запускається в роботу при 100% режимі роботи.

У випадку зупинки роботи агрегату вентилятор видаляемого повітря (EF) та вентилятор припливного повітря (SF) зупиняються після встановленого часу затримки. Повітряні клапани зовнішнього повітря (QM31S) та повітря, яке видаляється (QM32S) закриваються.

Циркуляційний насос GP50 запускається періодично у відповідності до встановленого інтервалу і зупиняється після встановленої затримки зупинки.

Байпасна заслінка теплообмінника QM45 управляється контролером температури припливного повітря. При збільшенні потреби в опаленні заслінка байпасу теплообмінника закривається.

Регулювання температури

Температура видаляемого повітря (BT3) підтримується на рівні установки за рахунок регулювання установки температури припливного повітря між встановленим мінімальним і максимальним значеннями. Температура припливного повітря (BT5) підтримується на заданому рівні за допомогою послідовного управління. Послідовність дій при збільшенні потреб в нагріванні:

1. Теплообмінник VVX
2. Нагрівач HW1.

Управління вентилятором

Витрата припливного повітря (BP1:A) підтримується на заданому рівні за рахунок управління швидкістю вентилятора припливного повітря SF. Витрата повітря, яке видаляється, (BP2:A), підтримується на заданому рівні шляхом регулювання швидкості роботи вентилятора видаляемого повітря EF.

Захист та моніторинг

Датчик захисту від замерзання

Під час роботи вентилятора температура захисту від замерзання (BT10) підтримується вище межі тривоги за рахунок лінійного відкривання приводу клапану нагрівача QN51 у відповідності до заданої температурної різниці. Під час зупинки роботи вентилятора температура захисту від замерзання (BT10) підтримується на заданому рівні шляхом управління приводом клапану QN51. Аварійний сигнал генерується якщо температура захисту від замерзання (BT10) стає нижчою за мінімальну межу.

Розморозжування теплообмінника

Тиск з боку витяжки теплообмінника (BP8) відслідковується по розрахунковій максимальній межі, яка визначається по каліброваній операційній крапці і датчику тиску вентилятора припливного повітря BP2:A.

Коли температура зовнішнього повітря (BT1) стає нижче встановленої мінімальної межі, а тиск повітря на виході з теплообмінника (BP8) перевищує розрахункову мінімальну межу, перепускний клапан теплообмінника (QM45) повністю відкривається.

При перевищенні заданого максимального часу відтаювання байпаса або за неможливістю підтримки заданої температури припливного повітря (BT5) вентилятор припливного повітря (SF) зупиняється.

Витрата видаляемого повітря BP2:A підтримується на рівні установки відтаювання за рахунок управління швидкістю роботи вентилятора видаляемого повітря EF.

Аварійний сигнал генерується якщо тиск видаляемого повітря на виході з теплообмінника (BP8) не перевищує розрахункову кінцеву межу в продовж встановленого часу під час проведення розморожування теплообмінника.

Розрахунок ефективності

Температурна ефективність рекуператора розраховується з використанням температури зовнішнього повітря перед рекуператором (BT1), температури видаляемого повітря (BT3) і температури припливного повітря після повітрянагрівача (BT4) при 100% роботі теплообмінника.

Аварійний сигнал генерується коли температурна ефективність рекуператора стає нижчою ніж встановлена мінімальна межа в продовж встановленого часу при 100% роботі рекуператора.

Енергетичний аналіз

SFP розраховується і реєструється. До показників роботи обладнання відносяться: енергоспоживання вентилятора припливного повітря SF, енергоспоживання вентилятора видаляемого повітря EF, споживання енергії водяним нагрівачем HW1.

Пожежна сигналізація

Аварійний сигнал реєструється, якщо спрацьовує зовнішня пожежна сигналізація. Він зупиняє роботу вентиляторів припливного та видаляемого

повітря. Також закриваються повітряні клапани з боку припливу та з боку видалення.

Фільтр

Тиск фільтра припливного повітря (BP2:В) відслідковується у відповідності до розрахункової межі аварійного сигналу, який визначається максимальною межею і витратою припливного повітря (BP1:А). Аварійний сигнал генерується якщо тиск фільтра з боків припливного та видаляемого повітря перевищує розрахункову мінімальну межу.

Керування витратою

Аварійний сигнал генерується якщо витрати припливного повітря (BP1:А) та видаляемого (BP2:А) відхиляються на прийнятну величину від заданого значення.

Контроль температури припливного повітря

Аварійний сигнал генерується якщо температура припливного повітря (BT5) відхиляється від заданого значення на задану величину.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Шкідливі виробничі фактори

5.1.1. Шум

Шум - це сукупність різних за силою і частотою звуків, що заважають сприйняттю необхідних для людини сигналів. Шум несприятливо впливає на людину і може спричинити хворобливий стан, зокрема глухуватість і глухоту. Під впливом шуму у людини прискорюється пульс і дихання. Тривалий шум впливає на центральну нервову та серцево—судинну систему: з'являються симптоми перевтоми, послаблюється увага, підвищується нервова збудливість, знижується працездатність, порушується робота шлунково—кишкового тракту.

За частотою звукові коливання поділяються на три діапазони: інфразвукові з частотою менше 20 Гц, звукові — від 20 до 20000 Гц та ультразвукові — понад 20000 Гц.

Органи слуху людини сприймають звукові коливання в інтервалі частоти від 20 до 20 000 Гц та відчують зміни гучності в 1 дБ. Вухом людини сприймає шум до 130 дБ. При 150 дБ шум для людини нестерпний. При 180 дБ настає втома металу, внаслідок чого із конструкції можуть вискочити заклепки.

Нормою виробничого шуму є рівень звуку до 85 дБ. Рівень шуму до 20 дБ не заважає розбірливості мови. Із збільшенням рівня шуму до 70 дБ і вище мова стає нерозбірливою.

Шум на виробництві створюють машини, механізми, інструменти недосконалої конструкції, зі спрацьованими деталями.

Найефективнішим засобом боротьби з шумом є зниження його в джерелі створення. Для цього шумні технологічні процеси або обладнання замінюють на малошумні. Щоб зменшити шум на виробництві, використовують звуковбирання та звукоізоляцію, екранування і глушители шуму, індивідуальні засоби захисту від шуму та інше.

5.1.2. Вібрація

Вібрація - це механічні коливання твердих тіл. З фізичної точки зору між шумом і вібрацією принципової відмінності немає, але людина сприймає їх по-різному: вібрація сприймається вестибулярним апаратом та дотиком, а шум - органом слуху. Джерелом вібрації є механічні, пневматичні та електричні інструменти ударної або обертальної дії, обладнання, яке встановлено без достатньої амортизації та віброізоляції, а також транспортні та сільськогосподарські машини.

Вібрація буває загальна і місцева. За характером впливу на організм загальна вібрація передається на все тіло людини, а місцева — на руки працюючого.

Місцева вібрація викликає погіршення кровопостачання окремих органів, при загальній вібрації порушується діяльність серця та центральної нервової системи.

У разі довготривалої та інтенсивної дії вібрації може виникнути тяжке захворювання - вібраційна хвороба.

Дія вібрації залежить від її частоти. Вібрація з частотою 6 Гц резонансною для всього організму.

Людина при цьому відчуває качку, що діє на вестибулярний апарат і центральну нервову систему. За тривалої дії вібрації такої частоти може виникнути захворювання, що має назву «морської хвороби».

Резонансна частота для органів черевної порожнини (шлунок, печінка та ін.) дорівнює 7 Гц, для голови - 17-27 Гц. У зв'язку з ним коливання з частотою 5-8

Гц викликає почуття вібрації внутрішніх органів; 17-25 Гц — відчуття вібрації в зубах; 40 Гц відчуття вібрації в стопах.

Заходи боротьби з вібрацією поділяють на колективні та індивідуальні. Колективні методи — це методи зниження вібрації через вплив на джерело збудження і методи зниження вібрації на шляху її поширення. Індивідуальними заходами боротьби з вібрацією вважають використання віброзахисного взуття, прокладок, рукавиць. Засоби індивідуального захисту від вібрації:

- спеціальне віброзахисне взуття;
- рукавиці з м'якими надолонниками;

- пружнодемпфіруючі прокладки та пластини для обхвату вібруючих рукояток та деталей.

Засоби, що використовуються під час реалізації вищезгаданих методів віброзахисту, поділяються на:

- огорожувальні (захисні); віброізоляційні;
- віброгасильні й вібропоглинаючі;
- засоби автоматичного контролю, сигналізації та дистанційного керування; позначення вібруючих поверхонь знаком, або фарбою.

Захисні засоби запобігають доступу людини до ділянок, де діє вібрація. Конструктивно вони можуть бути зроблені у вигляді ґратчастих, сітчастих та непрозорих перешкод з металу, деревини тощо. Віброізоляція зменшує рівні вібрації, що передаються від джерела на тіло працюючого. Віброізоляція здійснюється уведенням між джерелом вібрації та працюючим проміжного пружного зв'язку, фундамент машин, збудований на пружних прокладках.

Вібропоглинання — це перетворення енергії механічних коливань (вібрації) в інші види енергії (теплову).

Вібропоглинання може бути здійснене використанням конструктивних матеріалів зі значним внутрішнім тертям, нанесенням на поверхню виробу шару пружнов'язких матеріалів, що мають значне внутрішнє тертя.

5.1.3 Ультрафіолетове випромінювання

Джерелами ультрафіолетових випромінювань у виробничих умовах є електродугове зварювання, плазмове обладнання, газорозрядні лампи тощо.

Біологічна дія ультрафіолетового випромінювання обумовлена хімічними змінами молекул живих клітин, які його поглинають, і виявляється в порушенні поділу та загибелі клітин. Тривалість впливу великих доз випромінювання може призвести до уражень шкіри та органів зору.

Ефективним методом захисту від ультрафіолетового випромінювання є екранування джерел випромінювання. Робочі місця огорожують ширмами, щитами.

Як засоби індивідуального захисту використовують спецодяг, спецвзуття, рукавиці, захисні окуляри та щитки із світлофільтрами.

5.1.4 Дія шкідливих речовин

За фізіологічним впливом шкідливі речовини поділяють на 5 груп:

- подразнюючі, що уражують шляхи дихання, шкіру, слизові оболонки (кислоти, луги, сірчисті сполуки, аміак тощо);

- задушливі (інертні гази, вуглекислий газ, метан, азот тощо); отрути, що призводять до уражень внутрішніх органів, кровоносних судин і нервової системи (спирти, ефіри, бензол, фенол, пил таких токсичних металів, як олово, свинець, ртуть, марганець);

- летючі наркотики, що спричинюють наркотичний вплив на організм (ацетилен, летючі вуглеводи);

- пил (інертний або той, що викликає алергічні реакції).

За ступенем впливу на організм людини шкідливі речовини поділяються на 4 класи небезпеки :

1 - й клас - надзвичайно шкідливі;

2- й клас - високошкідливі;

3- й клас - помірно шкідливі;

4- й клас - малошкідливі.

Робота в умовах запиленого повітря призводить до різних захворювань шкіри, запалення очей (кон'юнктивіту), носової та бронхіальної астми, бронхіту, катару шляхів дихання тощо, а також до тяжких професійних захворювань (силікозу) та хронічних отруєнь працюючих.

Шкідливі пара та гази, що утворюються під час технологічних процесів у виробничих приміщеннях, можуть спричинити порушення нормальної життєдіяльності організму працюючого і викликати гострі та хронічні отруєння.

Ці отруєння можуть викликати як тимчасову, так і постійну непрацездатність робітника [28].

5.2 Методи захисту від вібрацій

Заходи, щодо захисту від дії вібрації поділяють на технічні, організаційні та лікувально-профілактичні. Також вони можуть бути розподілені як колективні та індивідуальні.

До технічних заходів відносять:

- зниження вібрації в джерелі її виникнення (вибір на стадії проектування кінематичних і технологічних схем, які знижують динамічні навантаження в устаткуванні);
- зниження діючої вібрації на шляху розповсюдження від джерела виникнення (вібропоглинання, віброгасіння, віброізоляція) ;

До організаційних заходів відносять:

- організаційно- технічні (своєчасний ремонт та обслуговування обладнання за технологічним регламентом, контроль вібрації, дистанційне керування вібронебезпечним обладнанням);
- організаційне – режимні (режим праці та відпочинку, заборону залучення до вібраційних робіт осіб молодших 18 років, тощо);

До лікувально і профілактичних заходів відносяться:

- медичний огляд;
- лікувальні процедури (фізіологічні процедури, вітаміно- та фітотерапія).

Найбільш важливим напрямком захисту від вібрації є конструктивні методи зниження віброактивності машин та механізмів – зменшення діючих змінних сил у конструкції та зміна її параметрів (жорсткості, приведеної маси, сили тертя демпферного пристрою). Дані методи базуються на аналізі рівнянь, які описують коливання машин.

У випадках, коли технічними засобами не вдається зменшити рівень вібрацій до норми, передбачають забезпечення працівників засобами індивідуального захисту. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) можуть застосовуватися як для всього тіла людини, так і окремо для ніг та рук.

У якості таких засобів використовують віброізолюючі рукавиці і віброізолююче взуття, які мають пружні прокладки, що захищають працівника від впливу високочастотної місцевої вібрації. Ефективність таких рукавиць та взуття не дуже висока, тому що товщина вказаних прокладок не може бути дуже великою. Через це вони не дають помітного зменшення вібрацій на низьких частотах, а на високих (більш 100 Гц) їх ефективність зменшується за рахунок хвильових властивостей тканин людського тіла. Для зниження впливу локальної вібрації, що діє під час роботи з перфораторами та відбійними молотками використовують спеціальні пристрої до ручки керування (з елементами пружності, які згинаються, стискаються або скручуються, з телескопічними або шарнірними елементами) [29].

5.3 Індивідуальні засоби захисту від шуму

Дія шуму на людину залежить від його рівня і характеру, тривалості, індивідуального сприйняття людиною. Чуттєвість до шуму залежить також від частоти і віку людини. При частотах 16-1000 Гц чуттєвість вуха збільшується, на частотах 1000-4000 Гц людина володіє найбільшою чуттєвістю, яка зникає при частотах вище 4000 Гц. Також, починаючи з 20-річного віку, у людини губиться чуттєвість слуху.

Орган слуху людини є складною системою. У внутрішньому вусі є близько 25 000 клітин, що реагують на звук. Всього людина розрізняє 34 тисячі звуків різної частоти.

Логарифмічна шкала дозволяє визначати лише фізичну характеристику шуму. Для фізіологічної оцінки шуму використовують криві рівної гучності по частотному діапазону. Це криві отримані експериментальним шляхом за результатами дослідження властивостей органів слуху людини оцінювати звуки різної частоти по суб'єкту відчуття гучності. Рівні гучності вимірюються в фонах і на частоті 1000 Гц дорівнюють рівням звукового тиску.

Слухове поле, що сприймається вухом людини, наведено на рис. 8.1.

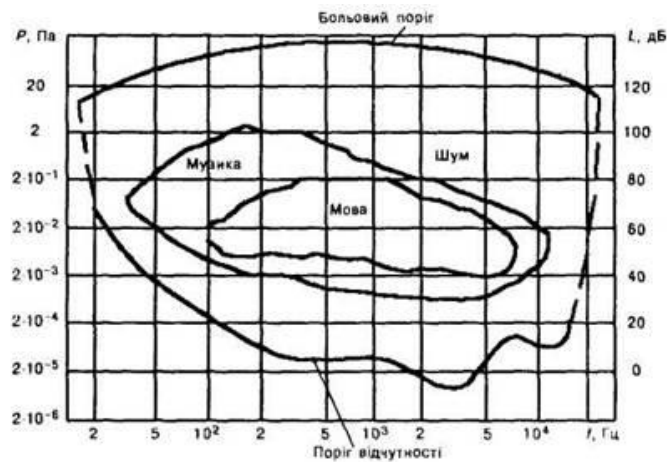


Рис.5.1. Зона слухового сприймання звуків

Орган слуху людини є складною системою. У внутрішньому вусі є близько 25 000 клітин, що реагують на звук. Всього людина розрізняє 34 тисячі звуків різної частоти.

Шкідливий вплив шуму є причиною багатьох серйозних захворювань, діючих на нервову систему. Шум викликає передчасну втому, послаблює увагу, пам'ять, заважає нормальному відпочинку та відновленню сил.

Під впливом шуму розвиваються серцево-судинні захворювання, загострюються виразкові хвороби органів травлення. Причому шумові явища володіють акумуляцією і з часом все сильніше діють на нервову систему.

Шум сприяє подразнюючому впливові на весь організм людини: вповільнює психічні реакції, викликає роздратування, змінює швидкість дихання і частоту пульсу, порушує обмін речовин.

Для зменшення негативного впливу шуму на організм людини застосовують як загально технічні методи зниження шуму, так і індивідуальні засоби захисту.

У разі, якщо зменшити шум до допустимої величини загальнотехнічними заходами неможливо, застосовують ЗІЗ, а саме:

- вкладиші протишумні з матеріалу ФПП-Ш. Беруши для захисту від високочастотного шуму із рівнем до 100 дБ;
- протишумні заглушки Антифони;

- каска протишумна ВЦНІОТ-2; навушники протишумні ПШ-00 тощо. Навушники мають найбільшу ефективність особливо в області високих частот. Але вони не дуже зручні в експлуатації. Тому їх частіше використовують в тих випадках, коли потрібно періодичне використання;

- вкладиші, які виготовлені з перхлорвінілу типу ФПП, найбільш зручні; завдяки еластичній структурі та малому діаметру волокон вони не руйнують шкіру зовнішнього слухового каналу. Такі вкладиші еластичні і заповнюють слуховий канал і не здійснюють неприємної дії на нього [30].

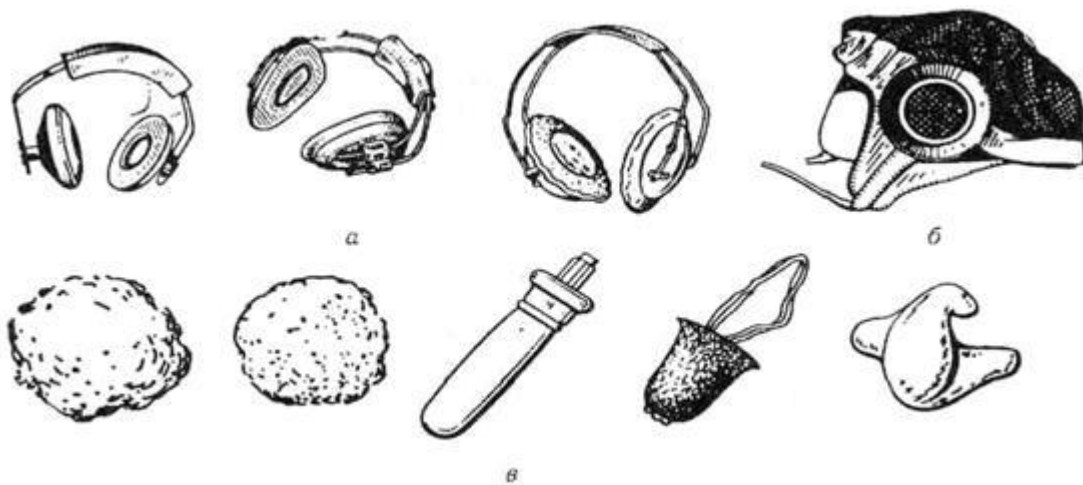


Рис.5.2. Засоби індивідуального захисту органів слуху:

а – навушники; б – шумозаглушувальний шолом; в – протишумові вкладиші

5.4 Індивідуальні засоби захисту органів дихання

Захист органів дихання здійснюється за допомогою протигазів та це засіб захисту, що надягається на тіло працівника або його частину, або використовується під час праці. ЗІЗ застосовують тоді, коли безпека робіт не може бути забезпечена конструкцією та розміщенням устаткування, організацією виробничих процесів, архітектурно-планувальними рішеннями та іншими засобами колективного захисту.

Відповідно до Закону України «Про охорону праці» на роботах із шкідливими та небезпечними умовами праці, в особливих температурних умовах, у забрудненому

середовищі робітникам та службовцям безплатно видається спецодяг, спецвзуття та інші засоби індивідуального захисту.

Захист органів дихання здійснюється за допомогою протигазів та респіраторів. За принципом дії протигазів поділяються на фільтрувальні та ізолювальні. Фільтрувальні протигазів подають у зону дихання очищене повітря із робочої зони, а ізолювальні.

Захист органів дихання здійснюється за допомогою протигазів та повітря із спеціальних ємкостей або чистого середовища, що знаходиться поза робочою зоною. Принцип захисної дії фільтрувальних протигазів заснований на очищенні забрудненого повітря з робочої зони за допомогою фільтрувально-поглинальної коробки. Працювати у такому протигазі більше 3 годин протягом робочого дня не допускається. У випадку наявності в повітрі невідомих речовин (більше 0,5% за об'ємом), а також при зменшеному вмісті кисню (менше 18% при нормі 21%) застосовувати фільтрувальні протигазів не можна. В таких випадках, а також при роботі у колодязях та ємкостях застосовують лише ізолювальні протигазів: шлангові, у яких подача повітря для дихання здійснюється з чистої зони шлангом, або автономні, які підрозділяються на резервуарні та генераційні.

Респіратор – полегшений засіб захисту органів дихання від шкідливих газів, парів, аерозолів, пилу. Він, як правило, складається з двох елементів: півмаски, що ізолює органи дихання від забрудненої атмосфери, та фільтрувальної частини. За призначенням респіратори поділяються на протигазові, протипилові та універсальні.



Рис. 5.3. Респіратори:

А – «Лепесток»; б – РУ-60; в – Ф-62Ш; г – У-2к

Найбільш часто застосовуються: протипилові респіратори ШБ-1 «Лепесток» (вітчизняний аналог «Росток»), У-2к, Ф-62Ш; протигазовий – РПГ-67; універсальний – РУ-60МУ (вітчизняний аналог «Тополя») [31].

РОЗДІЛ 6

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

6.1. Енергозбереження як напрямок розвитку

Енергозберігаючі технології – комплекс заходів, спрямованих на більш ефективне і раціональне використовувати енергетичні та паливні ресурси. Енергозберігаючі технології реалізуються з метою економії теплової енергії, електричної енергії, води палива, поновлюваних джерел енергії.

Енергозберігаючі технології спрямовані як на досягнення економічної ефективності, рентабельності виробництва, так і на зменшення впливу на навколишнє середовище. До основних енергозберігаючих технологій відносять використання енергозберігаючого обладнання (енергозберігаючі лампи, енергоефективні електроприлади тощо), управління електроенергією будинку за допомогою системи «розумний дім», утеплення будинку. Слід впроваджувати при відповідному науковому та економічному обґрунтуванні нові енергозберігаючі технології.

Енергозбереження, спрямоване на збереження енергії, відрізняється від енергоефективності, спрямованої на корисне витрачання енергії з максимальною ефективністю. Енергозбереження - реалізація організаційних, правових, технічних, технологічних, економічних та інших заходів, спрямованих на зменшення обсягу використовуваних енергетичних ресурсів при збереженні відповідного корисного ефекту від їх використання (в тому числі обсягу виробленої продукції, виконаних робіт, наданих послуг).

Енергозбереження – це будь-яка активність, спрямована на зменшення обсягу використання енергетичних ресурсів без шкоди для основної функції їхнього застосування.

Основні загальні принципи енергозбереження:

- використання альтернативних відновлюваних джерел енергії,
- використання вторинних енергетичних ресурсів,

- застосування неенергоємних технологій та обладнання,
- вживання заходів щодо раціонального використання наявних енергоресурсів,
- проведення оцінки економічної доцільності застосування будь-яких енергозберігаючих технологій і рішень [32].

6.2. Основні напрямки енергозбереження в системах мікроклімату

Під енергозбереженням розуміють реалізацію комплексу мір або дій, що вживаються для забезпечення більше ефективного використання енергетичних ресурсів, наприклад, заходів, спрямованих на досягнення економії палива та енергії, раціональне їх застосування, заміщення дефіцитних і дорогих енергоресурсів і енергоносіїв іншими, більше доступними та дешевими.

Міри можуть носити пасивний (наприклад, теплоізоляція), активний (утилізація скидної теплоти) або організаційний (заміна одного виду енергоносія іншим, більш ефективним) характер. Тому основними напрямками в енергозбереженні можна назвати:

- зниження втрат теплоти огорожувальними конструкціями будівель, трубопроводами за рахунок застосування теплоізоляційних матеріалів;
- програмне управління опаленням і кондиціонуванням повітря;
- регулювання навантаження в системах опалення та вентиляції;
- заміну енергоємних технологій енергозберігаючими (наприклад, застосування автономного теплопостачання);
- вторинне використання тепла (наприклад, вентиляційного повітря). Серед цих мір є ті, які вже сьогодні бути впроваджені зі значним енергозберігаючим ефектом:
 - регулюючі пристрої;
 - прилади обліку і нормування;
 - застосування нових матеріалів і технологій для теплової ізоляції;
 - використання вторинних енергоресурсів;

- енергоаудит і енергоекспертиза;
- децентралізація теплопостачання й т.д.

6.3. Методи модернізації систем опалення будівель

Старі, зношені системи опалення – один із визначальних факторів зниження енергоефективності будівель. Модернізація застарілих опалювальних систем дає можливість значно зменшити витрати на енергоресурси для обігрівання будинків. Але перш ніж її розпочинати, необхідно обстежити системи опалення загалом та її елементи з одночасним визначенням величин тепловтрат зовнішніх стін будинку.

Покращити енергоефективність системи опалення будівлі можна під час виконання такої послідовності заходів з енергозбереження, як:

- термореновація будинку – заходи із додаткового утеплення зовнішніх стін; установлення сучасних вікон; ущільнення вхідних і балконних дверей;
- модернізація джерела тепла – встановлення в тепловому вузлі регулювальної автоматики (за технологією індивідуального тепlopункту), що дає можливість регулювати температуру теплоносія залежно від температури довкілля з обов'язковим установленням лічильника теплової енергії, а це дасть можливість контролювати витрату тепла в будинку; встановлення регуляторів тиску, які утримують на необхідному для вузла і теплообмінника рівні тиск на подавальному і зворотному трубопроводах; установлення регулятора витрати теплоносія залежно від режиму теплоспоживання; використання очисних фільтрів;
- ліквідація корозії та інкрустації – використання труб із полімерів; виконання хімічного промивання системи;
- герметизація та модернізація системи – встановлення напірного розширювального бачка; використання безсальникових насосів; установлення регуляторів витрати на стояках, щільних відсікальних кульових кранів;
- модернізація або заміна приладів опалення;
- встановлення сучасних контрольно-вимірювальних приладів із

можливістю дистанційного передавання інформації [33].

6.4. Періодичний режим роботи системи опалення

Періодичний режим роботи системи опалення застосовують у виробничих, цивільних, навчальних, спортивних, торгівельних, адміністративних будинках. Цей метод скорочення енергоспоживання має місце в тих випадках, коли будівля використовуваних для роботи неповну добу або впродовж окремих днів тижня, у яких допускається зниження температури усередині приміщень у неробочий час. У режимі роботи системи опалення протягом доби спостерігаються три характерних проміжки часу:

- основний робочий режим, коли в приміщенні підтримуються задані параметри температури і вологості;
- черговий режим, коли після основного режиму система опалення переводиться на режим підтримки зниженої температури в приміщенні;
- режим форсованого нагрівання приміщення, протягом якого система опалення переводиться на можливо швидкий розігрів приміщення після охолодження.

У приміщеннях спостерігається і тижневий цикл, коли у вихідні та святкові дні протягом повної доби може підтримуватися черговий режим опалення і знижена температура в приміщенні. Для підтримки чергового режиму використовується водяне опалення, що виконує функцію підтримки мінімального рівня температури. Але в результаті деякого охолодження приміщення знижується не тільки температура внутрішнього повітря, але й температура огорожуючих конструкцій.

Нагрівання огорожень і внутрішнього повітря до початку нового робочого дня вимагає часу і додаткової потужності. Тривалість і темп нагрівання приміщення залежать від:

- термічного опору зовнішніх огорожень, що впливає на зниження температури в неробочий час;

- теплової активності огорожуючи конструкцій до теплового впливу;
- інтенсивності тепловіддачі від джерела системи опалення до внутрішнього повітря приміщень і від повітря до поверхні огорожень;
- температурного напору в черговому і робочому режимах, а також перепаду температур зовнішнього повітря. Нагрівання приміщень повинно здійснюватися форсовано з високим темпом, з більшою потужністю, на відміну від опалення в робочому режимі, тому що теплота в режимі нагрівання витрачається на заповнення теплових втрат і розігрів огорожень і повітря до необхідного рівня.

Найбільш гнучким режимом експлуатації служить комбінована система опалення. Вона складається з базової системи водяного опалення та додаткової системи повітряного опалення. Повітряне опалення об'єднується з припливною вебнтиляцією і у режимі форсованого нагрівання працює в режимі повної рециркуляції повітря.

Робота систем періодичного опалення піддається автоматизації й програмному керуванню підтримки розрахункового режиму. На випадок несподіваного різкого зниження температури зовнішнього повітря в контрольних приміщеннях установлюють датчики припустимої мінімальної температури внутрішнього повітря. По сигналі від них включається система опалення в додатковому режимі. Економія енергії тим більше, ніж триваліше період охолодження. Для зменшення тривалості форсованого нагрівання варто збільшити теплотривкість огорожень, максимально інтенсифікувати тепловіддачу до огорожень, застосовуючи, наприклад, спрямовані струмені повітряного опалення або використовуючи джерела променистої енергії (випромінювачі), спрямовані на огороження.

6.5. Опалення приміщень теплотою рециркуляційного повітря

Теплоту рециркуляційного повітря рекомендується використовувати для виробництв, у яких допускається рециркуляція повітря, а також при температурі повітря у верхній зоні більше 30 °С и подачі повітря на відстань не більше 15 м.

Нагріте повітря забирається з верхньої зони виробничого приміщення, очищається від пилу й вентилятором по повітропроводах нагнітається в припливний насадок (циліндричної або щілинної форми). Енергозбереження забезпечується за рахунок утилізації теплоти повітря, що видаляється [34].

6.6. Вплив систем вентиляції на енергоспоживання будівлі

Вентиляція може споживати від 20% до 50% загальної енергії, яке споживає будівля. Свіже повітря, яке надходить ззовні, потребує підігріву в холодну пору року або охолодження в теплу. Крім того, вентилятори, які використовуються для переміщення повітря, можуть споживати достатньо велику кількість енергії за добу. Наприклад, для вентиляції деяких виробничих потужностей така кількість може досягати десятків кіловат за одну годину.

Основні фактори, які впливають на енергоспоживання вентиляції:

- обсяг повітрообміну: чим більший об'єм повітря потрібно підігріти чи охолодити, тим більше енергії на це витрачається;
- температурна різниця між внутрішнім та зовнішнім повітрям: чим більша різниця, тим більше енергії потрібно для підігріву або охолодження;
- застаріле обладнання: старі або неефективні системи можуть споживати більше енергії, ніж сучасні енергоефективні аналоги.
- нераціональні режими роботи: постійна робота системи на максимальній потужності без урахування реальної потреби призводить до перевитрат.

Зниження рівня енергоспоживання системи можна за рахунок використання енергоефективних систем вентиляції:

- вентиляторного обладнання з ЕС – двигунами;
- припливно – витяжних установок з рекуперацією теплоти видаляемого повітря.

Реалізація в межах об'єкту енергоефективних систем вентиляції дає можливість:

- зменшити витрати на опалення на охолодження. Енергоефективна

вентиляція дозволяє суттєво знизити витрати на опалення та охолодження будівлі. Використання сучасних технологій, таких як рекуперація тепла, забезпечує повторне використання енергії відпрацьованого повітря для підігріву або охолодження свіжого припливного повітря. Це означає, що система використовує менше енергії для підтримання комфортної температури в приміщенні. Наприклад, в холодну пору року рекуператор передає до 90% тепла від витяжного повітря до припливного, що зменшує навантаження на систему опалення. Влітку аналогічний процес допомагає знизити температуру припливного повітря, зменшуючи витрати на кондиціонування.

- підвищення комфорту мешканців. Такі системи не лише економлять енергію, але й підвищують комфорт мешканців. Сучасні системи оснащені інтелектуальними датчиками, які контролюють рівень вологості, температури, концентрації CO₂ та інших параметрів якості повітря. Це дозволяє автоматично регулювати інтенсивність вентиляції відповідно до реальних потреб. Мешканці або працівники відчують себе більш бадьорими, покращується концентрація та загальне самопочуття. Крім того, низький рівень шуму енергоефективних вентиляторів забезпечує додатковий комфорт, особливо в нічний час.
- подовження терміну служби обладнання. Сучасні системи сприяють подовженню терміну служби вентиляційного обладнання. Оптимізовані режими роботи та плавне регулювання швидкості вентиляторів зменшують знос механічних та електричних компонентів. Використання якісних матеріалів та технологій, таких як ЕС-двигуни, підвищує надійність та довговічність системи. Інтелектуальні системи керування запобігають перевантаженням та критичним режимам роботи, своєчасно сигналізуючи про необхідність обслуговування чи заміни фільтрів. Це дозволяє уникнути несподіваних поломок та забезпечити стабільну роботу вентиляції протягом багатьох років .

6.7. Підвищення енергетичної ефективності вентиляторних установок

В системах вентиляції основним енергоспоживаючим обладнанням є вентилятори (електрична енергія) та калорифер (електрична енергія або тепла). Проведені дослідження показали, що більшість вентиляторних установок мають ККД значно нижчий від норми (0,6, а в деяких випадках – 0,3–0,4). Лише 22 % вентиляторів працюють у зоні економічного використання. Фактично питома витрата потужності в 1,5–2 рази перевищує припустиму величину, а загальна вартість перевитрати електроенергії приводами головних вентиляторів становить четверту частину витрат електроенергії всіма установками за 1 рік.

Це пояснюється тим, що більшість вентиляторів експлуатується поза зоною економічної роботи, тобто режим роботи вентиляторів не відповідає параметрам вентиляційних мереж (невідповідність фактичних значень еквівалентних отворів вентиляційних напрямків шахт їх проєктним значенням; наявність великих підсмоктувань повітря з поверхні через зону обвалювання і надшахтні споруди; обладнання вентиляторів нерегульованим приводом тощо).

Причиною низьких енергетичних показників вентиляторів є:

- змінний аеродинамічний опір мережі в процесі розроблення шахтного поля. Вентилятор вибирають на максимальні значення подачі й тиску, що досягаються лише через кілька років роботи. Тому вентилятор тривалий час працює в режимах, відмінних від розрахункового;
- відмінність реальних величин параметрів вентиляції від розрахункових призводить до того, що фактичний режим роботи вентилятора значно відрізняється від розрахункового.

Шляхи економії електроенергії у вентиляторних установках наступні:

- узгодження режиму роботи вентилятора з характеристикою вентиляційної мережі;
- підвищення ККД вентиляційної мережі;
- підвищення експлуатаційного к. к. д. вентиляторних установок;
- регулювання продуктивності вентиляторних установок.

Робоча точка вентилятора визначається як точка перетину напірної характеристики вентилятора з характеристикою вентиляційної мережі. Вона повинна лежати на стійкій частині характеристики вентилятора і бути по можливості ближче до точки, що відповідає максимальному к. к. д. вентилятора. Якщо має місце неефективна робота вентилятора, то робочу точку можна перемістити в зону економічної роботи як за допомогою зміни робочих параметрів вентилятора, так і зміною характеристики вентиляційної мережі. Визначати робочу точку вентилятора при уточненні характеристики вентиляційної мережі необхідно не рідше ніж один раз на півріччя.

Підвищення к. к. д. вентиляційної мережі забезпечується за рахунок зниження підсмоктувань (витоків) повітря через надшахтні споруди і канали вентилятора та зниженням опору вентиляційної мережі.

Підвищення експлуатаційного ККД вентиляторних установок досягається:

- вимкненням осьового вентилятора з переверненим колесом;
- забезпеченням нормативних зазорів робочого колеса;
- наявністю обтічника перед входом робочого колеса осьового вентилятора;
- забезпеченням нормативних параметрів дифузора на виході осьового вентилятора;
- точною установкою лопаток напрямного апарата;
- експлуатаційними змінами параметрів робочих коліс слабозавантажених двоступеневих осьових вентиляторів;
- підвищенням активного навантаження двигуна вентилятора [33].

ЛІТЕРАТУРА

1. Arashi N. Evaluation of energy use in district heating and cooling plant using sewage and one using air as heat source./ N. Arashi, A. Inaba // Journal of Japan Institute of Energy. -2000. –pp, 446-454.
2. Безродний М. К. Термодинамічна та енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання: монографія / М. К. Безродний, Н. О. Притула// НТУУ «КПІ» Вид-во «Політехніка». - 2016. – С. 44-165.
3. Rey D. Heat pump./ D. Rey, D. Makmail - М.:Energoizdat,- 1982. –pp. 128-155.
4. Godard O. Temperatures in the soil in Belgium and in Luxembourg / O. Godard, H. Poppe // Meteorology and Earth Sciences. – 1978. - №9. – pp 28-61.
5. Інтернет-ресурс: www.weatherspark.com
6. Горшков В.Г. Тепловые насосы. Аналитический обзор / В.Г. Горшков // Справочник промышленного оборудования. -2004. - №2. - С. 47-80.
7. European Parliament. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC. Off J Eur Union 2012;14/11/2012:1–56. doi:10.3000/19770677.L_2012.315.eng (2012).
8. M. Bojić, D. Cvetkovic, J. Skerlić, D. Nikolić, H. Boyer. Performances of Low Temperature Radiant Heating Systems. Second Int. Conf. Build. Energy Environ. COBEE. 2012. Pp. 1–10.
9. A. Mardiana-Idayu, S. B. Riffat. Review on heat recovery technologies for building applications. Renew. Sustain. Energy Rev. vol. 16, 2012. Pp. 1241–1255.
10. J. Wallin, H. Madani, J. Claesson. Run-around coil ventilation heat recovery system: A comparative study between different system configurations. Applied Energy. vol. 90, 2012. Pp. 258–265.

11. M. Thalfeldt, J. Kurnitski, E. Latõšov. The Impact of Parallel Energy Consumption on the District Heating Networks. *Appl. Therm. Eng.* vol. 128, 2018. Pp. 402–414.
12. Bronicki L. Rankine cycle configurations for utilization of low temperature heat sources. In: Proc. 9th biennial ASME conf. On engineering systems design and analysis, July 7-9. Haifa, Israel, 2008.
13. Allouhi A., El Fouih Y., Kousksou T., et al. Energy consumption and efficiency in buildings: Current status and future trends. *J. Clean. Prod.*, vol. 109, 2015. Pp. 118–130. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.139>.
14. Мацевітий Ю. М. Про раціональне використання теплонасосних технологій в економіці України / Ю. М. Мацевітий, Л. С. Богданович, А. С. Клепанда // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2007. – № 3. – С. 20-31.
15. Rezaie B., Rosen M., et al. District heating and cooling: review of technology and potential enhancements. *Applied Energy*, vol. 93, 2012. Pp. 2–10.
16. Redko A., DiPippo R. *Low-Temperature Energy Systems with Applications of Renewable Energy*. Academic Press. 2019.
17. Белова Є. Центральні системи кондиціонування повітря в будівлях. Євроклімат. 2006.
18. Мацевітий Ю. М., Чіркін Н. Б., Богданович Л. С. та ін. Впровадження теплонасосних технологій / Ю. М. Мацевітий, Н. Б. Чіркін, Л. С. Богданович, А. С. Клепанда // Екотехнології та ресурсозбереження. – 2008. – № 3. – С. 4-10.
19. Припливно – витяжні установки з вбудованим тепловим насосом і роторним рекуператором. Каталог продукції. VENTS. 21 с.
20. ДСТУ-Н Б В.1.1 – 27:2010 «Будівельна кліматологія». – К.: Мінрегіонбуд, 2010. – 123 с.
21. ДБН В. 2.5 – 67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування». – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово – комунального господарства України, 2013. – 113 с.

22. Методичні вказівки «Визначення теплової потужності системи опалення» для студентів спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія.» (спеціалізація «Теплогазопостачання і вентиляція»)/ Уклад.: О.П.Любарець, М.П.Сенчук, В.О.Любарець. – К.: КНУБА, 2016. – 34с.
23. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель». – К. :Міністерство розвитку громад та територій, 2022. – 27 с.
24. Каталог продукції «PURMO» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.purmo.com.ua/>
25. ДБН В.2.2-9-2018 «Громадські будівлі та споруди». – К : Мінрегіонбуд, 2009. - 51 с.
26. Зінич П.Л. Вентиляція громадських будівель :навчальний посібник Для студ. вищ. навч.закл. / П.Л. Зінич; Київськ. нац.. ун-т буд-ва і архіт. – К.: 2002, 255 с.
27. Автоматизація та диспетчеризація [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://a-air.com.ua/ua-avtomatika-k-oborudovaniyu/>
28. Винокурова Л. Е., Васильчук М. В., Гаман М. В. Основи охорони праці: Підручн. для проф.-техп. навч. закладів. – 2-е вид., допов., перероб.— К. : Вікторія, 2001. 192 с.
29. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. - К.: Основа, 2006 - 448 с.
30. Індивідуальні засоби захисту від шуму [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/
31. Засоби індивідуального захисту [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/ml
32. Олійник Ю.С. Аналіз використання енергозберігаючих технологій / Ю.С. Олійник. // Енергетика. – 2022. - №4, том 33 (72). – С. 167-171.

33. Енергоефективні технології : навчальний посібник / А. С. Мандрика та ін. ; за заг. ред. А. С. Мандрики. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 330 с.
34. Енергоефективна вентиляція: рішення для зменшення енергоспоживання.
URL : https://vents-shop.com.ua/statti-pro-ventilyaciyu-uk/energoefektivna-ventilyaciya/?srsltid=AfmBOopicQPGGxKMecEpKFR6Y8ZtAcaz5xTFY__zN8toMXhwAE4hGFdQ