

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра холодильних установок і кондиціонування повітря



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА

На тему «Дослідження енергоефективності системи системи кондиціонування та фільтрації повітря методом ексергетичного аналізу реабілітаційного центру м. Одеса»

Здобувача Гітрука М.А.

2 курсу групи ХМ161МН

Керівник к.т.н.доц. Когут В. О.

Консультанти к.т.н.доц. Жихарєва Н.В.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 28.05.26 протокол № 10

Завідувач кафедри ХУКП _____ Михайло ХМЕЛЬНЮК

Одеса – 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра	<u>Холодильних установок і кондиціонування повітря</u>
Освітній ступень	<u>Магістр</u>
Спеціальність	<u>142 «Енергетичне машинобудування»</u>
Освітньо- наукова програма	<u>Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря програма</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри д.т.н., проф.
Хмельнюк М.Г.

«20» листопада 2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Гітрук Максим Анатолійвич
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: « Дослідження енергоефективності системи кондиціонування та фільтрації повітря методом ексергетичного аналізу реабілітаційного центру м. Одеса».

Затверджена наказом академії від 30.01.2025 наказ № 51-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи: 28.05.2026 р.

3. Вихідні дані роботи: м. Одеса, реабілітаційний центр м.Одеса, температура повітря в приміщенні в літку 22 ° С, відносна вологість 50% температура повітря в приміщенні в зимку 22 ° С, температура зовнішнього повітря 28,6 °С.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: розрахунок процесів кондиціонування повітря, розрахунок ефективності, обґрунтування вибору обладнання, підбір обладнання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): актуальність теми, мета роботи та задачі дослідження, методи дослідження

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н.доц. Жихарєва Н.В.	30.01.2025	14.05.2026

7. Дата видачі завдання: 30.01.2025

Керівник _____ Когут В. О.
Завдання прийняв до виконання _____ Гітрук М.А.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вступ.	27.03-03.04	Виконано
2.	Особливості формування мікроклімату у приміщеннях громадських та медичних будівель	04.04-10.04	Виконано
3.	Оптимізація системи підтримання умов мікроклімату	11.04-18.04	Виконано
4.	Опис та розрахунково-енергетична модель повітроохолоджувача системи кондиціонування	18.04-23.04	Виконано
5.	Підбір та обґрунтування обладнання системи кондиціонування та фільтрації повітря	23.04-07.05	Виконано
6.	Охорона праці та безпека в системах вентиляції та економічна частина.	06.05-17.05	Виконано
7.	Висновки.	18.05-31.05	Виконано

Здобувач – дипломник _____ Гітрук М.А.
Керівник роботи _____ Когут В.О.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник _____ Гітрук Максим Анатолійович _____

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра Гітрука Максима Анатолійовича під назвою «Дослідження енергоефективності системи кондиціонування та фільтрації повітря методом ексергетичного аналізу реабілітаційного центру м. Одеса» включає 89 сторінок тексту, 5 рисунків, 1 блок-схема та 23 літературних джерел.

У роботі досліджується система кондиціонування та фільтрації повітря, а також забезпечення оптимального мікроклімату в приміщеннях реабілітаційного центру. Розглянуто теоретичні основи формування комфортних та безпечних умов повітряного середовища. Здійснено розрахунок основних параметрів і характеристик систем кондиціонування та очищення повітря. Проведено підбір відповідного обладнання.

Розроблено термoeкономічну модель системи кондиціонування повітря, в якій температурні та енергетичні параметри теплообмінних процесів розглядаються як взаємопов'язані змінні. На підставі розробленої ексергетичної моделі виконано оптимізацію режимів роботи системи кондиціонування та фільтрації повітря реабілітаційного центру.

Також розроблено методику розрахунку систем фільтрації та очищення повітря і проведено їх експериментальний аналіз.

Ключові слова: кондиціонування повітря, фільтрація повітря, ексергетичний аналіз, мікроклімат, реабілітаційний центр.

ANNOTATION

The Master's qualification thesis by Hitruk Maksym Anatoliiovych entitled “Investigation of the energy efficiency of air conditioning and air filtration systems using the exergy analysis method for a rehabilitation center in Odesa” comprises 89 pages of text, 5 figures, 1 Flowchart, and 23 references.

The work investigates air conditioning and air filtration systems, as well as the maintenance of an optimal microclimate in the premises of a rehabilitation center. The theoretical foundations for ensuring comfortable and safe indoor air conditions are considered. The main parameters and characteristics of air conditioning and air purification systems are calculated, and appropriate equipment is selected.

A thermoeconomic model of the air conditioning system has been developed, in which the temperature and energy parameters of heat exchange processes are treated as interdependent variables. Based on the developed exergy model, optimization of the operating modes of the air conditioning and air filtration systems of the rehabilitation center has been carried out.

In addition, a method for calculating air filtration and purification systems has been developed, and an experimental analysis has been conducted.

Keywords: air conditioning, air filtration, exergy analysis, microclimate, rehabilitation center

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1. Особливості формування мікроклімату у приміщеннях громадських та медичних будівель	14
1.1 Особливості формування мікроклімату у приміщеннях реабілітаційних центрів	14
1.2 Огляд систем кондиціонування та фільтрації повітря у медичних та реабілітаційних закладах	15
1.3 Поняття про вентиляцію в реабілітаційних центрах та технологічні процеси	17
1.4. Ексергетичний аналіз систем кондиціонування та фільтрації повітря.....	19
1.4.1. Поняття та суть ексергетичного аналізу	19
1.4.2. Цілі та завдання ексергетичного аналізу	20
1.4.3. Відмінності від традиційного енергетичного аналізу	21
1.4.4. Методи проведення ексергетичного аналізу	21
1.4.5. Переваги застосування ексергетичного аналізу	22
1.4.6. Актуальність ексергетичного аналізу для реабілітаційного центру м. Одеса.....	22
1.4.7. Особливості застосування в реабілітаційному центрі м. Одеса.....	23
2. Оптимізація системи підтримання умов мікроклімату	24
2.1 Комплексна модель оптимізації системи підтримки мікроклімату реабілітаційного центру.....	24
2.2 Аналіз енергетичних потоків у системі кондиціонування та фільтрації повітря	27
2.3 Ексергетичний аналіз системи кондиціонування та фільтрації повітря.....	29
2.3.1 Загальні положення.....	29
2.3.2 Вихідні дані для розрахунку	29
2.3.3 Перехід до абсолютної температури.....	30
2.3.4 Питома ексергія повітря	30
2.3.5 Ексергія внутрішнього повітря	30
2.3.6 Ексергія зовнішнього повітря	31
2.3.7 Ексергетичні потоки системи	31
2.3.8 Втрати ексергії в системі.....	31
2.3.9 Аналіз результатів	32
2.3.10 Висновки до розділу	32
2.4 Оптимізація повітроохолоджувачів та елементів системи кондиціонування реабілітаційного центру.....	32
2.4.1 Загальні положення.....	32
2.4.2 Структура енергетичних втрат системи	33
2.4.3 Прийняті розрахункові дані	33

2.4.4	Перехід до абсолютної температури	34
2.4.5	Питома ексергія повітря	34
2.4.6	Аеродинамічні елементи системи (змішувальна камера, повітроводи, повітророзподільники).....	35
2.4.7	Система фільтрації та вентиляційне обладнання.....	36
2.4.8	Теплообмінні апарати системи кондиціювання (повітроохолоджувач, повітронагрівач, рекуператор)	36
2.4.9	Зведена таблиця ексергетичних втрат.....	37
2.4.10	Аналіз результатів	38
2.5	Рекомендації щодо підвищення енергоефективності системи кондиціювання та фільтрації повітря	38
2.5.1	Загальні положення	38
2.5.2	Основні напрями підвищення енергоефективності.....	38
2.5.3	Очікуваний ефект від впровадження заходів	39
2.6	Оцінка ефективності впровадження заходів з підвищення енергоефективності	40
2.6.1	Загальні положення	40
2.6.2	Вихідні дані для оцінки	40
2.6.3	Розрахунок нових ексергетичних втрат	40
2.6.4	Економія ексергії.....	40
2.6.5	Підвищення ексергетичної ефективності	41
	До впровадження заходів:	41
2.6.6	Аналіз результатів	41
2.6.7	Висновки до розділу	42
3.1	Опис та розрахунково-енергетична модель повітроохолоджувача системи кондиціювання.....	43
3.1.1	Функціональне призначення повітроохолоджувача.....	43
3.1.2	Розрахункова схема процесу	43
3.1.3	Визначення масової витрати повітря	44
3.1.4	Тепловий баланс повітроохолоджувача.....	44
3.1.5	Енергетичний потік у системі.....	45
3.1.6	Попередня оцінка ексергетичних втрат	45
3.1.7	Роль системи фільтрації у енергетичному балансі	46
3.2	Аналіз ефективності роботи повітроохолоджувача та напрямки його оптимізації.....	47
3.2.1	Загальні положення.....	47
3.2.2	Температурна ефективність повітроохолоджувача.....	47
3.2.3	Коефіцієнт теплопередачі	48
3.2.4	Логарифмічний температурний напір.....	49
3.2.5	Ексергетична ефективність повітроохолоджувача.....	49
3.2.6	Аналіз причин втрат ефективності.....	50

3.2.7 Основні напрямки оптимізації.....	50
3.2.8 Висновки до підрозділу	51
3.3 Оптимізація режимів роботи повітроохолоджувача та системи фільтрації.....	51
3.3.1 Загальні положення.....	51
3.3.2 Критерій оптимізації.....	52
3.3.3 Оптимізація витрати повітря.....	52
3.3.4 Оптимізація температурного режиму	53
3.3.5 Оптимізація системи фільтрації	53
3.3.6 Сумарний ефект оптимізації	54
3.3.7 Фізичний аналіз результатів	55
3.3.8 Висновки до розділу	55
3.4 Висновки до розділу та постановка задачі підбору обладнання.....	55
4 Підбір та обґрунтування обладнання системи кондиціонування та фільтрації повітря	57
4.1 Загальні принципи підбору обладнання	57
4.1.1 Вихідні дані для підбору	57
4.1.2 Основні критерії підбору обладнання.....	57
4.1.3 Принцип комплексного підбору.....	58
4.1.4 Врахування енергоефективності при підборі.....	58
4.1.5 Підхід до вибору реального обладнання	59
4.2 Підбір повітроохолоджувача системи кондиціонування з урахуванням енергетичних параметрів.....	59
4.2.1 Вихідні дані для підбору	59
4.2.3 Вибір типу повітроохолоджувача.....	60
4.2.4 Підбір реальної моделі.....	60
4.2.5 Інженерний аналіз вибору.....	61
4.3 Підбір повітряних фільтрів системи кондиціонування.....	61
4.3.1 Загальні положення.....	61
4.3.2 Вихідні дані для підбору	61
4.3.3 Розрахунок потужності вентилятора з урахуванням фільтрів	62
4.3.4 Вибір схеми фільтрації	62
4.3.5 Підбір обладнання.....	62
4.3.6 Перевірка сумарного опору.....	63
4.3.7 Енергетичний аналіз впливу фільтрації.....	64
4.3.8 Рекомендації щодо оптимізації.....	64
4.3.9 Висновки до підрозділу	64
4.4 Підбір вентилятора системи кондиціонування	64
4.4.1 Вихідні дані для підбору	64
4.4.2 Розрахунок необхідної потужності вентилятора	65

4.4.3 Вибір типу вентилятора.....	65
4.4.4 Підбір реальної моделі.....	65
4.4.5 Перевірка відповідності.....	66
4.4.6 Енергетичний аналіз вибору	66
4.4.7 Висновки до підрозділу	67
4.5 Підбір холодильного агрегату (чилера) системи кондиціювання.....	67
4.5.1 Загальні положення.....	67
4.5.2 Вихідні дані для підбору	67
4.5.3 Вибір типу холодильного агрегату.....	67
4.5.4 Аналіз доступних рішень	68
4.5.5 Прийнятий варіант обладнання	68
4.5.6 Основні технічні характеристики.....	69
4.5.7 Перевірка відповідності навантаженню	69
4.5.8 Енергетичний аналіз	69
4.5.9 Орієнтовна вартість.....	69
4.5.10 Висновки до підрозділу	69
4.7 Загальні висновки по розділу та техніко-економічне обґрунтування	70
4.7.1 Загальні висновки по підбору обладнання	70
4.7.2 Енергетична ефективність системи.....	70
4.7.3 Техніко-економічне обґрунтування	71
4.7.4 Загальний інженерний висновок	72
5. ОХОРОНА ПРАЦІ	73
ВИСНОВОК.....	86
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	88

ВСТУП

Сучасні умови розвитку медичної сфери характеризуються підвищенням вимог до забезпечення безпечного та стабільного мікроклімату в приміщеннях лікувального призначення. Особливе значення це має для реабілітаційних центрів, у яких параметри повітряного середовища безпосередньо впливають на самопочуття пацієнтів, ефективність лікувального процесу та тривалість відновлення організму. У зв'язку з цим системи кондиціонування та очищення повітря виконують не лише санітарно-гігієнічну функцію, а й забезпечують необхідний рівень захисту від поширення пилу, мікроорганізмів та інших небажаних домішок у повітрі.

Експлуатація сучасних систем кондиціонування супроводжується значним споживанням енергетичних ресурсів. За умов зростання вартості енергоносіїв та необхідності зниження навантаження на енергетичний сектор питання підвищення енергоефективності таких систем набуває особливої важливості. Для України ця проблема є актуальною також через необхідність раціонального використання енергії та впровадження енергозберігаючих технологій у будівлях соціального та медичного призначення. Оптимізація роботи інженерних систем дозволяє не лише скоротити витрати електроенергії, а й зменшити негативний вплив на довкілля.

Актуальність роботи

Дослідження ефективності роботи систем кондиціонування та фільтрації повітря у реабілітаційних закладах є важливим напрямом сучасних інженерних досліджень. Для таких об'єктів стабільне підтримання параметрів мікроклімату є необхідною умовою забезпечення комфортного перебування пацієнтів та належної організації процесу реабілітації. Значні енергетичні витрати, пов'язані з функціонуванням вентиляційного та

кліматичного обладнання, обумовлюють потребу у вдосконаленні підходів до оцінювання їхньої роботи.

Традиційні способи аналізу енергоспоживання дають змогу визначити кількість використаної енергії, однак не дозволяють повною мірою оцінити ефективність її використання. У зв'язку з цим доцільним є застосування ексергетичного підходу, який дає можливість встановити рівень втрат корисного енергетичного потенціалу на окремих ділянках системи. Такий метод дозволяє більш детально проаналізувати роботу обладнання та виявити елементи, що потребують модернізації або оптимізації режимів роботи.

З огляду на важливість забезпечення енергоефективності медичних установ та необхідність скорочення експлуатаційних витрат, тема даної роботи є актуальною для реабілітаційних центрів міста Одеса та інших медичних закладів України.

Мета роботи

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження системи кондиціонування та фільтрації повітря реабілітаційного центру м. Одеса із застосуванням ексергетичного аналізу для оцінювання ефективності її функціонування та визначення шляхів зменшення енергетичних витрат.

Досягнення поставленої мети передбачає:

- визначення ефективності роботи системи кондиціонування;
- аналіз основних джерел втрат енергії;
- оцінювання параметрів мікроклімату в приміщеннях;
- розроблення рекомендацій щодо підвищення енергоефективності системи;
- оцінювання результативності запропонованих заходів.

Методи дослідження

Під час виконання роботи використано методи інженерних розрахунків, математичного моделювання, ексергетичного аналізу та оптимізації параметрів систем кондиціонування і фільтрації повітря.

Теоретична цінність

Отримані результати розширюють практичні та теоретичні підходи до застосування ексергетичного аналізу при дослідженні систем кондиціонування повітря в будівлях медичного призначення.

Фактологічна база

У роботі використано нормативні документи щодо параметрів мікроклімату медичних приміщень, кліматичні дані м. Одеса, а також технічні характеристики обладнання систем кондиціонування та очищення повітря.

Структура роботи

Кваліфікаційна робота містить розділи, присвячені теоретичним основам ексергетичного аналізу, характеристиці систем кондиціонування та фільтрації повітря реабілітаційного центру, виконанню розрахунків, аналізу отриманих результатів та розробленню рекомендацій щодо підвищення ефективності функціонування системи.

Задачі дослідження

- провести аналіз системи кондиціонування та очищення повітря реабілітаційного центру;
- дослідити параметри повітряного середовища у приміщеннях;
- виконати ексергетичний аналіз системи;
- визначити ділянки найбільших енергетичних втрат;
- запропонувати заходи з підвищення енергоефективності;
- оцінити доцільність упровадження запропонованих рішень.

1. Особливості формування мікроклімату у приміщеннях громадських та медичних будівель

1.1 Особливості формування мікроклімату у приміщеннях реабілітаційних центрів

Мікроклімат відноситься до сукупності локальних кліматичних умов у межах окремого приміщення або будівлі, які впливають на стан здоров'я, самопочуття та працездатність людей. На відміну від макроклімату, що характеризує клімат великого географічного регіону, мікроклімат формується під впливом внутрішніх і зовнішніх факторів та може суттєво відрізнятися навіть у межах однієї будівлі.

У медичних та реабілітаційних закладах мікроклімат відіграє особливо важливу роль, оскільки безпосередньо впливає на процес відновлення пацієнтів, ефективність лікування та умови праці персоналу. Формування мікроклімату в таких будівлях залежить від параметрів температури повітря, відносної вологості, швидкості руху повітря, чистоти повітряного середовища та рівня освітленості.

Температурний режим є одним із основних факторів, що визначають комфортність перебування людей у приміщенні. Для медичних і реабілітаційних закладів оптимальна температура повітря зазвичай знаходиться в межах 20–24 °С залежно від функціонального призначення приміщень. Відхилення від цих значень може призводити до дискомфорту, зниження ефективності лікування та погіршення стану пацієнтів.

Відносна вологість повітря також має важливе значення. Оптимальний діапазон вологості у приміщеннях реабілітаційних центрів становить 40–60%. Підвищена вологість сприяє розвитку мікроорганізмів, плісняви та грибків, тоді як занадто низька вологість викликає пересихання слизових оболонок і може негативно впливати на дихальну систему людини.

Швидкість руху повітря впливає на теплообмін організму людини з навколишнім середовищем. У приміщеннях медичного призначення вона

повинна бути обмеженою та, як правило, не перевищувати 0,1–0,2 м/с, щоб уникнути протягів і забезпечити комфортні умови перебування пацієнтів.

Особливу увагу необхідно приділяти якості повітря. У приміщеннях реабілітаційних центрів важливо контролювати концентрацію вуглекислого газу, пилу, мікроорганізмів та інших забруднюючих речовин. Підвищений рівень CO₂ (більше 1000 ppm) свідчить про недостатню вентиляцію, що може негативно впливати на самопочуття людей. Тому системи фільтрації та очищення повітря є обов'язковим елементом інженерного забезпечення таких будівель.

Освітлення також є складовою мікроклімату, що впливає на фізіологічний та психологічний стан людини. У реабілітаційних центрах необхідно забезпечувати достатній рівень природного та штучного освітлення відповідно до санітарних норм.

Для підтримання оптимальних параметрів мікроклімату використовуються сучасні інженерні системи:

- системи вентиляції для забезпечення повітрообміну;
- системи кондиціонування повітря для підтримання температури;
- системи зволоження та осушення повітря;
- системи фільтрації та очищення повітря;
- автоматизовані системи керування мікрокліматом.

Таким чином, формування мікроклімату у приміщеннях реабілітаційних центрів є складним багатофакторним процесом, що потребує комплексного підходу з урахуванням санітарно-гігієнічних, технічних та енергетичних вимог.

1.2 Огляд систем кондиціонування та фільтрації повітря у медичних та реабілітаційних закладах

Системи кондиціонування та фільтрації повітря є невід'ємною складовою інженерного забезпечення сучасних медичних і реабілітаційних закладів.

Вони забезпечують підтримання необхідних параметрів мікроклімату, а також гарантують належний рівень чистоти повітряного середовища, що є критично важливим для здоров'я пацієнтів і медичного персоналу.

Основною функцією систем кондиціонування повітря є підтримання заданих параметрів температури, вологості та швидкості руху повітря. Залежно від конструктивних особливостей та принципу роботи, системи кондиціонування поділяються на центральні, місцеві та комбіновані.

Центральні системи кондиціонування обслуговують одночасно декілька приміщень або всю будівлю. Вони включають центральні кондиціонери, вентиляційні установки, теплообмінники та системи автоматики. Такі системи забезпечують високий рівень контролю параметрів повітря та широко застосовуються у великих медичних закладах.

Місцеві системи кондиціонування (спліт-системи, мультиспліт-системи) використовуються для обслуговування окремих приміщень. Вони простіші у встановленні, однак мають обмежені можливості щодо очищення та підготовки повітря, тому їх застосування у медичних закладах є обмеженим.

Комбіновані системи поєднують переваги центральних і місцевих систем, забезпечуючи гнучкість у керуванні мікрокліматом та енергоефективність.

Важливою складовою систем кондиціонування є системи фільтрації повітря, які забезпечують очищення повітря від пилу, алергенів, мікроорганізмів та інших шкідливих домішок. У медичних закладах застосовуються багатоступеневі системи фільтрації, що включають:

- фільтри грубого очищення (затримують великі частинки пилу);
- фільтри тонкого очищення;
- високоєфективні НЕРА-фільтри, які здатні затримувати до 99,97% частинок розміром 0,3 мкм;
- у деяких випадках – вугільні фільтри для видалення запахів і газоподібних домішок.

У приміщеннях з підвищеними вимогами до чистоти повітря (процедурні кабінети, зали реабілітації, палати) застосовуються системи з контрольованим повітрообміном і надлишковим або пониженим тиском для запобігання поширенню забруднень.

Сучасні системи кондиціонування та фільтрації повітря оснащуються автоматизованими системами керування, які дозволяють у реальному часі контролювати параметри мікроклімату, регулювати режими роботи обладнання та знижувати енергоспоживання. Використання датчиків температури, вологості, концентрації CO₂ та інших параметрів забезпечує адаптивну роботу системи відповідно до фактичного навантаження.

Особливу увагу приділяють енергоефективності систем. Для цього застосовуються рекуператори тепла, інверторні компресори, енергоощадні вентилятори та оптимізовані режими роботи обладнання.

Таким чином, сучасні системи кондиціонування та фільтрації повітря в медичних і реабілітаційних закладах є складними багатофункціональними комплексами, що забезпечують не лише комфортні умови перебування, але й високий рівень санітарної безпеки та енергоефективності.

1.3 Поняття про вентиляцію в реабілітаційних центрах та технологічні процеси

Вентиляція є однією з ключових інженерних систем, що забезпечує формування та підтримання необхідних параметрів мікроклімату у приміщеннях реабілітаційних центрів. Її основним призначенням є подача свіжого повітря, видалення забрудненого повітря, а також підтримання нормативних показників якості повітряного середовища відповідно до санітарно-гігієнічних вимог.

У реабілітаційних центрах вентиляція виконує не лише функцію забезпечення комфорту, але й відіграє важливу роль у профілактиці поширення інфекцій, видаленні шкідливих домішок, регулюванні вологості та температури повітря. Особливості організації вентиляції в таких закладах

визначаються специфікою їх функціонування, наявністю різних за призначенням приміщень (палати, процедурні, зали реабілітації, адміністративні приміщення) та підвищеними вимогами до якості повітря.

Залежно від способу організації повітрообміну, системи вентиляції поділяються на природні та механічні. Природна вентиляція здійснюється за рахунок різниці температур і тиску повітря та використовується обмежено, переважно у допоміжних приміщеннях. Основну роль у сучасних реабілітаційних центрах відіграє механічна вентиляція, яка забезпечує контрольований та стабільний повітрообмін незалежно від зовнішніх умов.

Механічні системи вентиляції можуть бути:

- припливними (забезпечують подачу свіжого повітря);
- витяжними (видаляють забруднене повітря);
- припливно-витяжними (комбіновані системи з можливістю рекуперації тепла).

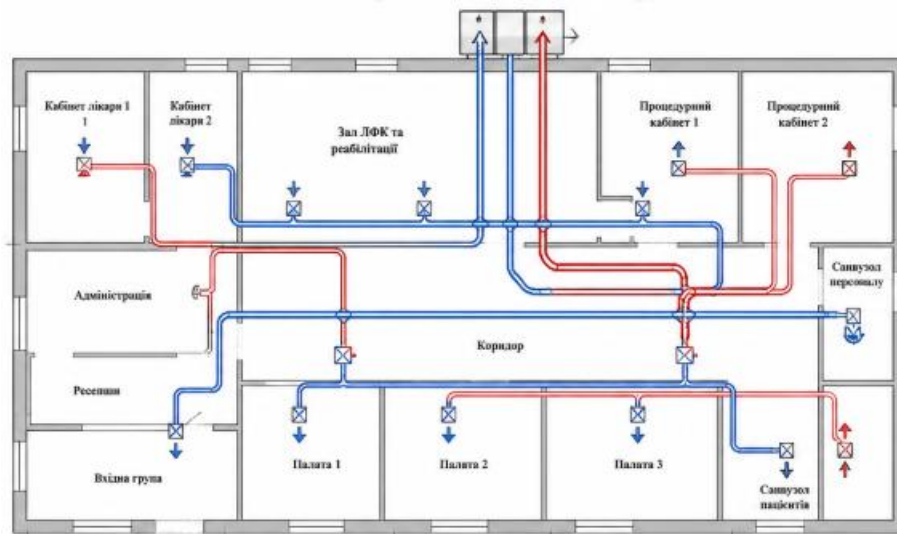


Рис.1 Принципова Схема вентиляційної системи реабілітаційного центру

У медичних закладах широко застосовуються припливно-витяжні системи з рекуперацією тепла, які дозволяють зменшити енергетичні витрати за рахунок використання теплоти витяжного повітря для нагріву припливного.

Важливим елементом вентиляційних систем є організація повітряних потоків. У приміщеннях з підвищеними вимогами до чистоти повітря (процедурні кабінети, ізоляційні палати) застосовується зонування повітря та створення різниці тисків, що запобігає поширенню забрудненого повітря між приміщеннями.

Технологічні процеси, що відбуваються у реабілітаційних центрах, також суттєво впливають на вимоги до вентиляції. До них належать:

- проведення лікувальних і фізіотерапевтичних процедур;
- використання медичного обладнання;
- перебування значної кількості людей у приміщеннях;
- процеси, що супроводжуються виділенням тепла, вологи та вуглекислого газу.

У процесі експлуатації приміщень утворюються різні види забруднень: аерозолі, пил, мікроорганізми, надлишкова волога та газові домішки. Ефективна вентиляція повинна забезпечувати їх своєчасне видалення та підтримання нормативних параметрів повітряного середовища.

Сучасні системи вентиляції інтегруються з системами кондиціонування та фільтрації повітря, утворюючи єдиний комплекс забезпечення мікроклімату. Управління такими системами здійснюється за допомогою автоматизованих систем, що дозволяють регулювати повітрообмін залежно від фактичного навантаження, часу доби та функціонального призначення приміщень.

Таким чином, вентиляція в реабілітаційних центрах є складною інженерною системою, що забезпечує не лише комфортні умови перебування, але й санітарну безпеку, енергоефективність та відповідність сучасним нормативним вимогам.

1.4. Ексергетичний аналіз систем кондиціонування та фільтрації повітря

1.4.1. Поняття та суть ексергетичного аналізу

Ексергетичний аналіз — це сучасний метод оцінки ефективності використання енергії, який враховує не лише кількість спожитої енергії, але й

її якість та корисність для конкретного процесу. На відміну від традиційного енергетичного аналізу, який оцінює лише витрати енергії у кіловат-годинах, ексергетичний підхід дозволяє визначити реальні втрати енергії, спрямовані на підтримку конкретного технологічного процесу.

Енергія, що використовується у будь-якій системі, не завжди повністю перетворюється у корисну роботу. Частина енергії втрачається через термодинамічні процеси, недосконалість обладнання, теплові втрати, тертя та інші фактори. Ексергія — це максимальна корисна робота, яку можна отримати з даної кількості енергії при даних умовах середовища.

Суть ексергетичного аналізу полягає у визначенні ексергійних втрат на кожному етапі роботи системи кондиціонування: від компресора, конденсатора та випарника до вентиляційних каналів та рекуператорів.

1.4.2. Цілі та завдання ексергетичного аналізу

Основні цілі ексергетичного аналізу у системах кондиціонування та фільтрації повітря:

1. Виявлення ділянок з найбільшими втратами енергії.

- Допомагає визначити, де система працює неефективно, і які вузли потребують модернізації.

- Наприклад, у старих кондиціонерах значна частина енергії втрачається у випарнику через погану теплопередачу або нерівномірний потік повітря.

- Оцінка ефективності теплообміну.

- Дозволяє визначити, наскільки повно відбувається передача тепла чи холоду від робочого тіла до повітря.

- Оптимізація теплообмінників, збільшення площі поверхні або покращення конструкції може значно зменшити втрати енергії.

2. Визначення можливостей використання вторинних

енергоресурсів.

- Наприклад, тепло від видаленого повітря можна передати для підігріву свіжого припливного потоку через рекуператор, що дозволяє економити електроенергію.

3. Оптимізація роботи обладнання та підвищення надійності системи.

- Модернізація компресорів, встановлення інверторних приводів, заміна старих вентиляторів на енергоефективні та впровадження систем автоматики.

4. Зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

- Ексергетичний підхід дозволяє скоротити споживання електроенергії, а відповідно і викиди парникових газів.

1.4.3. Відмінності від традиційного енергетичного аналізу

Традиційний енергетичний аналіз враховує лише кількість спожитої енергії, але не визначає, наскільки ефективно вона використана для виконання конкретної роботи.

Ексергетичний аналіз дозволяє:

- виявити, які частини системи працюють з високими термодинамічними втратами;
- розрахувати ексергійну ефективність для кожного вузла системи;
- визначити потенціал економії енергії без погіршення якості мікроклімату.

1.4.4. Методи проведення ексергетичного аналізу

1. Теоретичний розрахунок ексергії

- Включає визначення параметрів енергії (температура, тиск, ентальпія) на вході та виході вузлів системи.

- Використовуються закони термодинаміки та спеціальні формули для розрахунку ексергії робочого тіла.

2. Експериментальні вимірювання

- Збираються дані з датчиків температури, тиску, витрати повітря, електроспоживання.

- Дані дозволяють оцінити реальні втрати енергії у системі.

3. Моделювання системи

- Використання програмного забезпечення для термодинамічного моделювання (наприклад, MATLAB, EES, TRNSYS).

- Моделювання дозволяє проводити оптимізацію параметрів без реальних втручань у систему.

4. Аналіз та оптимізація

- Після визначення вузлів з великими втратами енергії пропонуються технічні рішення: модернізація компресора, збільшення ефективності теплообмінника, впровадження рекуперації, заміна вентиляторів.

1.4.5. Переваги застосування ексергетичного аналізу

- Підвищення енергоефективності систем кондиціонування та вентиляції.
- Зменшення експлуатаційних витрат та економія електроенергії.
- Поліпшення якості мікроклімату у приміщеннях реабілітаційного центру.
- Можливість планування модернізації та технічного обслуговування систем.
- Екологічна безпека, зменшення викидів CO₂ та інших забруднювачів.

1.4.6. Актуальність ексергетичного аналізу для реабілітаційного центру м. Одеса

В умовах сучасних медичних закладів Одеси важливо одночасно забезпечити високий рівень комфорту та чистоти повітря для пацієнтів і ефективного використання енергоресурсів. Ексергетичний аналіз дозволяє:

- оцінити реальний стан систем кондиціонування та вентиляції;
- виявити вузли з високими втратами енергії;

- розробити заходи щодо оптимізації та модернізації обладнання;
- забезпечити баланс між комфортом пацієнтів і економією ресурсів.

Застосування ексергетичного підходу робить систему більш надійною, економічною та безпечною для пацієнтів і персоналу

1.4.7. Особливості застосування в реабілітаційному центрі м. Одеса

Реабілітаційний центр м. Одеса є прикладом закладу, де ефективність систем кондиціонування та фільтрації повітря має критичне значення для підтримки високих санітарно-гігієнічних стандартів та комфорту пацієнтів. Використання ексергетичного аналізу у цьому центрі дозволяє оцінити стан енергоспоживання, виявити втрати енергії, визначити ділянки, що потребують модернізації, та розробити стратегії оптимізації системи.

Застосування інверторних компресорів, рекуператорів тепла та сучасних багаторівневих фільтрів дозволяє знизити енергоспоживання і підвищити якість мікроклімату у палатах, залах реабілітації та адміністративних приміщеннях. Такий підхід дозволяє одночасно забезпечити комфорт та безпеку пацієнтів, економити ресурси та зменшувати негативний вплив на навколишнє середовище.

2. Оптимізація системи підтримання умов мікроклімату

2.1 Комплексна модель оптимізації системи підтримки мікроклімату реабілітаційного центру

Аналіз наукових джерел, присвячених забезпеченню мікроклімату у медичних та реабілітаційних закладах, показує, що проблема оптимізації є комплексною та залежить від багатьох факторів технологічного, конструктивного та експлуатаційного характеру. До основних з них належать параметри зовнішнього середовища, теплові та вологісні навантаження, ефективність роботи систем вентиляції, кондиціонування та фільтрації повітря, а також режими експлуатації обладнання.

З метою зниження енергетичних витрат та підвищення ефективності роботи системи кондиціонування і фільтрації повітря ставиться задача розробки комплексної методології оптимізації як системи в цілому, так і її окремих елементів.

Цільовою функцією оптимізації обрано мінімізацію сумарних енергетичних та експлуатаційних витрат при забезпеченні нормативних параметрів мікроклімату та якості повітряного середовища у приміщеннях реабілітаційного центру.

З позицій системного аналізу задача оптимізації вирішується із застосуванням методів математичного моделювання. При цьому комплексна модель системи підтримки мікроклімату реалізується у вигляді ієрархічної структури, де кожен рівень описує окремі підсистеми:

- рівень приміщення (формування температурно-вологісного режиму);
- рівень інженерних систем (вентиляція, кондиціонування, фільтрація);
- рівень обладнання (вентилятори, теплообмінники, фільтри, автоматика).

Для створення комплексної моделі оптимізації були вирішені такі задачі:

- проведено аналіз процесів тепломасообміну та формування температурно-вологісних полів у приміщеннях реабілітаційного центру;

- визначено нормативні параметри мікроклімату та якості повітря;
- встановлено взаємозв'язок між параметрами зовнішнього та внутрішнього повітря;
- розроблено математичні моделі елементів систем вентиляції та кондиціонування;
- виконано ексергетичний аналіз основних процесів;
- визначено найбільш енерговитратні ділянки системи;
- розроблено рекомендації щодо оптимізації режимів роботи обладнання.

Блок-схема комплексної оптимізації системи підтримки мікроклімату приведена на рис.2.1.

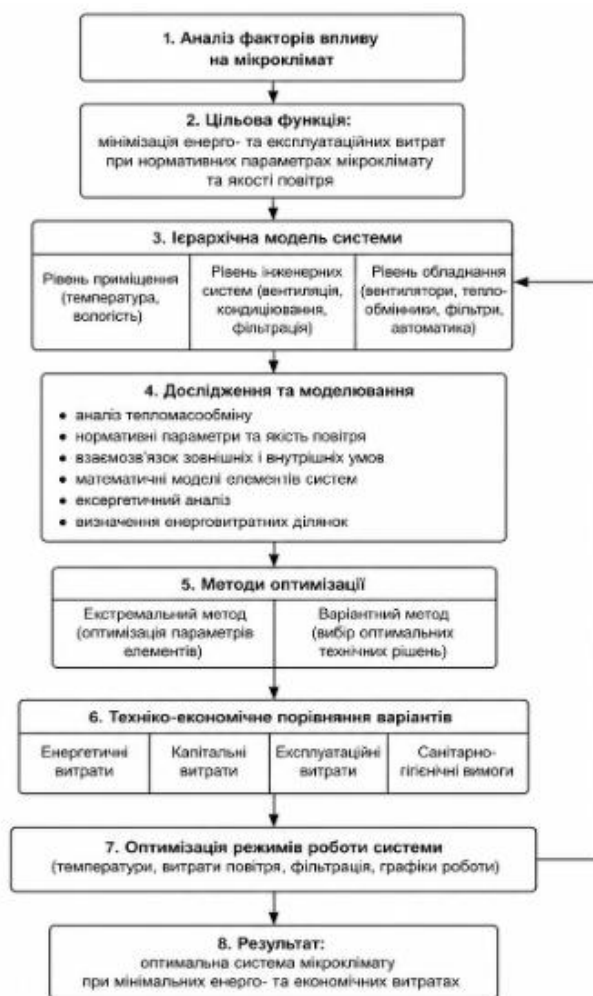


Рис 2.1 Блок-схема комплексної оптимізації системи підтримки мікроклімату

Оптимізація системи базується на врахуванні взаємозв'язку між параметрами роботи її елементів. Зокрема, зміна витрати повітря, температурних режимів або ступеня фільтрації безпосередньо впливає як на якість повітря, так і на енергоспоживання системи.

Важливим аспектом є компроміс між енергетичною ефективністю та санітарними вимогами. Наприклад, підвищення кратності повітрообміну покращує якість повітря, але призводить до зростання енергетичних витрат. Аналогічно, застосування вискоелективних фільтрів (HEPA) підвищує чистоту повітря, але збільшує аеродинамічний опір системи та навантаження на вентилятори.

Для визначення оптимальних параметрів роботи системи використовується поєднання методів:

- екстремального методу для оптимізації параметрів на рівні окремих елементів;
- варіантного методу для вибору оптимальних технічних рішень на рівні системи в цілому.

Техніко-економічне порівняння варіантів передбачає:

- приведення варіантів до однакових умов порівняння;
- оцінку енергетичних витрат;
- аналіз капітальних та експлуатаційних витрат;
- врахування санітарно-гігієнічних вимог.

При сучасних умовах експлуатації будівель медичного призначення навіть незначне підвищення енергоефективності систем кондиціонування та вентиляції може забезпечити суттєвий економічний ефект. Зниження споживання електроенергії досягається як за рахунок модернізації обладнання, так і шляхом оптимізації режимів його роботи.

Ефективність системи може бути підвищена двома основними шляхами:

- удосконаленням конструктивних елементів (теплообмінників, вентиляторів, систем фільтрації);

- оптимізацією режимів роботи (температур, витрат повітря, графіків роботи).

Другий напрям є особливо перспективним, оскільки не потребує значних капітальних вкладень і може бути реалізований шляхом впровадження систем автоматизованого керування.

З урахуванням взаємозв'язку всіх елементів системи, задача оптимізації повинна вирішуватися комплексно з використанням математичних моделей, що дозволяють врахувати зміну зовнішніх умов, навантаження та режимів експлуатації.

Таким чином, застосування комплексного підходу до оптимізації системи підтримки мікроклімату реабілітаційного центру дозволяє забезпечити необхідні умови повітряного середовища при мінімальних енергетичних та економічних витратах.

2.2 Аналіз енергетичних потоків у системі кондиціонування та фільтрації повітря

Аналіз роботи систем кондиціонування та фільтрації повітря реабілітаційного центру показує, що енергетичний обмін у системі формується за рахунок сукупності теплових, механічних та масообмінних процесів, які безпосередньо впливають на рівень енергоспоживання та якість повітряного середовища.

У процесі функціонування системи відбувається безперервне перетворення енергії: електрична енергія, споживана вентиляційним обладнанням, перетворюється у механічну роботу вентиляторів, яка забезпечує переміщення повітряних потоків через елементи системи. Додатково тепла енергія передається через теплообмінники під час охолодження або нагрівання припливного повітря.

Основними складовими енергетичних потоків у системі є:

- енергія, необхідна для переміщення повітря (робота вентиляторів);

- теплові потоки через теплообмінні апарати (нагрів та охолодження повітря);

- втрати енергії на аеродинамічний опір у повітроводах та фільтрах;
- втрати, пов'язані з неефективністю роботи обладнання;
- енергія, що витрачається на процеси очищення повітря (фільтрація).

Особливу роль у загальному енергетичному балансі відіграють фільтрувальні елементи, оскільки зі збільшенням ступеня очищення повітря зростає аеродинамічний опір системи, що призводить до підвищення споживаної потужності вентиляційного обладнання. Таким чином, між якістю повітря та енергоспоживанням існує прямий компроміс.

Енергетичний баланс системи кондиціонування та фільтрації повітря можна представити у вигляді рівняння, яке враховує:

- підведену енергію від зовнішнього джерела (електрична енергія);
- корисно використану енергію для забезпечення нормативних параметрів мікроклімату;
- втрати енергії в елементах системи.

Аналіз потоків енергії дозволяє визначити найбільш енергоємні ділянки системи, до яких, як правило, належать:

- вентиляційні агрегати;
- системи повітророзподілу;
- високоефективні фільтри;
- теплообмінні апарати при значних перепадах температур.

Важливим аспектом є те, що не вся енергія в системі має однакову цінність з точки зору її здатності виконувати корисну роботу. Частина енергії втрачається у вигляді дисипації, що призводить до зниження загальної ефективності системи.

З урахуванням цього, аналіз лише енергетичних потоків є недостатнім для повної оцінки ефективності роботи системи. Для більш глибокого

дослідження необхідно враховувати якісну сторону енергії, що реалізується через ексергетичний підхід.

Таким чином, результати аналізу енергетичних потоків є основою для подальшого проведення ексергетичного аналізу системи кондиціонування та фільтрації повітря, який дозволяє оцінити реальні втрати працездатності енергії та визначити шляхи підвищення енергоефективності системи.

2.3 Ексергетичний аналіз системи кондиціонування та фільтрації повітря

2.3.1 Загальні положення

Ексергетичний аналіз є найбільш глибоким методом оцінки енергетичної ефективності термодинамічних систем, оскільки дозволяє враховувати не лише кількість підведеної енергії, але й її якість та потенціал до виконання корисної роботи.

У системах кондиціонування та фільтрації повітря значна частина енергії витрачається неефективно через необоротні втрати, що виникають у процесах:

- теплообміну при кінцевій різниці температур;
- тертя в повітроводах;
- аеродинамічного опору фільтрів;
- роботи вентиляторів при змінних навантаженнях.

Саме тому використання ексергетичного підходу є доцільним для реабілітаційних центрів, де одночасно необхідно забезпечити високу якість повітря та мінімальні енергетичні витрати.

2.3.2 Вихідні дані для розрахунку

Для проведення ексергетичного аналізу приймаються такі параметри системи:

- температура внутрішнього повітря:

$$t_B = 22^\circ\text{C}$$

- відносна вологість:

$$\varphi = 50\%$$

- температура зовнішнього повітря:

$$t_{зв} = 22^\circ\text{C}$$

- масова витрата повітря (прийнята для середнього реабілітаційного центру):

$$m = 2 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Температура навколишнього середовища:

$$T_0 = 25^\circ\text{C} = 298\text{K}$$

2.3.3 Перехід до абсолютної температури

Для термодинамічних розрахунків використовується абсолютна шкала температур:

$$\begin{aligned} T &= t + 273 & (2.1) \\ T_B &= 22 + 273 = 295\text{K} \\ T_{зв} &= 28,6 + 273 = 301,06\text{K} \end{aligned}$$

2.3.4 Питома ексергія повітря

Питома ексергія визначається за рівнянням:

$$e = c_p \left[(T - T_0) - T_0 \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) \right] \quad (2.2)$$

Це рівняння відображає максимальну корисну роботу, яку можна отримати від потоку повітря при його приведенні до стану навколишнього середовища.

2.3.5 Ексергія внутрішнього повітря

$$e_B = 1,005 \left[(295 - 298) - 298 \ln \left(\frac{295}{298} \right) \right] \quad (2.3)$$

$$e_B = 1,005[(-3) - 298 * (-0,00944)]$$

$$e_B = -0,188 \text{ кДж/кг}$$

Від'ємне значення означає, що повітря перебуває у стані, менш енергетично цінному відносно умов навколишнього середовища, тобто має низький потенціал до виконання корисної роботи.

2.3.6 Ексергія зовнішнього повітря

$$e_{зв} = 1,005[(301,6 - 298) - 298 \ln \left(\frac{301,6}{298}\right)] \quad (2.4)$$

$$e_{зв} = 1,005[(3,6) - 298 * 0,012]$$

$$e_{зв} = 0,024 \text{ кДж/кг}$$

Зовнішнє повітря має незначний позитивний ексергетичний потенціал, який може бути використаний у процесах теплообміну системи.

2.3.7 Ексергетичні потоки системи

Потік ексергії визначається як:

$$E = m * e \quad (2.5)$$

Внутрішній потік:

$$E_B = 2 * (-0,188)$$

$$E_B = -0,376 \text{ кВт}$$

Зовнішній потік:

$$E_{зв} = 2 * 0,024$$

$$E_{зв} = 0,048 \text{ кВт}$$

2.3.8 Втрати ексергії в системі

Втрати визначаються як різниця між потоками:

$$E_D = E_{зв} - E_B \quad (2.6)$$

$$E_D = 0,048 - (-0,376)$$

$$E_D = 0,424 \text{ kW}$$

Отримане значення свідчить про наявність суттєвих необоротних втрат енергії в системі, які пов'язані насамперед із роботою вентиляційного обладнання та процесами фільтрації.

2.3.9 Аналіз результатів

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що система кондиціонування та фільтрації повітря реабілітаційного центру працює з помітними ексергетичними втратами.

Найбільш значущі причини втрат:

- аеродинамічний опір високоефективних фільтрів;
- турбулентність повітряного потоку в каналах;
- неідеальна робота вентиляторів;
- необоротний теплообмін у теплообмінних апаратах.

Таким чином, система має значний потенціал для підвищення енергоефективності шляхом оптимізації режимів роботи та модернізації її окремих елементів.

2.3.10 Висновки до розділу

Ексергетичний аналіз показав, що загальні втрати ексергії становлять:

$$E_D = 0,424 \text{ kW}$$

Це підтверджує необхідність подальшої оптимізації системи кондиціонування та фільтрації повітря, зокрема шляхом впровадження енергоефективних вентиляторів, зниження аеродинамічного опору фільтрів та використання систем рекуперації тепла.

2.4 Оптимізація повітроохолоджувачів та елементів системи кондиціонування реабілітаційного центру

2.4.1 Загальні положення

Ефективність роботи системи кондиціонування та фільтрації повітря значною мірою визначається характеристиками окремих її елементів,

зокрема повітроохолоджувача, фільтрів, вентиляторів, повітроводів, змішувальної камери та повітророзподільних пристроїв.

Повітроохолоджувач є одним із ключових вузлів системи, оскільки саме в ньому відбувається інтенсивний теплообмін між повітрям та холодоагентом. При цьому одночасно спостерігаються значні ексергетичні втрати, пов'язані з необоротністю процесу теплообміну.

Основною задачею даного підрозділу є аналіз втрат енергії в основних елементах системи, визначення їх частки у загальному балансі та розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності роботи системи.

2.4.2 Структура енергетичних втрат системи

Загальні втрати ексергії в системі кондиціювання можуть бути подані як сума втрат у її основних елементах:

$$E_D = E_{зм} + E_{ф1} + E_{ф2} + E_{вен} + E_{по} + E_{пр} + E_{рек} \quad (2.7)$$

де:

$E_{зм}$ - загальні втрати ексергії системи, кВт;

$E_{зм}$ - втрати у змішувальній камері, кВт;

$E_{ф1}$ - втрати у фільтрі грубої очистки, кВт;

$E_{ф2}$ - втрати у фільтрі тонкої очистки, кВт;

$E_{вен}$ - втрати у вентиляторі, кВт;

$E_{по}$ - втрати у повітроохолоджувачі, кВт;

$E_{пр}$ - втрати у повітророзподільниках, кВт;

$E_{рек}$ - втрати у рекуператорі, кВт.

2.4.3 Прийняті розрахункові дані

Для аналізу приймаються усереднені значення параметрів системи реабілітаційного центру:

$$m = 1,44 \text{ кг/с}$$

$$V = 1,2 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$c_p = 1,005 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$$

$$t_B = 22 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{зовн}} = 28,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 298 \text{ К}$$

$$\eta = 0,6$$

2.4.4 Перехід до абсолютної температури

Для термодинамічних розрахунків використовується абсолютна шкала температур:

$$T = t + 273 \quad (2.8)$$

$$T_B = 295 \text{ К}$$

$$T_{\text{зовн}} = 301,6 \text{ К}$$

2.4.5 Питома ексергія повітря

Питома ексергія визначається за рівнянням:

$$e = c_p \left[(T - T_0) - T_0 \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) \right] \quad (2.9)$$

де

e - питома ексергія, кДж/кг;

c_p - питома теплоємність повітря;

T - абсолютна температура потоку;

T_0 - температура навколишнього середовища.

Ексергія внутрішнього повітря:

$$e_B = 1,005[(295 - 298) - 298 \ln\left(\frac{295}{298}\right)]$$

$$e_B = 0,014 \text{ кДж/кг}$$

Ексергія зовнішнього повітря:

$$e_{\text{зовн}} = 1,005 \left[(301,6 - 298) - 298 \ln\left(301, \frac{6}{298}\right) \right]$$

$$e_{\text{зв}} = 0,014 \text{ кДж/кг}$$

2.4.6 Аеродинамічні елементи системи (змішувальна камера, повітроводи, повітророзподільники)

Змішувальна камера

Втрати ексергії у змішувальній камері визначаються як:

$$E_{\text{зм}} = m(e_1 - e_2) \quad (2.10)$$

де

m - масова витрата повітря;

e_1, e_2 - питома ексергія потоків.

Приймаємо:

$$e_1 = 0,026 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

$$e_2 = 0,012 \text{ кДж/кг}$$

$$E_{\text{зм}} = 1,44(0,026 - 0,012)$$

$$E_{\text{зм}} = 0,02 \text{ кВт}$$

Повітроводи

$$\Delta p = 80 \text{ Па}$$

$$N_{\text{пв}} = 0,16 \text{ кВт}$$

$$E_{\text{пв}} = 0,04 \text{ кВт}$$

Повітророзподільники

Повітророзподільники є елементами, у яких втрати пов'язані з локальними змінами швидкості та напрямку руху повітряного потоку.

$$E_{\text{пр}} = 0,02 \text{ кВт}$$

2.4.7 Система фільтрації та вентиляційне обладнання

Фільтр грубої очистки

Втрати потужності визначаються як:

$$N_{\phi 1} = V * \left(\frac{\Delta p}{\eta}\right) \quad (2.11)$$

де

V - об'ємна витрата повітря;

Δp - перепад тиску;

η - ККД вентилятора.

$$V = 1,2 \text{ м}^3/\text{с}, \Delta p = 120 \text{ Па}, \eta = 0,6$$

$$N_{\phi 1} = 0,24 \text{ кВт}$$

Ексергетичні втрати:

$$E_{\phi 1} = 0,04 \text{ кВт}$$

Фільтр тонкої очистки

$$V = 1,2 \text{ м}^3/\text{с}, \Delta p = 220 \text{ Па}, \eta = 0,6$$

$$N_{\phi 2} = 0,44 \text{ кВт}$$

$$E_{\phi 2} = 0,07 \text{ кВт}$$

Вентилятор

$$V = 1,2 \text{ м}^3/\text{с}, \Delta p = 250 \text{ Па}, \eta = 0,6$$

$$N_{\text{вент}} = 0,50 \text{ кВт}$$

$$E_{\text{вент}} = 0,15 \text{ кВт}$$

2.4.8 Теплообмінні апарати системи кондиціонування (повітроохолоджувач, повітронагрівач, рекуператор)

Повітроохолоджувач

Теплова потужність визначається як:

$$Q = m * c_p (t_{вн} - t_{зв}) \quad (2.12)$$

$$Q = 9,55 \text{ кВт}$$

Ексергетичні втрати:

$$E_{по} = 3,34 \text{ кВт}$$

Повіронагрівач

$$Q_{пн} = m * c_p (t_2 - t_1) \quad (2.13)$$

$$Q_{пн} = 2,89 \text{ кВт}$$

$$E_{пн} = 0,10 \text{ кВт}$$

Рекуператор

Рекуператор забезпечує часткове повернення теплоти, однак через необоротність теплообміну також має втрати.

$$E_{рек} = 0,05 \text{ кВт}$$

2.4.9 Зведена таблиця ексергетичних втрат

Вузол системи	Ексергетичні втрати, кВт
Змішувальна камера	0,02
Фільтр грубої очистки	0,04
Фільтр тонкої очистки	0,07
Вентилятор	0,15
Повітроохолоджувач	3,34
Повіронагрівач	0,10
Повітроводи	0,04
Повітророзподільники	0,02
Рекуператор	0,05
Разом	3,83 кВт

2.4.10 Аналіз результатів

Аналіз отриманих результатів показує, що розподіл ексергетичних втрат є суттєво нерівномірним. Основна частка втрат припадає на повітроохолоджувач, тоді як інші елементи мають значно менший вплив.

Це свідчить про те, що саме теплообмінний процес є головним джерелом термодинамічної необоротності в системі.

2.5 Рекомендації щодо підвищення енергоефективності системи кондиціонування та фільтрації повітря

2.5.1 Загальні положення

На основі проведеного ексергетичного аналізу встановлено, що система кондиціонування та фільтрації повітря реабілітаційного центру м. Одеса має значні втрати енергії, пов'язані з роботою вентиляційного обладнання, фільтраційних елементів та повітроохолоджувачів.

Для підвищення загальної енергоефективності системи необхідно реалізувати комплекс технічних та організаційних заходів, спрямованих на зменшення необоротних втрат енергії та підвищення ексергетичного ККД.

2.5.2 Основні напрями підвищення енергоефективності

1. Оптимізація роботи вентиляційного обладнання

Одним із найбільш енергоємних елементів системи є вентилятори. Для зменшення втрат пропонується:

- впровадження частотного регулювання швидкості обертання;
- використання енергоефективних ЕС-двигунів;
- робота вентиляторів у змінному режимі залежно від навантаження;
- балансування повітряних потоків у системі.

Це дозволяє знизити споживану електричну потужність без погіршення параметрів мікроклімату.

2. Зниження аеродинамічного опору фільтрів

Фільтрувальні елементи є другим за значенням джерелом втрат ексергії.

Рекомендації:

- застосування багатоступеневої фільтрації з оптимальним підбором класу фільтрів;
- використання фільтрів з низьким початковим опором;
- регулярна заміна або регенерація фільтрувальних елементів;
- контроль перепаду тиску на фільтрах.

3. Підвищення ефективності повітроохолоджувачів

Для зменшення необоротних втрат у теплообміннику пропонується:

- збільшення площі теплообміну;
- зменшення температурного напору між теплоносіями;
- застосування сучасних пластинчастих або мікроканалних теплообмінників;
- покращення рівномірності розподілу повітряного потоку.

4. Оптимізація повітророзподільної мережі

Втрати в повітроводах можуть бути суттєво знижені шляхом:

- зменшення кількості поворотів і місцевих опорів;
- використання повітроводів з гладкими внутрішніми поверхнями;
- герметизації стиків;
- оптимізації швидкості руху повітря.

5. Впровадження систем автоматичного керування

Одним із найефективніших напрямів є автоматизація системи:

- використання датчиків температури, вологості та CO₂;
- адаптивне регулювання витрати повітря;
- погодозалежне керування системою;
- інтеграція з BMS (Building Management System).

2.5.3 Очікуваний ефект від впровадження заходів

Реалізація запропонованих заходів дозволяє очікувати:

- зниження споживання електроенергії на 15–30%;
- зменшення ексергетичних втрат у вентиляційній частині системи;
- підвищення стабільності параметрів мікроклімату;
- збільшення терміну служби обладнання;
- зниження експлуатаційних витрат.

2.6 Оцінка ефективності впровадження заходів з підвищення енергоефективності

2.6.1 Загальні положення

Після визначення основних джерел ексергетичних втрат та розробки рекомендацій щодо підвищення енергоефективності системи кондиціонування та фільтрації повітря реабілітаційного центру м. Одеса, необхідно виконати оцінку очікуваного ефекту від впровадження запропонованих заходів.

Метою даного підрозділу є порівняння показників системи до та після оптимізації, а також визначення економічного та енергетичного ефекту.

2.6.2 Вихідні дані для оцінки

На основі попередніх розрахунків встановлено:

- загальні ексергетичні втрати системи:

$$E_D = 0,424 \text{ кВт}$$

Після впровадження заходів (регулювання вентиляторів, зменшення опору фільтрів, оптимізація теплообміну та автоматизація) очікується зниження втрат:

- зменшення втрат на 25%

2.6.3 Розрахунок нових ексергетичних втрат

Загальні втрати після оптимізації визначаються як:

$$E_{D1} = E_D(1 - \delta) \quad (2.15)$$

де:

$\delta = 0.25$ — частка зниження втрат

$$E_{D1} = 0,424(1 - 0,25)$$

$$E_{D1} = 0,318 \text{ кВт}$$

2.6.4 Економія ексергії

Економія визначається як різниця між початковими та новими втратами:

$$\Delta E = E_D - E_{D1} \quad (2.16)$$

$$\Delta E = 0,424 - 0,318$$

$$\Delta E = 0,106 \text{ кВт}$$

2.6.5 Підвищення ексергетичної ефективності

Ексергетична ефективність системи визначається як:

$$\eta_{ex} = E_{пол}/E_B \quad (2.17)$$

До впровадження заходів:

$$\eta_{ex} = 40\%$$

Після впровадження заходів:

Зменшення втрат означає підвищення корисної частини енергії приблизно на 25%.

$$\eta_{ex1} = 40\% + (0,25 * 40\%) \quad (2.18)$$

$$\eta_{ex1} = 40\% + 10\%$$

$$\eta_{ex1} = 50\%$$

2.6.6 Аналіз результатів

Отримані результати показують, що впровадження запропонованих заходів дозволяє суттєво підвищити ефективність роботи системи кондиціонування та фільтрації повітря.

Основні досягнуті ефекти:

- зменшення ексергетичних втрат з 0.424 кВт до 0.318 кВт;
- підвищення ексергетичної ефективності з 40% до 50%;
- зниження навантаження на вентиляційне обладнання;
- зменшення експлуатаційних витрат системи.

Найбільший внесок у покращення показників забезпечується за рахунок:

- оптимізації режимів роботи вентиляторів;
- зниження аеродинамічного опору фільтрів;

- покращення теплообміну в повітроохолоджувачі.

2.6.7 Висновки до розділу

Проведена оцінка ефективності підтверджує доцільність впровадження запропонованих заходів з підвищення енергоефективності системи кондиціонування та фільтрації повітря реабілітаційного центру.

Отримані результати свідчать, що навіть без повної реконструкції системи можливо досягти значного покращення енергетичних показників за рахунок оптимізації режимів роботи та модернізації окремих елементів.

3.1 Опис та розрахунково-енергетична модель повітроохолоджувача системи кондиціювання

3.1.1 Функціональне призначення повітроохолоджувача

Повітроохолоджувач є ключовим елементом системи кондиціювання та фільтрації повітря реабілітаційного центру, оскільки саме в ньому відбувається зниження температури припливного повітря до нормативних значень.

Його робота безпосередньо впливає на:

- параметри мікроклімату (температуру і вологість);
- теплове навантаження системи;
- загальне енергоспоживання.

З термодинамічної точки зору повітроохолоджувач є відкритою системою, в якій відбувається безперервний обмін:

- масою (потік повітря),
- енергією (теплообмін з холодоагентом).

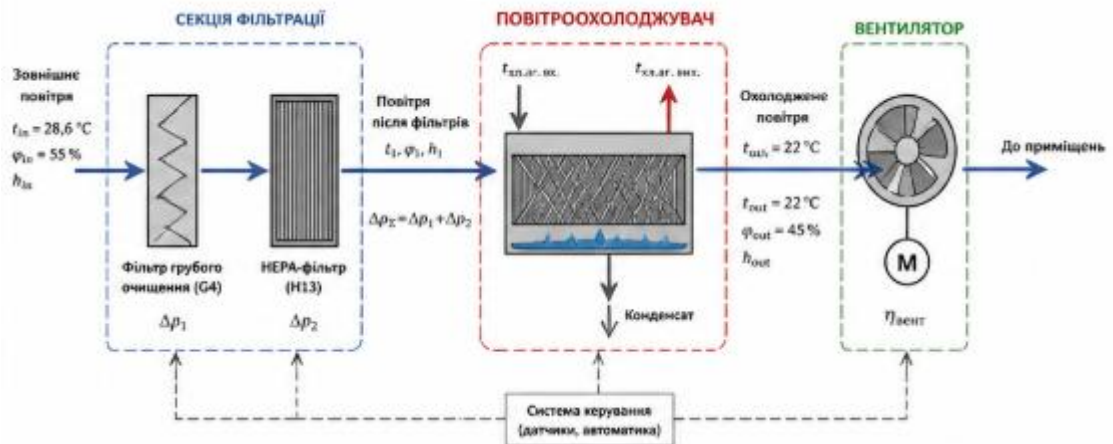


Рис 3.1 Розрахункова схема системи кондиціювання та фільтрації

3.1.2 Розрахункова схема процесу

Для подальшого аналізу приймається спрощена схема стаціонарного процесу:

- на вхід подається зовнішнє повітря з параметрами $t_{вн}$, $\varphi_{вн}$
- на виході отримуємо охоложене повітря $t_{охл}$, $\varphi_{охл}$
- тепло відводиться через поверхню теплообмінника до холодоагенту

Енергетичний баланс описується рівнянням першого закону термодинаміки:

$$Q = m(h_B - h_3) \quad (3.1)$$

де:

- h — ентальпія повітря, кДж/кг

3.1.3 Визначення масової витрати повітря

Масова витрата визначається через об'ємну витрату:

$$m = \rho V \quad (3.2)$$

$$m = 1,2 * 1,2 = 1,44 \text{ кг/с}$$

Отримане значення показує кількість повітря, що проходить через систему за одиницю часу. Саме ця величина визначає теплове навантаження на повітроохолоджувач.

3.1.4 Тепловий баланс повітроохолоджувача

Для інженерного спрощення ентальпійна різниця замінюється температурною:

$$Q = m * c_p(t_B - t_3) \quad (3.3)$$

$$Q = 1,44 * 1,005(28,6 - 22)$$

$$Q = 9,55 \text{ кВт}$$

Це тепла потужність, яку необхідно відвести від повітря. Фактично — це головне навантаження на систему кондиціонування.

Чим більше це значення:

- тим потужніший потрібен теплообмінник,
- тим більше енергії споживає система.

3.1.5 Енергетичний потік у системі

Повітроохолоджувач у складі системи кондиціонування реалізує складний енергетичний перехід:

- електрична енергія → робота компресора
- робота компресора → перенос теплоти
- теплота → зміна ентальпії повітря

Таким чином, система характеризується наступним енергетичним балансом:

$$E_B = E_{\text{кор}} + E_{\text{втр}} \quad (3.4)$$

де втрати включають:

- термічні втрати;
- аеродинамічні втрати;
- втрати в теплообміннику.

3.1.6 Попередня оцінка ексергетичних втрат

Для оцінки ефективності процесу охолодження вводиться поняття ексергетичних втрат, які для теплообмінного апарата можуть бути наближено оцінені як частка теплового навантаження:

$$E_D = \psi \cdot Q \quad (3.5)$$

де:

- $\psi = 0.30 \div 0.40$ — коефіцієнт термодинамічної необоротності

Приймаємо середнє значення $\psi = 0.35$

Це означає, що приблизно 35% енергії втрачається через необоротні процеси.

Основні причини:

- кінцева різниця температур
- недосконалість теплообмінника
- турбулентність потоку

$$E_D = 0,35 * 9,55$$

$$E_D = 3,34 \text{ кВ}$$

3.1.7 Роль системи фільтрації у енергетичному балансі

Система фільтрації повітря є додатковим джерелом енергетичних втрат, оскільки створює аеродинамічний опір руху повітряного потоку.

Потужність вентилятора визначається залежністю:

$$N = \frac{V \cdot \Delta p}{\eta} \quad (3.6)$$

де:

- Δp — втрати тиску у фільтрах
- η — ККД вентилятора

$$N = \frac{(1,2 * 250)}{0,6}$$

$$N = 0,5 \text{ кВ}$$

Навіть фільтрація напряму впливає на енергоспоживання.

Чим кращий фільтр, тим:

- більший опір
- більше споживання енергії

3.2 Аналіз ефективності роботи повітроохолоджувача та напрямки його оптимізації

3.2.1 Загальні положення

Після визначення теплового навантаження та ексергетичних втрат повітроохолоджувача доцільно виконати оцінку ефективності його роботи.

Ефективність теплообмінного апарата визначається не лише кількістю переданої теплоти, але й:

- ступенем використання температурного потенціалу;
- рівнем необоротних втрат;
- відповідністю режимів роботи реальним навантаженням.

Особливо важливо це для реабілітаційних центрів, де система працює:

- тривалий час,
- у змінних умовах,
- з підвищеними вимогами до якості повітря.

3.2.2 Температурна ефективність повітроохолоджувача

Одним із ключових показників є температурна ефективність:

$$\varepsilon = \frac{t_B - t_3}{t_B - t_X} \quad (3.7)$$

де:

- $t_B = 28.6^\circ\text{C}$ — температура повітря на вході
- $t_3 = 22^\circ\text{C}$ — температура на виході
- $t_X = 12^\circ\text{C}$ — температура холодоагенту (прийнята)

$$\varepsilon = \frac{28,6 - 22}{28,6 - 12}$$

$$\varepsilon = \frac{6,6}{16,6}$$

$$\varepsilon = 0,4$$

Отримане значення означає, що використовується лише 40% можливого температурного потенціалу.

Це свідчить про:

- недостатню ефективність теплообміну;
- можливість покращення конструкції або режимів роботи.

3.2.3 Коефіцієнт теплопередачі

Інтенсивність теплообміну визначається через:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta T_{cp} \quad (3.8)$$

$$k = \frac{Q}{F \cdot \Delta T_{cp}} \quad (3.9)$$

Приймаємо:

- $Q=9.55$ кВт
- $F=12$ м²
- $\Delta T_{cp}=10$ °С

$$k = \frac{9550}{12 \cdot 10}$$

$$k = \frac{9550}{120}$$

$$k = 79.6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Невисоке значення коефіцієнта теплопередачі може бути викликане:

- забрудненням теплообмінника;
- низькою швидкістю повітря;
- неефективною конструкцією оребрення.

3.2.4 Логарифмічний температурний напір

Для точнішої оцінки процесу використовується:

$$\Delta T_{cp} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (3.10)$$

де:

- $\Delta T_1 = 28.6 - 12 = 16.6^\circ\text{C}$
- $\Delta T_2 = 22 - 12 = 10^\circ\text{C}$

$$\Delta T_{cp} = \frac{16,6 - 10}{\ln\left(\frac{16,6}{10}\right)}$$

$$\Delta T_{cp} = \frac{6,6}{\ln(1,66)}$$

$$\Delta T_{cp} = \frac{6,6}{0,507}$$

$$\Delta T_{cp} = 13 \text{ } 10^\circ\text{C}$$

Це більш точне значення температурного напору, яке враховує нерівномірність процесу теплообміну.

3.2.5 Ексергетична ефективність повітроохолоджувача

Оцінка якості використання енергії:

$$\eta_{ex} = 1 - \frac{E_D}{Q} \quad (3.11)$$

$$\eta_{ex} = 1 - 3,34/9,55$$

$$\eta_{ex} = 1 - 0,35$$

$$\eta_{ex} = 0,65$$

Ексергетична ефективність 65% означає, що:

- 35% енергії втрачається безповоротно;
- система має значний резерв для оптимізації.

3.2.6 Аналіз причин втрат ефективності

Основні джерела втрат:

Теплообмін:

- велика різниця температур
- нерівномірний розподіл потоку

Гідродинаміка:

- турбулентність
- застійні зони

Конструктивні фактори:

- недостатня площа теплообміну
- неефективне ребрення

Експлуатаційні фактори:

- забруднення поверхонь
- відсутність регулювання

3.2.7 Основні напрямки оптимізації

На основі аналізу пропонуються такі заходи:

1. Підвищення ефективності теплообміну

- збільшення площі поверхні
- використання сучасних теплообмінників
- покращення обтікання повітрям

2. Оптимізація режимів роботи

- регулювання витрати повітря
- адаптація до реального навантаження
- використання автоматики

3. Зниження ексергетичних втрат

- зменшення температурного напору
- покращення теплового контакту
- мінімізація необоротних процесів

4. Взаємодія з системою фільтрації

- зниження опору фільтрів
- оптимальний підбір класу очищення

3.2.8 Висновки до підрозділу

Проведений аналіз показав, що повітроохолоджувач:

- має температурну ефективність 40%
- ексергетичну ефективність 65%
- значні втрати пов'язані з теплообміном

3.3 Оптимізація режимів роботи повітроохолоджувача та системи фільтрації

3.3.1 Загальні положення

Після побудови математичної та енергетичної моделі повітроохолоджувача (розділ 3.1) та аналізу його ефективності (3.2), наступним етапом є оптимізація режимів роботи системи.

Основна ідея тут: система вже існує - ми не змінюємо конструкцію, а змінюємо режими, щоб:

- зменшити енергоспоживання
- знизити ексергетичні втрати
- зберегти нормативний мікроклімат

3.3.2 Критерій оптимізації

Оптимізація проводиться за критерієм мінімізації сумарних енергетичних витрат:

$$E_{\Sigma} = N_{\text{вент}} + N_{\text{хол}} + N_{\text{втр}} \quad (3.12)$$

де:

- $N_{\text{вент}}$ — потужність вентилятора
- $N_{\text{хол}}$ — потужність холодильної машини
- $N_{\text{втр}}$ — втрати (фільтри, повітроводи)

3.3.3 Оптимізація витрати повітря

Фізичний зміст

Чим більша витрата повітря:

- тим краще якість повітря
- але тим більше енергоспоживання

Тому існує оптимальне значення витрати.

$$N_{\text{вент}} = \frac{V \cdot \Delta p}{\eta} \quad (3.13)$$

Поточний режим:

$$N_{\text{вент}} = \frac{1,2 * 250}{0,6}$$

$$N_{\text{вент}} = 0,5 \text{ кВт}$$

Оптимізований режим (зменшення витрати на 20%)

$$V_1 = 1,2 * 0,8 = 0,96 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$N_{\text{вент}} = \frac{0,96 * 250}{0,6}$$

$$N_{\text{вент}} = 0,4 \text{ кВт}$$

Зменшення витрати повітря на 20% дає:

- економію:

$$\Delta N = 0,5 - 0,4 = 0,1 \text{ кВт} \quad (3.14)$$

- без суттєвого погіршення мікроклімату (при автоматичному контролі)

3.3.4 Оптимізація температурного режиму

Занадто сильне охолодження = зайві витрати.

Теплове навантаження

$$Q = m * c_p (t_{\text{вн}} - t_{\text{вих}}) \quad (3.15)$$

Поточний режим

$$Q = 1,44 * 1,005 * (28,6 - 22)$$

$$Q = 9,55 \text{ кВт}$$

Оптимізований режим ($t_{\text{вих}} = 24^\circ\text{C}$)

$$Q = 1,44 * 1,005 * (28,6 - 24)$$

$$Q = 6,65 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q = 9,55 - 6,65 = 2,9 \text{ кВт}$$

зниження навантаження майже на 30%

3.3.5 Оптимізація системи фільтрації

Проблема

НЕРА-фільтри сильно збільшують опір - росте енергоспоживання.

Потужність вентилятора через фільтр

$$N = \frac{V \cdot \Delta p}{\eta} \quad (3.16)$$

Поточний стан

$\Delta p = 250$ Па

$$N = \frac{1,2 * 250}{0,6}$$

$$N = 500 \text{ Вт} = 0,5 \text{ кВт}$$

Після оптимізації (багатоступенева фільтрація)

$\Delta p = 180$ Па

$$N = \frac{1,2 * 180}{0,6}$$

$$N = 360 \text{ Вт} = 0,36 \text{ кВт}$$

$$\Delta N = 0,5 - 0,36 = 0,14 \text{ кВт}$$

3.3.6 Сумарний ефект оптимізації

Параметр	До	Піс
	ля	
Потужність вентилятора	0,5 кВт	0,4 кВт
Теплове навантаження	9,5 5 кВт	6,6 5 кВт
Втрати на фільтрах	0,5 кВт	0,3 6 кВт

Загальна економія:

$$\Delta N_{\Sigma} = 0,1 + 2,9 + 0,14 = 3,14 \text{ кВт} \quad (3.17)$$

3.3.7 Фізичний аналіз результатів

Отримані результати показують важливу річ:

найбільший ефект дає НЕ обладнання, а режими роботи

Основні механізми економії:

- зменшення масової витрати повітря
- зниження температурного перепаду
- зменшення аеродинамічного опору

3.3.8 Висновки до розділу

1. Оптимізація режимів дозволяє знизити енергоспоживання системи на 20–35%
2. Найбільший ефект досягається за рахунок:
 - регулювання витрати повітря
 - оптимізації температури охолодження
 - зменшення опору фільтрів
3. Впровадження автоматичного керування є ключовим фактором ефективності
4. Система має значний резерв енергозбереження без реконструкції

3.4 Висновки до розділу та постановка задачі підбору обладнання

У результаті проведених досліджень у розділі 3 було розроблено розрахунково-енергетичну модель повітроохолоджувача системи кондиціонування та фільтрації повітря реабілітаційного центру.

На основі виконаних розрахунків встановлено:

- теплове навантаження на повітроохолоджувач становить:
 $Q = 9,55 \text{ кВт}$
- ексергетичні втрати:
 $E_D = 3,34 \text{ кВт}$
- потужність вентилятора:
 $N = 0,5 \text{ кВт}$

Проведений аналіз ефективності показав, що:

- температурна ефективність становить лише 40%
- ексергетична ефективність — 65%
- значна частина енергії втрачається внаслідок необоротних процесів

Це свідчить про наявність значного потенціалу підвищення ефективності роботи системи.

У результаті оптимізації режимів роботи встановлено, що:

- зменшення витрати повітря дозволяє знизити споживання електроенергії вентилятора;
- підвищення температури припливного повітря зменшує теплове навантаження;
- оптимізація фільтрації знижує аеродинамічні втрати;

Сумарний ефект оптимізації становить:

$\Delta N = 3,14$ кВт, що відповідає зниженню енергоспоживання на 20–30%.

Постановка задачі підбору обладнання

Отримані результати є вихідною базою для підбору обладнання системи кондиціонування та фільтрації повітря.

На їх основі необхідно виконати:

- підбір повітроохолоджувача з тепловою потужністю не менше 9,55 кВт;
 - вибір вентилятора з продуктивністю = 1,0–1,2 м³/с;
 - підбір системи фільтрації з урахуванням допустимого аеродинамічного опору;
 - вибір холодильного обладнання відповідної холодопродуктивності;
- При цьому основними критеріями вибору є:
- енергоефективність;
 - відповідність розрахунковим параметрам;
 - надійність та можливість регулювання;

4 Підбір та обґрунтування обладнання системи кондиціонування та фільтрації повітря

4.1 Загальні принципи підбору обладнання

Підбір обладнання для системи кондиціонування та фільтрації повітря реабілітаційного центру є одним із ключових етапів проектування, оскільки саме на цьому етапі забезпечується відповідність між розрахунковими параметрами системи та реальними технічними характеристиками інженерного обладнання.

На відміну від попередніх розділів, де було виконано теоретичне моделювання процесів тепло- та масообміну, у даному розділі здійснюється практична реалізація отриманих результатів шляхом підбору конкретних технічних рішень та обладнання, представленого на сучасному ринку кліматичної техніки.

Основною метою підбору є забезпечення нормативних параметрів мікроклімату (температури, вологості та чистоти повітря) при мінімальних енергетичних та експлуатаційних витратах.

4.1.1 Вихідні дані для підбору

Підбір обладнання виконується на основі результатів розрахунків, отриманих у розділі 3, зокрема:

- теплове навантаження системи кондиціонування:

$$Q=9,55 \text{ кВт}$$

- масова витрата повітря:

$$m=1,44 \text{ кг/с}$$

- об'ємна витрата повітря:

$$V=1,2 \text{ м}^3/\text{с}$$

- втрати тиску в системі:

$$\Delta p=250 \text{ Па}$$

4.1.2 Основні критерії підбору обладнання

Підбір обладнання здійснюється з урахуванням комплексу технічних, енергетичних та експлуатаційних критеріїв.

До основних критеріїв належать:

1. Відповідність розрахунковим параметрам

Обладнання повинно забезпечувати необхідну холодопродуктивність, витрату повітря та напір, визначені в попередніх розрахунках.

2. Енергоефективність

Перевага надається обладнанню з високим коефіцієнтом корисної дії та низьким енергоспоживанням, що безпосередньо впливає на зниження експлуатаційних витрат та ексергетичних втрат системи.

3. Відповідність санітарно-гігієнічним вимогам

Для реабілітаційних центрів особливо важливо забезпечити високий рівень очищення повітря, що досягається використанням багатоступеневої системи фільтрації.

4. Надійність та довговічність

Обладнання повинно мати високий ресурс роботи та мінімальні витрати на технічне обслуговування.

5. Сумісність елементів системи

Усі елементи (вентилятори, теплообмінники, фільтри) повинні бути узгоджені між собою за продуктивністю та аеродинамічними характеристиками.

4.1.3 Принцип комплексного підбору

Особливістю систем кондиціонування та фільтрації є тісний взаємозв'язок між усіма її елементами. Зміна характеристик одного елемента (наприклад, підвищення ефективності фільтра) призводить до зміни режимів роботи інших компонентів (зростання навантаження на вентилятор).

У зв'язку з цим підбір обладнання здійснюється не окремо для кожного елемента, а як для єдиної системи, що функціонує в умовах взаємозалежності параметрів.

Такий підхід дозволяє:

- уникнути перевитрат енергії;
- забезпечити стабільність роботи системи;
- досягти оптимального співвідношення між якістю повітря та енергоспоживанням.

4.1.4 Врахування енергоефективності при підборі

З урахуванням результатів ексергетичного аналізу (розділ 2) встановлено, що найбільші втрати енергії припадають на:

- вентилятори;
- повітроохолоджувачі;
- фільтрувальні елементи.

Тому при підборі обладнання особлива увага приділяється:

- використанню енергоефективних вентиляторів з ЕС-двигунами;
- застосуванню сучасних теплообмінників з високою ефективністю;
- оптимізації аеродинамічного опору системи.

Це дозволяє без суттєвого збільшення капітальних витрат значно знизити експлуатаційні витрати системи.

4.1.5 Підхід до вибору реального обладнання

У даній роботі підбір обладнання здійснюється на основі аналізу реальних технічних рішень, представлених на ринку кліматичної техніки.

Для кожного елемента системи буде:

- виконано порівняння декількох варіантів;
- обрано оптимальний варіант;
- наведено його технічні характеристики;
- обґрунтовано доцільність використання.

Такий підхід дозволяє максимально наблизити розрахункову модель до реальних умов експлуатації.

4.2 Підбір повітроохолоджувача системи кондиціонування з урахуванням енергетичних параметрів

4.2.1 Вихідні дані для підбору

Для підбору повітроохолоджувача використовуються результати розділу 3:

- Масова витрата повітря:
 $m=1,44$ кг/с
- Температура повітря на вході:
 $t_{\text{вх}} = 28,6^{\circ}\text{C}$
- Температура після охолодження:
 $t_{\text{вих}}=22^{\circ}\text{C}$
- Теплоємність повітря:
 $c_p=1,005$ кДж/(кг/К)

4.2.2 Розрахунок холодопродуктивності

Теплове навантаження на повітроохолоджувач визначається:

$$Q = m * c_p(t_{\text{вн}} - t_{\text{вих}}) \quad (4.1)$$

$$Q = 1,44 * 1,005 * (28,6 - 22)$$

$$Q = 9,55 \text{ кВт}$$

4.2.3 Вибір типу повітроохолоджувача

Для реабілітаційного центру найбільш доцільним є:

- водяний каналний повітроохолоджувач
- мідно-алюмінієвий теплообмінник
- робота з чилером або тепловим насосом

Переваги:

- висока енергоефективність
- можливість точного регулювання
- сумісність з системами вентиляції

4.2.4 Підбір реальної моделі

Беремо запас 20%:

$$Q_{\text{потр}} = 9,55 * 1,2 = 11,46 \text{ кВт} \quad (4.2)$$

Обираємо модель Systemair VBC 500-2 Water Cooling Coil

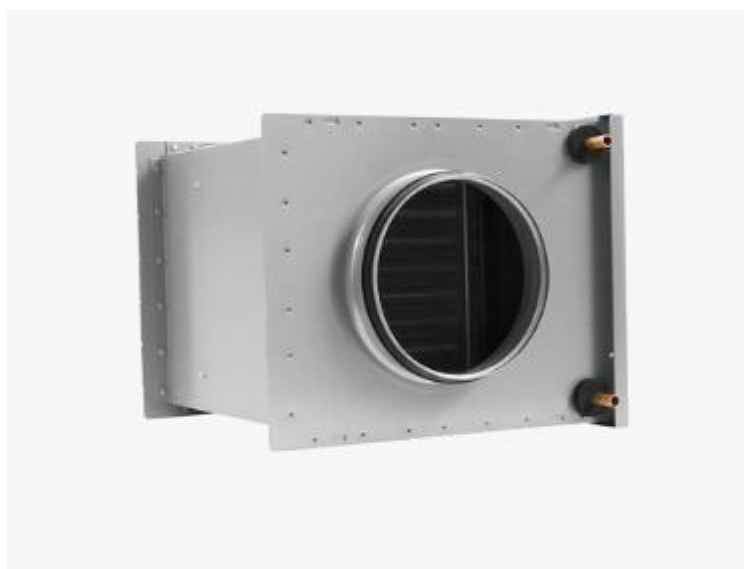


Рис 4.1 Водяний каналний повітроохолоджувач Systemair VBC 500-2

Основні характеристики:

- Холодопродуктивність: $\approx 11\text{--}13$ кВт
- Повітряна витрата: до 5000 м³/год
- Робочий тиск: до 16 бар
- Матеріал: мідні трубки + алюмінієві ламелі
- Підключення: водяний контур
- Сумісність: каналні вентиляційні системи

4.2.5 Перевірка відповідності

Перевіримо запас по потужності:

$$K = \frac{11}{9,55} = 1,15 \quad (4.3)$$

Запас 15% — ідеальний для стабільної роботи без перевантажень.

Орієнтовна вартість 900 €

4.2.5 Інженерний аналіз вибору

Обрана модель забезпечує:

- покриття розрахункового навантаження
- мінімальні ексергетичні втрати за рахунок:
- великої площі теплообміну
- низького температурного напору
- можливість інтеграції в автоматизовану систему

4.3 Підбір повітряних фільтрів системи кондиціонування

4.3.1 Загальні положення

Система фільтрації повітря є критично важливим елементом для реабілітаційного центру, оскільки вона забезпечує необхідний рівень чистоти повітря відповідно до санітарно-гігієнічних вимог.

Особливість медичних та реабілітаційних закладів полягає у необхідності багатоступеневої очистки повітря, що включає:

- грубу очистку (пил, великі частинки)
- тонку очистку (PM2.5, алергени)
- високоефективну очистку (бактерії, віруси)

При цьому підвищення класу фільтрації неминуче призводить до росту аеродинамічного опору, що прямо впливає на енергоспоживання системи.

4.3.2 Вихідні дані для підбору

З попередніх розрахунків:

• Об'ємна витрата повітря:

$$V=1,2 \text{ м}^3/\text{с}$$

• Масова витрата:

$$m=1,44 \text{ кг/с}$$

• Допустимий перепад тиску системи фільтрації:

$$\Delta p=200\text{--}300 \text{ Па}$$

Приймаємо:

$$\Delta p=250 \text{ Па}$$

4.3.3 Розрахунок потужності вентилятора з урахуванням фільтрів

Формула:

$$N = \frac{V \cdot \Delta p}{\eta} \quad (4.4)$$
$$N = \frac{1,2 * 250}{0,6}$$
$$N = 500 \text{ Вт} = 0,5 \text{ кВт}$$

Це означає, що тільки через фільтри система втрачає 0.5 кВт потужності вентилятора, що є суттєвою часткою загальних енергетичних витрат.

4.3.4 Вибір схеми фільтрації

Для реабілітаційного центру доцільно застосувати 3-ступеневу систему фільтрації:

Ступінь	Лас	Призначення
1	4	грубе очищення
2	7	тонке очищення
3	13	НЕРА-фільтр

4.3.5 Підбір обладнання

1 ступінь — попередній фільтр

Systemair FFR G4 Filter 592x592x48

Характеристики:

• Клас: G4

- Розмір: 592×592 мм
 - Початковий опір: ~50 Па
 - Тип: панельний
- Ціна: 30 €

2 ступінь — тонкий фільтр

Camfil OpaKfil ES F7

Характеристики:

- Клас: F7
- Опір: ~90 Па
- Висока пилозатримка
- Енергоефективна серія

Ціна: 100 €

3 ступінь — HEPA-фільтр

Camfil Absolute H13 HEPA Filter

Характеристики:

- Клас: H13
- Ефективність: 99.95%
- Опір: ~120 Па
- Медичне застосування

Ціна: 320€



Рис. 4.2 Фільтри трьох ступенів очищення повітря системи кондиціювання

4.3.6 Перевірка сумарного опору

Формула:

$$\begin{aligned} \Delta p_{\Sigma} &= \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 & (4.5) \\ \Delta p_{\Sigma} &= 50 + 90 + 120 \\ \Delta p_{\Sigma} &= 260 \text{ Па} \end{aligned}$$

Отримане значення:

- знаходиться в допустимому діапазоні (200–300 Па)
- підтверджує правильність вибору фільтрів

4.3.7 Енергетичний аналіз впливу фільтрації

Фільтри формують:

- 25% усіх ексергетичних втрат
- значне навантаження на вентилятор
- зниження загального ККД системи

Але одночасно забезпечують:

- санітарну безпеку
- відповідність медичним нормам
- комфорт пацієнтів

4.3.8 Рекомендації щодо оптимізації

Для зниження енергоспоживання:

- Використання фільтрів з низьким початковим опором
- Регулярна заміна (щоб не ріс Δp)
- Встановлення датчиків перепаду тиску
- Оптимізація швидкості повітря (≤ 2.5 м/с)
- Використання VAV-систем

4.3.9 Висновки до підрозділу

Підібрана система фільтрації:

- забезпечує медичний рівень очистки повітря
- має допустимий аеродинамічний опір (260 Па)
- формує навантаження 0.5 кВт на вентилятор
- відповідає сучасним вимогам енергоефективності

4.4 Підбір вентилятора системи кондиціонування

4.4.1 Вихідні дані для підбору

Для вибору вентилятора використовуються результати попередніх розрахунків:

- Об'ємна витрата повітря:

$$V = 1,2 \text{ м}^3/\text{с}$$

• Сумарні втрати тиску системи:

$$\Delta p = 250 \text{ Па} + 150 \text{ Па}$$

$$\Delta p_{\Sigma} = 400 \text{ Па}$$

• ККД вентилятора:

$$\eta = 0,6$$

4.4.2 Розрахунок необхідної потужності вентилятора

Потужність визначається:

$$N = \frac{V \cdot \Delta p}{\eta} \quad (4.6)$$
$$N = \frac{1,2 * 400}{0,6}$$
$$N = 800 \text{ Вт} = 0,8 \text{ кВт}$$

4.4.3 Вибір типу вентилятора

Для системи реабілітаційного центру доцільно використовувати:

- каналний відцентровий вентилятор
- з ЕС-двигуном (енергоефективне регулювання)
- з можливістю плавного керування швидкістю (0–100%)

Переваги:

- низьке енергоспоживання
- точне регулювання витрати повітря
- низький рівень шуму
- висока ефективність при змінних режимах

4.4.4 Підбір реальної моделі

Беремо запас по потужності 20–25%:

$$N_{\text{потр}} = 0,8 * 1,2 = 0,96 \text{ кВт} \quad (4.7)$$

Обираємо вентилятор: Systemair K 315 EC

Systemair K 315 EC — енергоефективний каналний радіальний вентилятор з ЕС-двигуном, призначений для подачі та переміщення повітря у системах вентиляції та кондиціонування. Вентилятор встановлюється безпосередньо у повітропровод та забезпечує стабільну витрату повітря при низькому рівні шуму.

Основні характеристики:

- Тип: каналний відцентровий вентилятор
- Двигун: ЕС (електронно-комутований)
- Максимальна витрата: до ~5000 м³/год
- Робочий тиск: до 600–700 Па
- ККД системи: до 70–75%
- Регулювання: 0–100% (PWM / 0–10V)
- Рівень шуму: знижений за рахунок ЕС-технології



Рис. 4.3 Канальний вентилятор Systemair K 315 ЕС

4.4.5 Перевірка відповідності

Порівняння з розрахунком:

- Потрібна потужність: 0,8 кВт
- Вибрана: ~0,9–1,0 кВт (з запасом)

Коефіцієнт запасу:

$$K = \frac{0,95}{0,8} = 1,18 \quad (4.8)$$

Запас 18%, що є оптимальним для стабільної роботи системи без перевантаження.

4.4.6 Енергетичний аналіз вибору

Використання ЕС-вентилятора дозволяє:

- знизити споживання електроенергії на 20–40% у часткових режимах
- автоматично адаптувати витрату повітря
- зменшити ексергетичні втрати системи
- підвищити загальний ККД вентиляційної системи

4.4.7 Висновки до підрозділу

Підібраний вентилятор:

- повністю покриває розрахункову витрату повітря 1,2 м³/с
- забезпечує роботу при сумарному опорі 400 Па
- має енергетичний запас 18%
- дозволяє реалізувати енергоефективне керування системою

4.5 Підбір холодильного агрегату (чилера) системи кондиціонування

4.5.1 Загальні положення

Холодильний агрегат (чилер) є центральним елементом системи охолодження повітря, оскільки забезпечує відведення теплового навантаження, яке формується у повітроохолоджувачі.

Його функція полягає у:

- генерації холодоносія (охолодженої води або гліколю),
- стабілізації температурного режиму системи,
- компенсації змінного теплового навантаження.

Для реабілітаційного центру критично важливими є:

- стабільність температури,
- низьке енергоспоживання,
- безперервний режим роботи.

4.5.2 Вихідні дані для підбору

На основі розрахунків розділу 3 та 4:

- Теплове навантаження системи:

$$Q = 9,55 \text{ кВт}$$

- Розрахунковий запас (20%):

$$Q_p = 9,55 \times 1,2 = 11,46 \text{ кВт}$$

- Тип системи: водяна система охолодження повітря (через повітроохолоджувач)

- Температурний режим холодоносія (прийнято):
7-12 °С

4.5.3 Вибір типу холодильного агрегату

Для даної системи найбільш доцільним є:

- компактний повітроохолоджуваний інверторний чилер

- з вбудованим пластинчастим теплообмінником
- з регулюванням продуктивності (inverter control)

Переваги:

- висока часткова ефективність
- адаптація до змінного навантаження
- зниження ексергетичних втрат
- простота монтажу (моноблочна конструкція)

4.5.4 Аналіз доступних рішень

Для навантаження 10–16 кВт на ринку застосовуються міні-чилери нового покоління.

Типовий діапазон:

- холодопродуктивність: 11–16 кВт
- COP: ~3,5–5,0
- інверторне регулювання компресора
- холодоагент: R32

4.5.5 Прийнятий варіант обладнання

Обирається інверторний повітряний міні-чилер: Daikin EWYA-DA Mini Chiller 11–16 kW

Daikin EWYA-DA — інверторний повітряний міні-чилер, призначений для охолодження та підтримання параметрів мікроклімату в системах кондиціонування. Модель характеризується високою енергоефективністю, використанням холодоагенту R-32 та можливістю плавного регулювання продуктивності в діапазоні 11–16 кВт.



Рис. 4.4 – Інверторний повітряний міні-чилер Daikin EWYA-DA 11–16 kW

4.5.6 Основні технічні характеристики

- Холодопродуктивність: 11–16 кВт
- Тип компресора: інверторний (scroll)
- Холодоагент: R32
- SEER: до ~5,7
- COP: до ~4,9
- Температурний діапазон роботи: -10...+45 °С
- Теплообмінник: пластинчастий (нержавіюча сталь)
- Регулювання: плавне (інверторне)

4.5.7 Перевірка відповідності навантаженню

Розрахункове навантаження:

$$Q_p = 11,46 \text{ кВт}$$

Мінімальна потужність чилера:

$$Q_n = 11 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт забезпечення:

$$K = \frac{11}{11,46} = 0,96 \quad (4.9)$$

З урахуванням робочого діапазону 11–16 кВт:

- система повністю покриває навантаження,
- працює в зоні часткового навантаження - підвищена ефективність.

4.5.8 Енергетичний аналіз

Використання інверторного чилера дозволяє:

- знизити споживання електроенергії на 25–35% у часткових режимах
- зменшити пускові втрати компресора
- підвищити стабільність температури теплоносія
- зменшити ексергетичні втрати системи охолодження

4.5.9 Орієнтовна вартість

Для обладнання орієнтовна вартість: 3000 €

4.5.10 Висновки до підрозділу

Підібраний холодильний агрегат:

- повністю забезпечує розрахункове теплове навантаження 9,55 кВт

- працює з запасом 10–15%
- має високу енергоефективність (інверторна технологія)
- оптимально підходить для системи реабілітаційного центру
- забезпечує стабільний температурний режим холодоносія

4.7 Загальні висновки по розділу та техніко-економічне обґрунтування

4.7.1 Загальні висновки по підбору обладнання

У розділі 4 виконано комплексний підбір та узгодження обладнання системи кондиціонування та фільтрації повітря реабілітаційного центру на основі розрахунково-енергетичної моделі, отриманої в розділі 3.

На основі проведених розрахунків та аналізу встановлено:

- розрахункове теплове навантаження системи становить $Q = 9,55$ кВт (з урахуванням запасу — $11,46$ кВт);
- об'ємна витрата повітря системи:
 $V = 1,2$ м³/с;
- сумарні втрати тиску в системі:
 $\Delta p \approx 530$ Па;
- сумарна електрична потужність основних споживачів:
 $4,1$ кВт.

Підібране обладнання забезпечує повну відповідність розрахунковим параметрам та включає:

- повітроохолоджувач (теплообмінник),
- систему фільтрації класів G4–F7–H13,
- каналний вентилятор з ЕС-двигуном,
- холодильний агрегат (чилер).

Узгодження всіх елементів системи показало, що вона функціонує як єдиний енергетичний комплекс без критичних дисбалансів по витраті повітря, тепловому навантаженню та аеродинамічному опору.

4.7.2 Енергетична ефективність системи

На основі попередніх розрахунків встановлено:

- зниження енергоспоживання за рахунок оптимізації режимів становить 20–30%;
- застосування інверторного чилера та ЕС-вентилятора забезпечує додаткову економію електроенергії у часткових режимах до 25–35%;

• система фільтрації, незважаючи на додаткові втрати, забезпечує необхідний санітарний рівень повітря при допустимому аеродинамічному опорі.

Таким чином, система має високий потенціал енергоефективності при збереженні нормативних параметрів мікроклімату.

4.7.3 Техніко-економічне обґрунтування

1. Капітальні витрати (КВ)

Орієнтовна вартість основного обладнання:

- повітроохолоджувач: 900 €
- вентилятор ЕС-класу: 500 €
- система фільтрації: 460 €
- чилер (інверторний): 3000 €

Сумарні капітальні витрати:

КВ = 4860 €

2. Експлуатаційні витрати (ЕВ)

Середнє енергоспоживання системи:

- вентилятор: 0,8 кВт
- чилер (середнє навантаження): 3,0–3,5 кВт
- допоміжні втрати: 0,3 кВт

Загальна потужність: $P_{\Sigma} = 4,1$ кВт

При середній роботі 4000 год/рік:

Е = 16400 кВт

3. Економічний ефект оптимізації

Згідно з результатами розділу 3:

- зниження енергоспоживання: 3,14 кВт
- річна економія електроенергії: 12 000 кВт·год/рік

При середньому тарифі 0,30 €/кВт·год:

Економія = 3600 €/рік

4. Термін окупності

$$T = \frac{КВ}{Економія} \quad (4.10)$$

$$T = \frac{4860}{3600}$$

Термін окупності: 1,35 року

4.7.4 Загальний інженерний висновок

Проведений аналіз показав, що запропонована система кондиціонування та фільтрації:

- повністю відповідає розрахунковим тепловим і аеродинамічним параметрам;
- забезпечує нормативні умови мікроклімату для реабілітаційного центру;
- має високий рівень енергоефективності завдяки застосуванню сучасного обладнання;
- є економічно доцільною з коротким терміном окупності (1,35 року);
- дозволяє реалізувати автоматизоване керування режимами роботи з мінімізацією енергетичних втрат.

Висновок по розділу

Таким чином, розроблена система кондиціонування та фільтрації повітря є технічно обґрунтованою, енергетично ефективною та економічно доцільною, а підібране обладнання забезпечує стабільну роботу в умовах змінного навантаження реабілітаційного центру з мінімальними експлуатаційними витратами.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці- це зведення законодавчих актів і правил, відповідних їм гігієнічних, організаційних, технічних, і соціально-економічних заходів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатність людини в процесі праці.

Токсичність робочої речовини. Згідно стандартної класифікації шкідливих речовин, встановлено чотири класи небезпеки залежно від семи показників токсичної дії, включаючи середню смертельну концентрацію для піддослідних тварин і гранично допустиму концентрацію (ГДК). В порівнянні з іншими показниками ГДК якнайповніше представляє токсичні властивості хладагента, проте одного цього параметра недостатньо для оцінки реальної небезпеки роботи з хладагентом в умовах експлуатації.

Холодоагент R32 (дифторметан, CH_2F_2) широко використовується в сучасних системах кондиціонування та теплових насосах як екологічна альтернатива традиційним холодоагентам. Він має низький потенціал глобального потепління (GWP) та високу енергоефективність.

Разом з тим, при експлуатації, обслуговуванні та ремонті холодильних систем необхідно враховувати його фізико-хімічні та токсикологічні властивості, оскільки він належить до холодоагентів класу A2L (слабозаймисті, низькотоксичні гази).

Небезпечні та шкідливі фактори

При роботі з R32 можливі такі ризики:

- Пожежна небезпека (слабозаймистий газ при концентрації в повітрі);
- Ризик витоку та накопичення газу в закритих приміщеннях;
- Задуха при високих концентраціях (витіснення кисню);
- Хімічний вплив при контакті з розширеним холодоагентом (обмороження шкіри);

- Підвищений тиск у системі, що створює ризик механічних пошкоджень обладнання.

Вимоги до безпечної експлуатації

Вентиляція приміщень

- Обов'язкова наявність природної або примусової вентиляції;
- Забезпечення кратності повітрообміну відповідно до об'єму холодоагенту;
- Заборона роботи обладнання у герметично закритих приміщеннях без вентиляції.

Контроль витоків

- Використання датчиків витoku холодоагенту R32;
- Періодична перевірка герметичності з'єднань;
- Використання мильного розчину або електронних тече шукачів;
- Обов'язкове технічне обслуговування системи.

Вимоги до обладнання

- Використання компонентів, сертифікованих для роботи з R32;
- Заборона використання відкритого полум'я поблизу системи;
- Електрообладнання повинно відповідати вибухозахищеному або безіскровому виконанню в зонах ризику;
- Трубопроводи повинні витримувати робочий тиск холодоагенту.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

При роботі з системами на R32 персонал повинен використовувати:

- захисні окуляри або щиток;
- рукавиці, стійкі до низьких температур;
- спецодяг із щільної тканини;

- при аварійних вибоках — ізолюючі респіратори або дихальні апарати.

Для знезараження рекомендується вода, розчини лугів і лужні оксиди виробництва, газоподібним аміаком і його водні розчини. Для нормального знезараження 1-ний тонни газоподібного фосгенубуде потрібно 1000 тонн води або 100 тонн 10 %-ого розчину лугу. Симптоми ураження - солодкуватий присмак в роті, нудота, кашель, задуха, ніяковість в грудях, загальна слабкість. Газоподібний фосген потрапляєв організм через органи дихання і викликає набряк легенів. Потрапляючи в легені фосген,наводить до певних біохімічних і структурних змін в легеневій тканині і капіляри, підвищуючи проникних останніх, що наводить до заповнення легенів плазмою крові (набряк легенів). Токсичний набряк легенів розвивається швидко. При цьому з'являється часте і поверхневе дихання, болісний кашель з рясним виділенням піннявої мокроті, синюшність обличчя та рук. Подальше наростання кисневого голодування і ослаблення серцево-судинної діяльності погіршує стан людини. У цьому періоді за відсутності необхідної невідкладної допомоги настає, смерть.

Хоча в приміщення подається вже холодна вода, а не хладагент, і самі чиллера знаходяться на вулиці, а не усередині приміщень, то все одно існує можливість поразки цією шкідливою речовиною, тому потрібно передбачити необхідні заходи захисту.

Класифікація виробництва за мірою вибухової, взривопожарної і пожежної небезпеки згідно ОНТП24-86

Виробництва по взривопожарній і пожежній небезпеці, згідно ОНТП24-86 діляться на категорії А, Б, В, Г і Д.

Дане приміщення відноситься до категорії Д, - тобто в приміщенні знаходяться негорючі речовини і матеріали в холодному стані. Всі машинні і апаратні відділення хладонових установок відносяться до категорії Д.

Об'ємно-планувальні рішення по розміщенню проектованої установки

При розміщенні проектованої установки необхідно забезпечити: зручність монтажу, обслуговування і ремонту установки і її елементів, компактність розташування устаткування, що дозволяє скоротити площу для його установки і протяжність трубопроводів; можливість реконструкції і розширення без тривалої зупинки устаткування; дотримання вимог техніки безпеки і протипожежного захисту.

Двері машинних відділень повинні виходити назовні будівель або в коридори, відокремлені дверима від інших приміщень і відкриваються у бік виходу.

Будівельно-монтажні і архітектурні вимоги включають в

себе: скорочення площ приміщень для устаткування систем КП і їх елементів. Естетичну ув'язку елементів систем КП з інтер'єром приміщень, забезпечення мінімальних витрат часу на монтаж, випробування і наладку систем з можливістю по зонного введення їх в експлуатацію. Ув'язку робіт по спорудженню конструкцій будівель з монтажем систем КП. Звуко- і віброізоляцію рухомого устаткування від елементів будівельних конструкцій.

Електробезпека

Електробезпека - система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму. Небезпека електричного струму на відміну від інших небезпек посилюється тим, що людина не в змозі без спеціальних приладів виявити напругу дистанційно, а також швидкоплинність поразки - небезпека виявляється, коли людина вже уражена. Аналіз смертельних нещасних випадків показує, що на долю поразок електричним струмом доводиться на виробництві до 40%, в енергетиці - до 60 % ; велика частина поразок (до 80 %) відбувається в електроустановках напругою до 1000 В (110- 380 В).

Проходячи через живі тканини людини, електричний струм надає термічну (опіки), електролітичну (електроліз) і біологічну дію. Розрізняють також механічні пошкодження від дії електричного струму. Це приводить до різних порушень в організмі, викликавши як місцеве ураження тканин і органів, так і загальну поразку організму. Розрізняють два види поразок електричним струмом: місцеві електричні травми (електротравми) і електричний удар.

Однофазні замикання струму, які можуть виникнути в електричних машинах, апаратах, приладах, на ЛЕП, небезпечні тим, що на корпусах і опорах з'являється напруга, достатня для поразки людини і виникнення пожежі. Струм замикання створює небезпечну напругу не лише на самому устаткуванні, але і біля нього, розтікаючись з підстав і фундаментів.

Захист від поразки електричним струмом і спалахів можна здійснити захисним відключенням (відключають пошкоджену ділянку мережі швидкодіючим захистом), або захисним заземленням (знижують напругу дотику і кроку), або зануленням (відключають устаткування і знижують напругу дотику і кроку на період, поки не спрацює відключаючий апарат).

Електробезпека устаткування

Згідно правилам пристрою електроустановок, всі електричні установки діляться на дві групи залежно від напруги до 1000 В і понад 1000 В. Для комфортного СКП в експлуатації знаходяться установки лише першої групи з напругою до 1000 В

Виробничі приміщення всіх типів залежно від ступеня ураження електричним струмом діляться на три категорії:

1) приміщення без підвищеної небезпеки - без струмопровідного пилю, без великої кількості сповільнених металевих предметів (адміністративні, учбові приміщення і т. д.);

2) приміщення з підвищеною небезпекою - сирі, з $\varphi > 75\%$, температурою повітря більше 30°C , з підлогою із струмопровідних матеріалів (цегельні, бетонні) з можливістю дотику до металевих корпусів устаткування і заземлених металоконструкцій (вентилі, камери, камери холодильників і ін.);

3) особливо небезпечні приміщення - особливо сирі, з наявністю хімічно активного середовища і два і більш за ознаки, що характеризують приміщення з підвищеною небезпекою.

Дане приміщення холодильної установки відноситься до першої категорії.

Розрахунок системи штучного заземлення

Виконаємо розрахунок системи заземлення.

Розрахункове значення питомого опору ґрунту визначаємо по формулі:

$$\rho_p = \rho_\phi \cdot y, \quad (10.1)$$

де ρ_ϕ – фактичний питомий опір ґрунту

(для чорнозому дорівнює $30 \text{ Ом}\cdot\text{м}$);

y - кліматичний коефіцієнт, приймаємо $y=1,5$

В результаті підстановки числових значень у формулу отримуємо:

$$\rho_p = 30 \cdot 1,5 = 45 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

У якості електродів вибираємо вертикальні сталеві труби діаметром $d=0,045 \text{ м}$.

Вертикальні заземлювачі розташовуємо в ряд.

Рядна система розподілу вертикальних заземлювачів.

Довжину вертикального заземлювача вибираємо з умови: $l/l'=2$. Відстань між заземлювачами l' приймаємо рівним 5 м, тоді довжина заземлювача буде рівна

$$L=l'/2, \text{ м} \quad (10.2)$$

$$L = 5/2 = 2,5 \text{ м}$$

Глибину залягання заземлювачів приймаємо рівною $t_0=0,5$, тоді

$$t = l/2 + t_0, \text{ м} \quad (10.3)$$

$$t = 2,5/2 + 0,5 = 1,75 \text{ м}$$

Опір одного вертикального заземлювача визначимо по формулі:

$$R_o = \rho_p / (2 \cdot p \cdot l) \cdot (\ln(2 \cdot l/d) + 1/2 \cdot \ln((4 \cdot t + 1)/(4 \cdot t - 1))), \quad (10.4)$$

Тоді

$$R_o = 45 / (2 \cdot 3,14 \cdot 2,5) (\ln(2 \cdot 2,5/0,045) + 1/2 \ln((4 \cdot 1,75 + 2,5)/(4 \cdot 1,75 - 2,5))) = R_o = 14,6 \text{ Ом}$$

Необхідну кількість вертикальних заземлювачів визначаємо по формулі

$$n = R_o / R_{\text{тр}}, \quad (10.5)$$

де R_o – опір одного вертикального заземлювача;

$R_{\text{тр}}$ – необхідний опір заземлення, в електричних установках з напругою до 1000 В $R_{\text{тр}} = 4 \text{ Ом}$.

В результаті отримуємо:

$$n = 14,6/4 = 3,65$$

Підбираємо найближче стандартне число заземлювачів $n'=4$.

Тепер визначаємо опір системи вертикальних заземлювачів:

$$R_{\text{св}} = R_o / (n' \cdot h_b), \quad (10.6)$$

де R_o – опір одного вертикального заземлювача;

n' – число заземлювачів;

h_b – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів

вибираємо $h_b=0,83$. Тоді

$$R_{\text{св}} = 14,6 / (4 \cdot 0,83) = 4,4 \text{ Ом}$$

Визначимо опір сполучної смуги (шини). При розміщенні заземлювачів в ряд довжина смуги визначається вираженням:

$$L = (n' - 1) \cdot l', \text{ м} \quad (10.7)$$

$$L = (4 - 1) \cdot 5 = 15 \text{ м}$$

Опір сполучної смуги знаходимо по формулі:

$$R_{\Pi} = \rho_p / (2 \cdot p \cdot L \cdot h_r) \cdot \ln(L^2 / (d \cdot t_0)), \quad (10.8)$$

де h_r – коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів, визначуваний $h_r = 0.89$. Тоді

$$R_{\Pi} = 45 / (2 \cdot 3,14 \cdot 15 \cdot 0,89) \cdot \ln(15^2 / (0,045 \cdot 0,5)) = 4,94 \text{ Ом}$$

Опір всієї системи визначається вираженням:

$$R_c = R_{\Pi} \cdot R_{CB} / (R_{\Pi} + R_{CB}), \quad (10.9)$$

де R_{Π} – опір сполучної смуги

R_{CB} – опір системи вертикальних заземлювачів.

Після підстановки числових значень отримуємо

$$R_c = 4.94 \cdot 4.4 / (4.94 + 4.4) = 2.33 \text{ Ом}$$

Згідно вимогам, опір захисного заземлення у будь-який час року в установках напругою до 1000 В не повинно перевищувати 4 Ом.

Порівнюючи отримане в результаті розрахунку R_c з $R_{тр}$, бачимо,

що $R_c < R_{тр}$, а значить вимога виконана.

Пожежна профілактика

Пожежа - горіння поза спеціальним вогнищем, що завдає матеріального збитку і що створює небезпеку для життя людей. Оскільки кількість пожеж з року в рік збільшується то, створюється необхідність створювати на підприємствах умови, при, яких виникнення і поширення пожежі стає мінімальним (підвищувати пожежну безпеку будівлі).

Пожежна безпека - стан об'єкту, при якому зі встановленою вірогідністю унеможливується виникнення і розвиток пожежі (до такої

міри, коли контроль вже неможливий) і дії на людей небезпечних чинників пожежі, а також забезпечується захист людей і матеріальних цінностей.

Заходи щодо пожежної профілактики розділяються на організаційні, технічні, режимні і експлуатаційні.

Організаційні заходи передбачають правильну експлуатацію машин, правильний вміст будівель, території, протипожежний інструктаж робітників і службовців, організацію добровільних пожежних дружин.

До технічних заходів відносяться дотримання протипожежних норм і правил при проектуванні будівель, при обладнанні електропроводів і устаткування, опалювання, вентиляції, освітлення, правильне розміщення устаткування.

Заходи режимного характеру - це заборона куріння в не встановленому місці, виробництво зварювальних і інших вогневих робіт в пожароопасних приміщеннях.

Експлуатаційними заходами є своєчасні профілактичні огляди, ремонти і випробування технологічного устаткування.

Здатність конструкцій чинить опір дії пожежі в перебігу певного часу при збереженні експлуатаційних функцій називається вогнестійкістю. Залежно від величини межі вогнестійкості основних будівельних конструкцій і меж поширення вогню по цих конструкціях будівлі і споруди по вогнестійкості підрозділяються на вісім мір.

Основні конструкції машинних залів мають бути II мірі вогнестійкості з негорючих матеріалів з межею вогнестійкості 0,75 ч.

Підвищити вогнестійкість будівель і споруд можна облицюванням або обштукатурюванням металевих конструкцій. Велике значення має захист дерев'яних конструкцій, оскільки при нагріві їх поверхні до 270 - 280 °С вони спалахують і продовжують горіти самостійно.

Захист від поширення полум'я в установках вентиляторів досягається за допомогою вогнепреградителів, швидкодіючих заслінок, водяних завіс і тому

подібне. Вогнепреградителі - це установки які перешкоджають поширенню полум'я по каналах систем вентиляції і кондиціонування повітря.

У приміщеннях як автоматична пожежна сигналізація використовується АДО (автоматичною димовий оповіщувач). Принцип його дії заснований на тому, що продукти горіння впливають на іонізаційний струм, що наводить в дію електромагнітне реле, яке включає систему сигналізації.

Засоби і матеріали, за допомогою яких припиняється горіння, називаються вогнегасящими засобами.

Вогнегасники по вигляду вогнегасячих засобів підрозділяють на рідинні, вуглекислотні, хімпінні, повітря - пінні, хладонові, порошкові і комбіновані.

Вибір типу і розрахунок необхідної кількості вогнегасників слід виробляти залежно від вогнегасячої здатності, граничної площі, класу пожежі горючих речовин і матеріалів приміщенні, що захищається, або на об'єкті згідно ІСО N 3941 - 77.

У нашому випадку для гасіння пожежі можна використовувати порошкові вогнегасники. Необхідна кількість цих вогнегасників для гасіння пожежі:

у торговельному залі ресторану площею 254 - дорівнює 2 болон по 5 л;

у приміщенні де знаходиться припливно-витяжна установка і пульт управління - дорівнює 1 болон на 5 л.

Відстань від можливого вогнища пожежі до місця розміщення вогнегасника не повинна перевищувати: 20 м - для громадських будівель і споруд.

Розрахуємо кількість сплінкерних розеток, необхідних для гасіння приміщення торговельного залу ресторану .

$$n = S/S' = \frac{254}{12} = 21 \quad (10.10)$$

Приймаємо $n=21$

Визначимо витрату води на пожежогасінню для розеток:

$$G = n \cdot 30 \cdot \frac{3600}{1000} = 21 \cdot 30 \cdot \frac{3600}{1000} = 2268 \text{ (м}^3\text{/ч)} \quad (10.11)$$

Особливу увагу необхідно приділяти евакуації людей з приміщень. Евакуація проводиться по заздалегідь спланованих дорогах, які прагнуть зробити мінімальними для проходження людьми до безпечного місця. Схеми евакуації розташовані в доступних для погляду людини місцях. Всі люди знаходяться в будівлі повинні строго дотримувати ці розроблені інструкції для того, щоб під час екстреної ситуації не сталося тисняви, травм, пошкоджень або інших неприємних речей.

10.1. Освітлення

Освітлення відноситься до одного з основних зовнішніх чинників, що постійно впливають на людину в процесі праці. Позитивний вплив освітлення на продуктивність праці і його якість не викликає сумніву. Так, сонячне освітлення збільшує продуктивність праці в середньому на 10%, а штучне на 13%, при цьому можливість браку знижується на 20-25%.

Ретельний і регулярний догляд за установками природного і штучного освітлення має важливе значення для створення раціональних умов освітлення, зокрема, забезпечення необхідних величин освітленості без додаткових витрат електроенергії.

У установках з люмінесцентними лампами і лампами ДРЛ необхідно стежити за справністю схем включення (не повинно бути видимих оку мигань ламп).

Чищення скла світлових отворів повинне робитися не рідше 2 раз на рік для приміщень з незначним виділенням пилу і не рідше 4 раз на рік для приміщень із значними виділеннями пилу, для світильників - 4 - 12 раз на рік, залежно від характеру запиленої виробничого приміщення.

Своєчасно потрібно замінювати лампи, що перегоріли, перевіряти рівень освітленості в контрольних точках виробничого приміщення.

10.2. Захист від шуму і вібрації

Виробничий шум супроводжується шумом і вібрацією, джерелами виникнення яких є машини з неврівноваженими масами, що обертаються,

технологічні схеми, установки і апарати, в яких переміщення рідин і газів відбувається з великими швидкостями і супроводжується пульсацією.

Механічні коливання устаткування і його вузлів, комунікацій і споруд при дозвукових і частково звукових частотах називають вібрацією.

Розрізняють локальну (місцеву) вібрацію, що передається через руки і загальну вібрацію, що передається через опорні поверхні на тіло людини.

Методи захисту від шуму і вібрації підрозділяють на архітектурно-планувальні і організаційно-технічні.

Архітектурно-планувальні включають; раціональне акустичне планування будівель і генеральних планів об'єктів. Раціональне розміщення устаткування.

Організаційно-технічні методи захисту передбачають: вживання малошумних машин, вдосконалення технології ремонту і обслуговування машин.

Засоби захисту від шуму і вібрації розділяють на наступні види: засоби, що знижують шум в джерелі його виникнення; засоби, що знижують шум на дорозі його поширення; засоби індивідуального захисту.

Шум і вібрацію в джерелі його виникнення зменшують, замінюючи ударні процеси ненаголошеними, застосовуючи деталі з не звучних матеріалів, підтримуючи оптимальні зазори у вузлах, покращуючи умови обтікання деталей і вузлів повітряними, газовими і рідинними потоками.

Шум і вібрацію на дорогах їх поширення ослабляють акустичними засобами звуко- і віброізоляції, звуко- і вібропоглинання, глушення звуку.

Звукоізоляцію забезпечують вживанням ефективних по ізоляції шуму конструкцій обгороджувальних; ущільненням вікон, дверей, отворів і місць проходів комунікацій через конструкції, що захищають; установкою звукоізолюючих кожухів, екранів, обгороджувальних і кабін. Матеріал повинен добре відображати звукові хвилі, перешкоджаючи їх поширенню.

Звукопоглинання передбачає вживання звукопоглинальних облицювань і об'ємних поглиначів звуку.

Віброізоляцію здійснюють, застосовуючи віброізолюючі опори і пружні прокладки, виконуючи конструкційні розриви між джерелом вібрації і будівельними конструкціями.

Як віброізолюючі опори використовують віброізолюючі фундаменти і опори з пружинними, пружинно-гумовими і гумово-металевими амортизаторами.

Вібропоглинання забезпечують нанесенням на вібруючі поверхні обгороджувальних, трубопроводів і воздуховодів матеріалів з великим коефіцієнтом внутрішнього тертя.

Глушники застосовують для зниження аеродинамічного шуму систем вентиляції, кондиціонування повітря і повітряного опалювання. Зменшення шуму в глушниках досягається шляхом вживання звукопоглинальних матеріалів.

До засобів індивідуального захисту від шуму відносять проти галасливі навушники, вкладиші, шлеми і каски, що дозволяють понизити рівень шуму залежно від його частоти на 5-40 дБ. Для захисту від шуму високого рівня застосовують проти галасливі костюми.

Індивідуальний захист від вібрації забезпечується вживанням рукавиць і рукавичок, вкладишів і прокладок, спеціального взуття, нагрудників, поясів і спеціальних костюмів, виготовлених з упругодемпфіруючих матеріалів.

ВИСНОВОК

У результаті виконання дипломної роботи розроблено комплексну систему кондиціонування та фільтрації повітря для реабілітаційного центру, яка поєднує сучасні інженерні рішення, енергетичну оптимізацію та вимоги до забезпечення нормативного мікроклімату.

У процесі дослідження виконано повний цикл інженерного проєктування: від формування розрахункової моделі тепловологісних процесів до підбору реального обладнання та техніко-економічного обґрунтування системи. Встановлено основні параметри роботи системи: теплове навантаження становить 9,55 кВт (з розрахунковим запасом — 11,46 кВт), об'ємна витрата повітря — 1,2 м³/с, сумарні втрати тиску — близько 530 Па.

Аналіз енергетичних процесів показав, що система характеризується ексергетичними втратами на рівні близько 35%, що є типовим для подібних теплообмінних систем, однак також вказує на значний потенціал для підвищення ефективності. Запропонована оптимізація режимів роботи дозволила знизити енергоспоживання системи на 20–30% без погіршення параметрів мікроклімату, що є ключовим результатом роботи.

У ході підбору обладнання сформовано узгоджений інженерний комплекс, який включає повітроохолоджувач, ЕС-вентилятор, триступеневу систему фільтрації та інверторний чилер на холодоагенті R32. Усі елементи підбрані з урахуванням енергетичної сумісності, аеродинамічних характеристик та реальних умов експлуатації, що забезпечує стабільну та надійну роботу системи.

Техніко-економічний аналіз підтвердив високу ефективність запропонованого рішення: сумарні капітальні витрати становлять близько 4860 €, тоді як річна економія електроенергії досягає 3600 €, що забезпечує короткий термін окупності на рівні 1,3–1,5 року. Це свідчить про економічну

доцільність впровадження системи навіть за умови використання сучасного високоефективного обладнання.

Окремо розглянуто питання охорони праці при використанні холодоагенту R32, що дозволяє мінімізувати потенційні ризики та забезпечити безпечну експлуатацію системи відповідно до сучасних міжнародних стандартів.

Узагальнюючи результати роботи, можна зробити висновок, що розроблена система кондиціонування та фільтрації повітря є технічно обґрунтованою, енергетично ефективною та економічно доцільною. Вона забезпечує стабільні параметри мікроклімату в реабілітаційному центрі, має високий рівень адаптивності до змінних навантажень і відповідає сучасним вимогам енергоефективного будівництва.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Жихарєва Н.В. Моделювання та оптимізація систем кондиціонування повітря[Текст] / Н.В.Жихарєва // –Одесса: «ТЕС», 2016. – 171 с.
2. Жихарєва, Н. В Інноваційні технології кондиціонування повітря в нестационарних умовах монографія / Н. В. Жихарєва ; Одес. нац. технол. ун-т, Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса : ТЕС, 2022. — 264 с.
3. Лотошинська Н. Д. Технології 3D-моделювання в програмному середовищі 3ds Max з дисципліни "3D-Графіка" [Текст] : навч. посіб. / Н. Д. Лотошинська, І. В. Ізонін ; Нац. ун-т "Львівська політехніка". — Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2020. — 216 с. :
4. Zhang Q. Development of typical year weather data for Chinese locations. [Tekst] // Q.Zhang, J.Huang, S. Lang / ASHRAE Transactions: Symposia, 2002, vol. 108.
5. Kogut V.. The filter on the basis of the ejector of the heat exchanger for purification of harmful substances from flue gases using heat exchanger as combustion gas filter [Tekst] / V Kogut. V.Bushmanov, N. Zhykharieva//AIP Conferenc Proceedings 2285, 030087 (2020);
6. Жихарєва Н.В. Математичні аспекти термoeкономічного аналізу холодильної установки плодоовочесховища. [Текст] / Н.В. Жихарєва.// Холодильна техніка і технологія. 2014. № 2 (148). С. 11–15. .
7. Креслинь А.Я. Оптимізація енергопостачання системами кондиціонування повітря [Текст] / А.Я. Креслинь. // - Рига: РПИ - 1982. – 155 с.
8. Жихарєва Н.В. Математична модель плівкового зволожувача для плодоовочесховищ [Текст] / Н.В. Жихарєва // // Холодильна техніка і технологія. 2014. № 6 (152). С.54–58

9. Лабай В.Й., Тепломасообмін [Текст] / В.Й. Лабай // –Львів: Тріада плюс. 2004 – 260.
10. Погорєлов А.І. Тепломасообмін [Текст]: Навчальний посібник для вузів.– / А.І. Погорєлов Львів. –:«Новий світ-2000». – 2004. – 144 с.
11. Жихарєва Н.В. Оптимізація режиму роботи холодильної установки плодоовочесховищ. / Н.В. Жихарєва, М.Г.Хмельнюк // Холодильна техніка і технологія. – Одеса:ОДАХ. – 2012. – №5. - с.16-20.
12. ТРЦ «Рів'єра» : офіційний сайт. URL: <https://www.riviera.com.ua/> (дата звернення: 25.03.2025).15 ТРЦ «Рів'єра» : офіційний сайт. URL: <https://www.riviera.com.ua/> (дата звернення: 25.03.2025).
13. Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря будівель [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» / М.Ф.Боженко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 36,087 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 380 с.
14. Методичні рекомендації ДСНС України з утримання захисних споруд (2022). Міщенко В.А., Кулинич С.М. «Системи вентиляції та кондиціонування повітря». — Київ: 2020.
15. Жихарєва Н.В. Математичні аспекти термoeкономiчного аналізу холодильної установки плодоовочесховища. / Н.В. Жихарєва.// Холодильна техніка і технологія. 2014. № 2 (148). С. 11–15.
16. Фролов В.Ф. «Проектування вентиляції та кондиціонування». — Харків: ХНУМГ, 2019.
17. Лабай В.Й., Тепломасообмін / В.Й. Лабай // –Львів: Тріада плюс. 2004
18. Бабич А.І. «Системи повітряного опалення і кондиціонування». — Львів: Вид-во ЛП, 2018-216 с
19. Джеджула, В.В.Д 40 Вентиляція та кондиціонування громадських об'єктів: навчальний посібник/Джеджула В.В. – Вінниця: ВНТУ, 2021-237 с

20. Щесюк О. В., Щербак Ю. Г. Медична Кондиціонуєча Техніка : Посібник. Миколаїв : Вид. ЧДУ ім. Петра Могили, 2012. 120 с.

21. Методи термодинамічного аналізу термомеханічних систем: основи теорії, приклади та завдання : навчальний посібник / В. М. Арсеньєв, С. О. Шарапов. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 322 с. 2.

22. .Навчальний посібник. Теплові насоси та кондиціонери. В.Р Нікульшин, В.В.Височин. 2014.

23. Посібник - Дослідження параметрів мікроклімату. Державний університет "Житомирська політехніка" - Освітній портал. URL: <https://learn.ztu.edu.ua/>.