



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**Дослідження та розробка системи мультizonальної VRF системи
кондиціонування повітря спорткомплексу «Вертикаль» м. Одеса.**

Здобувача Геніх К. В.
2 курсу ХМ-161а групи
Керівник к.т.н.доц _____.
Консультанти: к.т.н.доц. Когут В.О.

:

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 28/05/2026 протокол № 10

Завідувач кафедри ХУКП _____ Михайло ХМЕЛЬНЮК

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	<u>Низькотемпературної техніки та інженерної механіки</u>
Кафедра	<u>Холодильних установок і кондиціонування повітря</u>
Ступень вищої освіти	<u>Магістр</u>
Спеціальність	<u>142 «Енергетичне машинобудування»</u>
Освітньо-наукова програма	<u>Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

« 20 » 11 _____ 2025 ____ р.

З А В Д А Н Н Я **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Геніх Катерина Володимирівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження та розробка системи мультizonальної VRF системи кондиціонування повітря спорткомплексу «Вертикаль» м. Одеса».

Затверджена наказом академії від наказ № 51.03 від 30.01.2025 р.

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи: 28.05.2026

3. Вихідні дані роботи: м. Одеса, спорткомплекс «Вертикаль», Параметри у

приміщенні: $t_{в}=20^{\circ}\text{C}$, $\phi_{в}=50\%$. температура повітря в літку $+29,5^{\circ}\text{C}$, температура повітря в зимку -15°C , $h_{н}=18,5$ кДж/кг, $A_{м.с}=9,8^{\circ}\text{C}$.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: техніко-економічне обґрунтування, розрахунок процесів забезпечення подачі свіжого 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. Когут В.О..		
Економічний розділ	к.т.н.доц. Жихарева Н.В..		

7. Дата видачі завдання: 30.01.2026

Керівник _____ Когут В.О.
 Завдання прийняв до виконання _____ Геніх К.В.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вступ.	01.02-29.02.26	Виконано
2.	Техніко-економічне обґрунтування проекту.	02.03-30.03.26	Виконано
3.	Розрахунок процесів кондиціонування повітря.	01.04-08.04.26	Виконано
4.	Вибір і розрахунок системи повітророзподілення.	08.04-16.04.26	Виконано
5.	Вибір припливно-витяжної установки.	24.04-27.04.26	Виконано
6.	Підбір і розрахунок холодильної машини.	24.04-27.04.26	Виконано
7.	Охорона праці та навколишнього середовища.	28.04-30.04.26	Виконано
8.	Економічний розділ.	01.05-07.05.26	Виконано
9.	Висновки.	01.05-07.05.26	Виконано

Здобувач – дипломник _____ Геніх К. В.

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 _____ Геніх Катерина Володимирівна _____

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра Геніх, тема: «Дослідження та розробка системи мультizonальної VRF системи кондиціонування повітря спорткомплексу «Вертикаль» м. Одеса» складається з: 132 сторінок тексту, 20 рисунків, 10 таблиць, 45 посилань на літературні джерела.

У даній кваліфікаційній роботі розглянуто дослідження та проектування мультizonальної VRF (Variable Refrigerant Flow) системи кондиціонування повітря для спорткомплексу «Вертикаль» у місті Одеса. Проаналізовано сучасний стан систем кондиціонування повітря у спортивних будівлях, їх особливості, основні вимоги та переваги VRF-систем порівняно з традиційними рішеннями.

В роботі проведено аналіз технічних характеристик системи, виконано зонування приміщень з урахуванням функціонального призначення та температурних режимів, а також здійснено підбір обладнання та розробку принципів керування системою. Виконано розрахунок основних параметрів, що забезпечують ефективну роботу системи кондиціонування в умовах змінних теплових навантажень та зовнішніх впливів. Це основні завдання, які покладені в основу кваліфікаційної роботи.

За результатами досліджень запропоновано технічні рішення щодо інтеграції VRF системи в інженерну інфраструктуру спорткомплексу. Запропоновані рішення забезпечують підвищення енергоефективності, зниження експлуатаційних витрат та покращення мікроклімату для відвідувачів і персоналу.

Ключові слова: VRF-система, мультizonальне кондиціонування, спорткомплекс, енергоефективність, проектування, системи вентиляції та кондиціонування.

ABSTRACT

Master's thesis Genikh, topic: "Research and development of a multi-zone VRF air conditioning system for the sports complex "Vertical" in Odessa" consists of: 132 pages of text, 20 figures, 10 tables, 45 references to literary sources.

This thesis considers the research and design of a multi-zone VRF (Variable Refrigerant Flow) air conditioning system for the sports complex "Vertical" in Odessa. The current state of air conditioning systems in sports buildings, their features, basic requirements and advantages of VRF systems compared to traditional solutions are analyzed.

The work analyzes the technical characteristics of the system, performs zoning of premises taking into account functional purpose and temperature regimes, and also selects equipment and develops principles for system control. The main parameters that ensure the effective operation of the air conditioning system under conditions of variable thermal loads and external influences are calculated. These are the main tasks that form the basis of the qualification work.

Based on the research results, technical solutions for integrating the VRF system into the engineering infrastructure of the sports complex were proposed. The proposed solutions provide increased energy efficiency, reduced operating costs, and improved microclimate for visitors and staff.

Keywords: VRF system, multi-zone air conditioning, sports complex, energy efficiency, design, ventilation and air conditioning systems.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ МІКРОКЛІМАТУ У СПОРТИВНИХ КОМПЛЕКСАХ	11
1.1 Особливості формування мікроклімату у приміщеннях спортивних комплексів.....	12
1.2 Аналіз тепловологісних навантажень у спорткомплексі «Вертикаль»....	16
1.3 Нормативні вимоги до параметрів мікроклімату в спортивних спорудах.....	20
1.4 Нормативні вимоги до параметрів мікроклімату в спортивних спорудах	45
2 МУЛЬТИЗОНАЛЬНІ VRF-СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ.....	49
2.1 Класифікація сучасних систем кондиціювання повітря	50
2.2 Принцип роботи та конструктивні особливості мультизональних VRF-систем.....	52
2.3 Переваги мультизональних VRF-систем для спортивних комплексів.....	55
2.4 Енергетичні та термодинамічні аспекти роботи VRF-систем.....	59
2.5 Висновки до розділу 2	62
3 РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК МУЛЬТИЗОНАЛЬНОЇ VRF-СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ СПОРТКОМПЛЕКСУ «ВЕРТИКАЛЬ»	63
3.1 Розрахунок процесів кондиціювання повітря	65
3.2 Обґрунтування вибору та підбір обладнання мультизональної VRF-системи.....	84
3.3 Розрахунок повітряного фільтра.....	100
3.4 Вибір і розрахунок системи повітророзподілення.....	108
3.5 Висновки до розділу 3.....	111

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ	113
4.1 Загальні положення.....	113
4.2 Основні небезпечні та шкідливі фактори при експлуатації систем кондиціювання.....	114
4.3 Вимоги охорони праці при експлуатації систем кондиціювання.....	115
4.4 Пожежна безпека при експлуатації систем кондиціювання.....	116
4.5 Охорона навколишнього середовища при експлуатації систем кондиціювання.....	117
4.6 Організаційні та профілактичні заходи.....	118
4.7 Висновки до розділу.....	119
5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	120
ВИСНОВКИ	125
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	129

ВСТУП

Актуальність теми.

Сучасні спортивні комплекси належать до категорії об'єктів громадського призначення з підвищеними вимогами до параметрів мікроклімату. Це зумовлено не лише тривалим перебуванням людей у приміщеннях, а й значною інтенсивністю фізичних навантажень, що супроводжуються високими тепловиділеннями та вологовиділеннями. За таких умов система кондиціонування повітря повинна забезпечувати одночасно комфорт, безпеку, енергоефективність і гнучкість регулювання параметрів у різних функціональних зонах будівлі.

Характерною особливістю спортивних комплексів є суттєва нерівномірність тепловологісних навантажень у часі та просторі. Тренажерні зали, зали групових занять, універсальні спортивні зали, роздягальні та адміністративні приміщення мають різні режими експлуатації й вимагають індивідуальних параметрів температури, відносної вологості та повітрообміну. При цьому кількість відвідувачів і рівень фізичної активності можуть змінюватися впродовж доби в кілька разів, що унеможливорює ефективну роботу систем кондиціонування з постійною або ступінчасто регульованою продуктивністю.

Кліматичні умови м. Одеса додатково ускладнюють забезпечення нормативного мікроклімату. У теплий період року спостерігаються високі температури зовнішнього повітря в поєднанні з підвищеною вологістю, а в холодний період — значні тепловтрати через огорожувальні конструкції та інфільтрацію. За наявності великої площі застосування характерним є також істотний вплив сонячної радіації, що призводить до формування значних пікових теплоприпливів у приміщеннях спортивних споруд.

Традиційні центральні системи кондиціонування повітря (чиллер-фанкойл, центральні кондиціонери з розгалуженою мережею повітроводів) у

таких умовах часто виявляються енергетично неефективними та технічно негнучкими. Їх використання супроводжується значними втратами енергії при транспортуванні повітря або теплоносія, складністю реалізації точного зонального регулювання та обмеженою можливістю адаптації до змінних теплових навантажень.

У зв'язку з цим особливу актуальність набуває застосування мультizonальних систем кондиціонування повітря зі змінним потоком холодоагенту (VRF-систем). Такі системи поєднують інверторне керування продуктивністю, можливість індивідуального регулювання параметрів мікроклімату в кожній зоні та високу сезонну енергоефективність. Для спортивних комплексів VRF-технологія дозволяє забезпечити одночасно комфортні умови для спортсменів і відвідувачів та зниження експлуатаційних витрат, що є важливим як з технічної, так і з економічної точок зору.

Таким чином, дослідження та розробка мультizonальної VRF-системи кондиціонування повітря для спортивного комплексу «Вертикаль» м. Одеса є актуальним науково-технічним завданням, що відповідає сучасним тенденціям розвитку енергоефективних інженерних систем будівель.

Мета роботи та задачі дослідження

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження та розробка мультizonальної VRF-системи кондиціонування повітря спортивного комплексу «Вертикаль» м. Одеса з урахуванням особливостей формування тепловолоних навантажень, нормативних вимог до мікроклімату та принципів енергоефективної роботи систем.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі основні задачі:

- проаналізувати особливості формування мікроклімату та тепловолоних навантажень у приміщеннях спортивного

комплексу залежно від режимів експлуатації й кількості відвідувачів;

- визначити нормативні вимоги до параметрів повітря в спортивних спорудах відповідно до чинних будівельних і санітарно-гігієнічних норм;
- провести аналіз сучасних систем кондиціонування повітря та обґрунтувати доцільність застосування мультизональної VRF-системи для даного об'єкта;
- виконати розрахунок теплових і вологісних навантажень у теплий та холодний періоди року та визначити необхідний повітрообмін;
- здійснити підбір обладнання мультизональної VRF-системи та розробити принципову схему кондиціонування повітря;
- розробити систему автоматизованого керування з урахуванням змінних навантажень і зональної структури об'єкта;
- виконати техніко-економічне обґрунтування запропонованого рішення та оцінити його енергоефективність.

Методи дослідження

У роботі використано методи системного аналізу інженерних систем, теплотехнічних і теплофізичних розрахунків, методи аналізу тепловолоних процесів обробки повітря, а також елементи математичного та термoeкономічного моделювання. Для оцінки ефективності роботи системи застосовано порівняльний аналіз варіантів кондиціонування повітря з урахуванням енергетичних та експлуатаційних показників.

Теоретична та практична цінність роботи

Теоретична цінність роботи полягає в узагальненні та поглибленні знань щодо особливостей застосування мультизональних VRF-систем у спортивних спорудах зі змінними тепловолоними навантаженнями.

Практична цінність полягає в розробці конкретного інженерного рішення системи кондиціонування повітря для спортивного комплексу «Вертикаль», яке може бути використане при проектуванні та модернізації аналогічних об'єктів громадського і спортивного призначення.

Структура роботи

Пояснювальна записка складається зі вступу, п'яти розділів основної частини, висновків та переліку використаних джерел. У роботі послідовно розглянуто теоретичні основи формування мікроклімату, принципи роботи мультизональних VRF-систем, проведено інженерні розрахунки, підбір обладнання, а також техніко-економічну і безпекову оцінку запропонованого рішення.

1. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ МІКРОКЛІМАТУ У СПОРТИВНИХ КОМПЛЕКСАХ

Формування нормативного мікроклімату в сучасних спортивних комплексах належить до числа найбільш складних завдань інженерного забезпечення громадських будівель, оскільки такі об'єкти поєднують у собі високі вимоги до термічного комфорту, якості повітря, енергоефективності та адаптивності інженерних систем до змінних режимів експлуатації. У спортивних спорудах параметри внутрішнього середовища безпосередньо впливають не лише на самопочуття людини, а й на її фізіологічний стан, працездатність, швидкість відновлення після навантаження, безпеку проведення тренувального процесу та загальну ефективність використання будівлі. На відміну від житлових, офісних або адміністративних приміщень, спортивні комплекси характеризуються підвищеною динамікою внутрішніх тепловологісних навантажень, значною мінливістю кількості людей та різким коливанням рівня метаболічної активності користувачів, що ускладнює завдання підтримання стабільних параметрів мікроклімату. Саме тому в інженерній практиці спортивні споруди розглядаються як об'єкти з підвищеними вимогами до систем кондиціонування повітря, вентиляції та автоматизованого регулювання параметрів повітряного середовища.

У сучасному науково-технічному підході мікроклімат приміщень оцінюється не лише за традиційними показниками температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, а в контексті ширшої категорії якості внутрішнього середовища — Indoor Environmental Quality (IEQ). Відповідно до європейських підходів, внутрішнє середовище повинно забезпечувати допустимий тепловий стан людини, належну якість повітря, відсутність локального дискомфорту, прийнятні акустичні умови та достатню санітарно-гігієнічну безпеку. Стандарт EN 16798-1:2019 визначає параметри, які повинні враховуватися під час проектування систем опалення, вентиляції та

кондиціювання, зокрема температуру внутрішнього повітря, швидкість руху повітря, вертикальну нерівномірність температури, асиметрію променистої температури та допустимі рівні локального дискомфорту. Для спортивних споруд це має особливе значення, оскільки навіть незначні відхилення цих параметрів можуть негативно позначатися на стані людей при фізичних навантаженнях, коли терморегуляційні механізми організму працюють в інтенсивному режимі.

1.1 Особливості формування мікроклімату у приміщеннях спортивних комплексів

Мікроклімат спортивних комплексів є одним із ключових факторів, що визначають ефективність тренувального процесу, функціональний стан організму спортсменів та комфортне перебування відвідувачів і персоналу. На відміну від приміщень із відносно стабільним режимом використання, спортивні споруди характеризуються суттєвою варіативністю навантажень у часі та просторі, що пов'язано як зі зміною кількості людей, так і з високою інтенсивністю фізичної діяльності. У таких умовах система кондиціювання повітря повинна не просто компенсувати теплові надлишки, а забезпечувати підтримання стійкого, фізіологічно обґрунтованого та нормативно допустимого мікроклімату у кожній функціональній зоні будівлі. У пояснювальній записці до дипломної роботи справедливо зазначено, що спортивні комплекси, зокрема спорткомплекс «Вертикаль» м. Одеса, мають різні за призначенням приміщення — тренажерні зали, зали групових занять, роздягальні, адміністративні та допоміжні приміщення, — а отже потребують диференційованого підходу до формування параметрів внутрішнього повітря.

Основними параметрами мікроклімату, що підлягають нормуванню і контролю в приміщеннях спортивних споруд, є температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря, а також чистота повітря, яка визначається концентраціями пилу, CO₂, летких органічних сполук,

запахових домішок і біоаерозолів. У чинних будівельних і санітарних нормах України — зокрема у ДБН В.2.2-13-2003, ДБН В.2.5-67:2013 та ДСН 3.3.6.042-99 — зазначається, що для критих спортивних залів необхідно забезпечувати температурно-вологісні умови, які відповідають як характеру фізичної активності, так і гігієнічним вимогам до повітряного середовища. Разом із тим, сучасні міжнародні підходи, зокрема рекомендації ASHRAE та положення EN 16798-1, наголошують, що в спортивних приміщеннях слід оцінювати не тільки середні значення параметрів, а й рівень локального дискомфорту, повітряний розподіл та реальну відповідність умов потребам людей з різним рівнем фізичної активності.

Однією з найважливіших особливостей спортивних комплексів є домінування внутрішніх тепловологісних навантажень, насамперед від людей, які виконують фізичні вправи. За умов інтенсивної м'язової діяльності організм людини виробляє значну кількість тепла, яке лише частково витрачається на механічну роботу, тоді як основна його частина підлягає відведенню в навколишнє середовище шляхом конвекції, випромінювання і випаровування вологи. У звичайних громадських приміщеннях тепловиділення від однієї людини є відносно невеликими і досить стабільними, однак у спортивних залах ситуація кардинально інша: тепло- та вологовиділення змінюються залежно від типу тренування, його тривалості, щільності відвідування, температури повітря та навіть від індивідуальних фізіологічних особливостей користувачів. Саме тому в спортивному комплексі система кондиціонування повинна мати не лише достатню холодопродуктивність, а й високу швидкодію та гнучкість регулювання.

Особливого значення в таких умовах набуває вологісний режим. Під час інтенсивних тренувань людина втрачає велику кількість вологи через потовиділення та дихання. Якщо ця волога своєчасно не видаляється системами вентиляції або кондиціонування, відносна вологість у приміщенні

зростає, що призводить до погіршення умов тепловіддачі організму, зниження рівня теплового комфорту та підвищення відчуття задухи. Крім того, надмірна вологість може спричиняти конденсацію на холодних поверхнях, біологічне ураження конструкцій, неприємні запахи та прискорене зношування оздоблювальних матеріалів. Згідно з сучасними дослідженнями якості повітря у health clubs та спортивних приміщеннях, саме високий рівень вологості в поєднанні з недостатнім повітрообміном часто є причиною відхилення умов від комфортних і нормативних.

Ще одним визначальним чинником є якість повітряного середовища, оскільки при виконанні фізичних вправ зростає легенева вентиляція, і людина вдихає значно більший об'єм повітря, ніж у стані спокою. Це означає, що будь-які забруднення внутрішнього повітря — вуглекислий газ, дрібнодисперсний пил, продукти дезінфекції, леткі органічні речовини, мікробіологічні домішки — мають більш виражений вплив на самопочуття і здоров'я користувачів спортивного комплексу. Наукові огляди, присвячені IEQ у спортивних будівлях, показують, що проблеми якості повітря часто недооцінюються під час проєктування, хоча саме в спортивних залах через високу активність людей і підвищене аерозольне навантаження необхідний посилений контроль за повітрообміном та моніторингом CO₂. У ряді досліджень зазначено, що при недостатній вентиляції рівень CO₂ у спортзалах і фітнес-залах може перевищувати 1000 ppm, що є індикатором неадекватного повітрообміну й несприятливих умов перебування людей.

Суттєвою відмінністю спортивних комплексів від більшості інших громадських будівель є просторова та функціональна неоднорідність приміщень. У межах однієї будівлі можуть бути приміщення з великою площею та висотою, де відбуваються інтенсивні групові заняття, і невеликі побутові або адміністративні зони з принципово іншими вимогами до температури та повітророзподілу. Це означає, що універсальна централізована схема підтримання мікроклімату не забезпечує оптимальних

умов у кожній зоні. Наприклад, температура, комфортна для тренажерної зали, може бути недостатньою або надмірною для роздягальні чи адміністративного кабінету. Відповідно, система кондиціонування повітря повинна реалізовувати зональний принцип дії та мати можливість індивідуального регулювання параметрів у різних функціональних частинах об'єкта. Саме ця обставина в подальшому обумовлює доцільність вибору мультizonaльної VRF-системи.

Не менш важливим є врахування локального теплового комфорту, що визначається не лише температурою повітря, а й швидкістю повітряних потоків, температурою внутрішніх поверхонь огорожень, наявністю зон перегріву або переохолодження, а також стратифікацією температури по висоті приміщення. Для спортивних залів із великою висотою це питання є особливо актуальним, оскільки неправильно організований повітророзподіл може призводити до утворення застійних зон, локальних протягів або нерівномірного розподілу температури. Стандарт EN 16798-1 наголошує, що локальні фактори дискомфорту мають враховуватися на етапі проектування, а сучасні дослідження теплового комфорту в спортивних приміщеннях свідчать, що саме ці фактори часто визначають суб'єктивне сприйняття мікроклімату спортсменами та відвідувачами.

Для спорткомплексу «Вертикаль» м. Одеса ці питання є особливо актуальними також у зв'язку з кліматичними особливостями регіону. У теплий період року в Одесі спостерігаються високі температури зовнішнього повітря при підвищеній вологості, що значно ускладнює асиміляцію надлишкового тепла та вологи всередині будівлі. У холодний період року, навпаки, виникають суттєві тепловтрати через огорожувальні конструкції, а також необхідність забезпечення теплового комфорту в приміщеннях із різним режимом перебування людей. Таким чином, мікроклімат спортивних споруд формується під впливом не одного, а цілої сукупності факторів: архітектурно-планувальних, кліматичних, фізіологічних, технологічних та

санітарно-гігієнічних. Саме тому задача формування мікроклімату у спортивному комплексі повинна вирішуватися комплексно, із застосуванням сучасних систем кондиціювання, здатних адаптуватися до нестаціонарних режимів роботи об'єкта.

Отже, особливості формування мікроклімату в приміщеннях спортивних комплексів зводяться до таких основних положень: високої частки внутрішніх тепловологісних навантажень, значної мінливості режимів експлуатації, підвищених вимог до якості повітря, просторової неоднорідності та потреби у локальному й зональному регулюванні. З урахуванням цих обставин традиційні системи кондиціювання з постійною продуктивністю виявляються малоефективними, а для забезпечення нормативних параметрів мікроклімату потрібні системи з адаптивним керуванням і можливістю незалежного регулювання в кожній зоні.

1.2 Аналіз тепловологісних навантажень у спорткомплексі «Вертикаль»

Тепловологісні навантаження спортивного комплексу «Вертикаль» м. Одеса формуються під впливом комплексу зовнішніх і внутрішніх факторів, які суттєво відрізняються від навантажень, характерних для більшості громадських будівель. У пояснювальній записці до дипломного проєкту обґрунтовано зазначено, що даний об'єкт належить до споруд із високою динамікою тепловологісного режиму, оскільки в межах одного комплексу поєднуються приміщення різного функціонального призначення, а графік їх використання має виражений нерівномірний характер протягом доби. Відповідно, кількість людей, інтенсивність тренувань, тепловиділення, вологовиділення та потреба у вентиляції змінюються в широких межах, що ускладнює забезпечення стабільного мікроклімату традиційними системами кондиціювання.

До зовнішніх теплових впливів належать теплоприпливи через огороджувальні конструкції, інсоляція через світлопрозорі поверхні, інфільтрація зовнішнього повітря та сезонні коливання зовнішніх кліматичних параметрів. Для м. Одеса у теплий період року характерні високі температури зовнішнього повітря, які у проєкті приймаються на рівні близько $+29,5$ °C, а також підвищений вологовміст зовнішнього повітря. За наявності значної площі застосування фасадів це обумовлює суттєві сонячні теплоприпливи, особливо в денний період доби. У холодний період року температура зовнішнього повітря знижується до -15 °C, унаслідок чого різко зростають тепловтрати через стіни, вікна, покрівлю та інфільтрацію. Таким чином, уже на рівні зовнішніх впливів спорткомплекс експлуатується в умовах значного сезонного контрасту, який вимагає універсальної системи кондиціонування, здатної ефективно працювати і на охолодження, і на обігрів.

Однак, як свідчить аналіз, визначальними для даного об'єкта є саме внутрішні тепловологісні навантаження, зумовлені присутністю людей і їхньою фізичною активністю. У спортивному комплексі внутрішні теплоприпливи суттєво перевищують типові для офісних або навчальних будівель значення, оскільки під час тренувань організм людини виділяє значну кількість як явного, так і прихованого тепла. У твоїй пояснювальній записці наведено, що одна людина під час інтенсивного фізичного навантаження може виділяти 250–450 Вт явного тепла та 150–300 г/годологи, а в періоди максимального завантаження загальна тепловидільна здатність від людей у комплексі може перевищувати 100–150 кВт. Такі значення повністю узгоджуються з результатами сучасних досліджень спортивних середовищ, де наголошується, що спортсмени та активні користувачі формують значно вищі теплові й вологісні навантаження порівняно з малорухомими категоріями людей.

Особливістю спорткомплексу «Вертикаль» є нерівномірність навантажень за часом. У ранкові та денні години кількість відвідувачів може

бути відносно невеликою, тоді як у вечірній час, під час групових занять або пікових тренувань, навантаження зростає у кілька разів. Така експлуатаційна специфіка означає, що система кондиціонування не може проєктуватися лише на умовно «середній» режим роботи. Навпаки, вона повинна бути здатною працювати в широкому діапазоні продуктивності, реагуючи як на пікові стани, так і на часткове завантаження без суттєвого зниження енергоефективності. У наукових дослідженнях, присвячених спортивним спорудам, підкреслюється, що саме мінлива щільність заповнення приміщень разом із високою метаболічною активністю людей є головною причиною неефективності систем із постійною продуктивністю.



Рис. 1.2 Спортивний зал спорткомплексу «вертикаль»

Значний внесок у тепловий баланс комплексу роблять також штучне освітлення та спортивне обладнання. У спортивних залах із великою площею рівень освітленості повинен відповідати вимогам до безпечного виконання фізичних вправ, а це означає, що потужність систем освітлення може бути досить значною. Крім того, тренажери, електронні системи, допоміжне устаткування та побутові прилади також генерують тепло, яке необхідно враховувати при визначенні сумарного холодого навантаження. У проєкті ці складові вже визначені як додаткові внутрішні теплоприпливи, що

посилюють потребу в ефективній роботі системи кондиціонування в літній період.

Окремо необхідно розглянути вологовиділення, оскільки саме вони є однією з найбільш специфічних рис мікроклімату спортивних приміщень. Під час фізичної активності організм переходить на інтенсивний режим тепловіддачі, і основним механізмом охолодження стає випаровування поту з поверхні шкіри. Унаслідок цього в закритих залах дуже швидко зростає вологовміст повітря, особливо за недостатньої кратності повітрообміну або відсутності належного осушення. У проєкті відзначено, що основна частина вологовиділень у спорткомплексі надходить саме від спортсменів, а при пікових режимах експлуатації рівень відносної вологості може перевищувати допустимі межі. Це підтверджується й сучасними дослідженнями, які демонструють, що у фітнес-центрах та спортивних залах вологість і концентрації забруднювачів часто виходять за межі рекомендованих значень саме через недостатню адаптивність вентиляції до реального навантаження.

З погляду функціональної структури будівлі, тепловологісні навантаження в спорткомплексі «Вертикаль» є просторово неоднорідними. Універсальні спортивні зали, тренажерні приміщення, зали групових занять, роздягальні, душові та адміністративні зони мають різний режим використання і принципово відмінні вимоги до температури, вологості та повітрообміну. Наприклад, у тренажерному залі потрібно інтенсивно видаляти надлишкове тепло й вологу при порівняно нижчій температурі повітря, тоді як у роздягальнях і душових необхідне підтримання вищої температури для забезпечення теплового комфорту. Це ще раз підтверджує, що об'єкт не може ефективно обслуговуватися централізованою системою без розвиненої зони регулювання. У даному випадку мова йде не лише про підбір потужності, а про побудову такої системи, яка може по-різному реагувати на умови в кожній зоні.

Важливо також зазначити, що частка внутрішніх теплоприпливів у структурі загального теплового навантаження для спортивних споруд, як правило, є дуже високою. У твоєму проєкті прямо вказано, що в теплий період року саме внутрішні джерела формують основну частину холодного навантаження, тоді як у холодний період переважають втрати через огороджувальні конструкції та інфільтрацію. Така сезонна зміна структури теплового балансу є надзвичайно важливою для вибору типу системи кондиціонування, оскільки система повинна бути ефективною і при асиміляції внутрішніх теплових надлишків, і при роботі в режимі обігріву в холодний період року. Це одна з причин, чому для даного об'єкта доцільно розглядати саме тепловий насосний режим у складі VRF-системи.

Отже, аналіз тепловологісних навантажень спорткомплексу «Вертикаль» показує, що для основних спортивних і допоміжних приміщень характерні значні внутрішні теплоприпливи від людей, обладнання та освітлення, нерівномірний режим експлуатації протягом доби, а також різні вимоги до параметрів мікроклімату в окремих функціональних зонах. Це обумовлює необхідність застосування системи кондиціонування з гнучким регулюванням продуктивності та незалежним зональним керуванням.

Окрему групу приміщень у структурі комплексу становлять басейни для занять, де поряд із тепловими надлишками визначальними стають інтенсивне випаровування, підвищені вологісні навантаження та ризик конденсації. Саме тому їх доцільно розглядати окремо з позицій нормативних вимог і розрахункових особливостей формування мікроклімату.

1.3 Нормативно-розрахункові особливості приміщень з підвищеним вологовиділенням

У спорткомплексі «Вертикаль» передбачені не лише спортивні зали, а й басейни для занять, тому розгляд приміщень з підвищеним вологовиділенням є безпосередньо пов'язаним із темою дипломної роботи. Для таких зон характерні високі вологісні навантаження, підвищений ризик

конденсації на огорожувальних конструкціях та жорсткіші вимоги до вентиляції, осушення і повітророзподілу.

Для басейнів у складі спортивного комплексу температуру повітря орієнтовно приймають на рівні 27–28 °С, тобто приблизно на 1 °С вище температури води. Такий режим дає змогу обмежити інтенсивність випаровування та забезпечити комфортні умови для відвідувачів.

Рекомендована відносна вологість у басейнових приміщеннях становить 50–60 %. Перевищення цього діапазону підвищує ймовірність конденсації, корозії обладнання та погіршення санітарного стану огорожувальних конструкцій.

Створення мікроклімату в приміщеннях із підвищеною вологістю є складним завданням, оскільки необхідно одночасно підтримувати температуру, обмежувати вологість і не допускати конденсації.

Для забезпечення нормативного режиму потрібно підтримувати сталу температуру повітря, відносну вологість близько 60 ± 5 %, швидкість повітря над зоною перебування людей не більше 0,2 м/с та подавати достатню кількість свіжого повітря.

Критичною умовою є недопущення конденсату на вікнах, стінах і елементах конструкцій.

Запобігання конденсації досягається підвищенням термічного опору огорожень і раціональною організацією повітророзподілу.

Покращення теплоізоляції одночасно зменшує тепловтрати та знижує ризик випадання конденсату на внутрішніх поверхнях.

Для вологих приміщень зовнішні конструкції повинні мати достатній шар теплоізоляції та пароізоляційний захист.

Для надійного запобігання появи конденсату на стінах доцільно використовувати теплоізоляцію, наприклад ISOVER.

Необхідно ще раз звернути увагу на те, що устаткування або матеріалів або конкретних фірм жодним чином не пов'язана з думкою про їх перевагу

над аналогами інших фірм. Це, в основному, результат того, що студент використовував їх в своїй практиці і вважає придатними для вживання у вказаних цілях, втім як і устаткування або матеріали ряду інших не згаданих фірм.

Світлопрозорі огороження повинні мати підвищений термічний опір, оскільки саме в зоні скління найчастіше виникає конденсат.

Для надійної роботи доцільно застосовувати енергоефективне скління та конструктивні рішення, що підвищують температуру внутрішньої поверхні скла вище точки роси.

Підвищення термічного опору огорожень є також ефективним енергозберігаючим заходом.

Дотримання режиму рекомендованої вологості має важливе значення для здоров'я людей і збереження устаткування і інтер'єру басейну.

Зниження вжитку енергії і запобігання випаданню конденсату на стінах і вікнах приміщення з басейном за рахунок осушення повітря вентиляцією.

Ключовим параметром комфортного та безпечного режиму є відносна вологість повітря, яка потребує постійного контролю та, за необхідності, осушення.

У холодний період частину вологи можна видаляти припливно-витяжною вентиляцією, а у теплий період зазвичай потрібне додаткове осушення.

Для зменшення енерговитрат доцільно використовувати припливно-витяжні установки з рекуперацією теплоти, що знижує потребу в нагріванні або охолодженні припливного повітря.

Необхідно відзначити, що при піковій різниці температур припливу і витягу в зимовий час більше 40 °С, а в літній час більше 8-10 °С і потужності, якою обмінюються потоки в зимовий час, більш 30-40 кВт - відповідає при параметрах температурної вологості потоків припливного і витяжного повітря близько 2500-3000 м³/год) раціонально використовувати

рекуператор. Такі витрати повітря характерні навіть для середніх за площею приміщень з басейном.

Зниження добового вжитку енергії і оцінка часу підготовки після функціонування в нічному черговому режимі систем забезпечення мікроклімату в приміщенні з басейном.

У неробочий час допускається енергозберігаючий режим, однак повне вимкнення систем мікроклімату для вологих приміщень є недоцільним через ризик швидкого зростання вологості.

Якщо вентиляція поєднана з системою повітряного опалення, то опалення вимикати не можна - може утворитися конденсат на обгороджування (стінах і вікнах). Можливо розрахувати за розробленою методикою скільки часу потрібно для виходу в комфортний режим, практично в первозданному вигляді.

Природно, що в черговому режимі слід витратити менше енергії на освітлення приміщення з басейном і підтримку необхідної температури води в басейні.

Басейн використовується періодично, в неробочий час вологість і тепло як були, так і залишаються. На жаль, дуже рідко власники басейну користуються накриттям поверхні води спеціальним покриттям, що може значно знизити кількість випаровуваної вологи.

Коли в басейні нікого не має, вологість і її утворення знижуються. Хоча в порожньому басейні вологи утворюється на 25-35% менше, навантаження на устаткування вентиляції і кондиціонування все одно зберігається. У басейні не можна зменшувати температуру вночі, тому що знижена температура повітря тільки збільшує випаровування з поверхні басейну. В басейні ніколи не можна відключати кліматичне устаткування.

Постійна циркуляція повітря повинна підтримуватися 24 години в добу. У звичайному басейні досить вимкнути осушувач повітря всього на 20-30 хвилин, щоб відносна вологість зросла до 80-85%.

Щоб знизити енерговитрати, коли басейн порожній, можна припинити подачу свіжого повітря і здійснювати зниження вологості в режимі рециркуляції. Проте можна використовувати і зовнішнє повітря, якщо це дозволяє місцевий клімат і погода.

Вентиляції басейну потрібна для підтримки нормальних умов, для забезпечення асиміляції хімічних виділень з поверхні води, крім звичайних метаболічних виділень людини.

Вентиляція таких приміщень повинна забезпечувати не лише видалення вологи, а й асиміляцію домішок, що надходять у повітря з водної поверхні та від людей.

При відсутності обмеження нижнього допустимого рівня відносної вологості повітря в «водній зоні» залу є можливість здійснювати в холодний період року приплив зовнішнього повітря без його зволоження, забезпечуючи попередньо підігрів повітря до допустимого значення температури $t = 27 \text{ }^{\circ}\text{C}$. У цьому випадку припливне зовнішнє повітря, що подається в зал, матиме відносну вологість 30% і нижче. Показано, що з підвищенням температури повітря в приміщенні для забезпечення теплового комфорту необхідно знижувати значення його відносної вологості; даних про вплив сухого повітря ($\phi < 30\%$) на організм людини практично немає, відомо лише, що сухе повітря викликає сухість слизових оболонок. У цьому зв'язку в чинному збережено вимогу про підтримання відносної вологості повітря в приміщеннях житлових і громадських будівель в холодний і перехідний періоди року в межах 45-30% при температурі внутрішнього повітря 20-22 $^{\circ}\text{C}$. Отже, в залах розважальних басейнів в ці періоди року при більш високих температурах внутрішнього повітря 27-31 $^{\circ}\text{C}$ його відносну вологість можна допустити 30% і нижче, не порушуючи теплового комфорту в цих умовах.

Таким чином, за допустимий розрахунковий клімат в обслуговуванні зоні ванн басейнів можна прийняти параметри повітряного середовища, які

обмежені ізотермами $t_{\min.o.z.} = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $t_{\max.o.z.} = 31\text{ }^{\circ}\text{C}$, кривої відносної вологості повітря $\varphi = 65\%$ і прямої $d = \text{const}$, встановленої для умов розрахункових тепловологових навантажень і параметрів зовнішнього повітря в холодний період року. Для організації ефективної вентиляції залу ванн басейнів необхідно встановити вимоги до допустимих значень його припливного ($t_{п}$) і видаляемого (t_{y}) повітря. Нами показано, що припливне повітря повинно подаватися безпосередньо в зону дихання купаються, тому його температура повинна бути, як правило, дорівнює мінімально допустимій температури повітря для обслуговування зони басейну $T_{\max.п.} = t_{\min.o.z.} = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$. При відповідних обґрунтуваннях може бути допущено зниження температури припливного повітря на $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($t_{\min.п.} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$), що забезпечує в зоні залу температуру $t_{\min.o.z.} = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Видалення повітря із залу здійснюється з верхньої його зони, тому температура повітря, що видаляється може бути прийнята в межах від $t_{\min.y.} = 31\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_{\max.y.} = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$. Як правило, значення максимальної температури повітря, що видаляється $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ виникає в теплий період, для якого характерні найбільші значення тепловлажностного відносини (ϵ_T) в порівнянні з його значеннями (ϵ_x) для холодного періоду року.

У ДБН-16 викладено положення про епідеміологічну безпеку розважальних басейнів, що стосується проектування їх систем вентиляції та кондиціонування повітря. Це положення полягає в тому, що санітарні правила забезпечують відвідувачам і персоналу цих басейнів епідемічну безпеку відносно інфекційних і паразитарних захворювань, що передаються через воду, гідроаерозолей, вологі поверхні басейнів, атракціонів і т., а також попереджають можливий шкідливий вплив і подразнюючу дію хімічного складу води і повітря.

Однак у ДБН відсутні прямі вказівки, пов'язані із забезпеченням епідеміологічної безпеки в залах ванн басейнів і які необхідні при проектуванні систем вентиляції та кондиціонування повітря.

До таких вказівок слід віднести вимоги, пропоновані і до забезпечення мінімальної кількості припливного зовнішнього повітря, необхідного для відвідувачів у залі, і до можливості застосування рециркуляції внутрішнього повітря залу в системах вентиляції. У цьому зв'язку в ДБН є тільки вказівка про те, що в залах розважальних басейнів необхідно передбачати самостійні системи припливної та витяжної вентиляції відповідно до будівельних норм і правил. У ДБН-13 для спортивно-оздоровчих басейнів вказується, що приплив зовнішнього повітря в зал басейнів повинен становити не менше 80 куб. м/год на одного, хто займається і не менше 20 куб. м/год на одного глядача. Відповідно до ДБН-13 ці норми припливу зовнішнього повітря в зали ванн басейнів забезпечують їх епідемічну безпеку. Тому при проектуванні систем вентиляції та кондиціонування повітря розважальних басейнів можуть бути прийняті норми припливу зовнішнього повітря в зали, зазначені в СанПіН. При розрахунку споживаного повітрообміну для асиміляції вологи, що випаровується з водних поверхонь басейнів і атракціонів в залах аквапарків, його величина встановлюється з урахуванням зазначеної норми подачі припливного повітря.

Вимоги ДБН 2016 містять вказівки на можливість застосування рециркуляції внутрішнього повітря в приміщеннях різного призначення. Ця можливість застосування рециркуляції повітря в залах ванн басейнів повинна бути пов'язана з дотриманням наступних умов:

- Виділення хлору не повинні визначати розрахункова витрата припливного зовнішнього повітря;
- Рециркуляція повітря повинна обмежуватися межами залу аквапарку.
- На нашу думку, у доповненні до цих умов стосовно до залам спортивно-оздоровчих і розважальних басейнів повинні бути пред'явлені такі вимоги:

- Розрахунковий повітрообмін в залі для асиміляції вологи і хлору, підтримки гігієнічних вимог до якості повітря в обслуговуваній зоні і поза її повинен здійснюватися в результаті подачі чистого зовнішнього повітря припливній системою кондиціонування в місця перебування відвідувачів;
- Рециркуляцію повітря можна застосовувати в місцевих припливно-рециркуляційних системах вентиляції залу (наприклад, в припливно-рециркуляційної системі, що забезпечує подачу повітря на скління залу ванн басейнів з метою захисту відвідувачів від спадаючих холодних потоків повітря) та інших випадках при відповідних обґрунтуваннях.

Таким чином, в залах ванн басейнів, спортивно-оздоровчих і розважальних басейнів слід віддавати перевагу застосуванню проточних систем кондиціонування.

Збільшення витрати повітря системи к басейну для зниження вологості не зможе вирішити проблему конденсації і утворення застійних зон, в яких сплачуватиметься вологе повітря.

Потік повітря над поверхнею води повинен бути зведений до мінімуму, щоб уникнути надмірної його рухливості в зоні плавання. Крім того, це дозволяє зменшити випаровування, яке посилюється із збільшенням швидкості повітря. Але при цьому швидкість повітряного потоку повинна бути достатньою, щоб різні гази, що виділяються з води, не почали накопичуватися над поверхнею. Скарги на некомфортні умови у воді часто викликані саме поганим повітророзподіленням і тим, що хлораміни не видаляються з поверхні басейну.

Формуванню необхідного потоку над водою може перешкодити розташування припливних отворів на великій висоті (4,5-9м), допомогти ж може продумане розташування витяжних отворів.

Зазвичай в басейнах стелі достатньо високі. Розташовані під стелею припливні дифузори часто не справляються з подачею потоку вниз, до води і підлоги. Необхідно поклопотатися про регульованість повітряних решіток для напряму потоку на потрібні поверхні.

Основні помилки зводяться:

- Розташування витяжних решіток на тому ж рівні, що і припливні, із-за чого припливне повітря не зміщується з повітрям приміщення.
- Недостатній розмір витяжних решіток. Дуже часто, із-за шуму ґраток і непривабливого вигляду, їх прагнуть зробити менше. Не варто забувати, що правильно підібрані розміри можуть практично зменшити цей шум і зменшити втрату статичного тиску в повітроводах.

У теплому джакузі або дитячому басейні витяжні ґратки повинні розташовуватися поряд з водою, щоб зменшити вплив підвищеного випаровування. Не можна обмежуватися тільки цим, допускаючи помилки у визначенні потрібної продуктивності системи зниження вологості, подаючи в неї вологіше повітря, ніж в середньому по басейну. Іноді в таких зонах варто використовувати додатковий витяжний вентилятор.

Роздягальні не слід підключати до системи зниження вологості басейну. Для роздягалень потрібні власні системи притоки і витяжки повітря. З обережністю треба відноситися до відкритих отворів: розрідження в роздягальні провокує притоку насиченого хлорамінами повітря з басейну, що приводить до несприятливої санітарно-гігієнічної обстановки в роздягальні і корозії встановленого в ній устаткування. Проблема вирішується установкою тамбурів або герметичних дверей між басейном і роздягальнями.

Щоб запобігти перетіканню підвищеної вологості і запаху хлорамінів з басейну в інші приміщення, в басейні необхідно підтримувати розрідження по відношенню до прилеглих приміщень і зовнішньої атмосфери.

Тиск в приміщенні басейну повинен бути скоординований з суміжними зонами, де є своя витяжка повітря, наприклад з тими ж роздягальнями. Головне - не перестаратися з пониженням тиску. Двері відкриватимуться насилу: у них велика площа, і достатньо незначної різниці тиску, щоб створити утруднення. Щілини можуть почати видавати свистячий звук, а попадання повітря з роздягалень може створити проблеми із запахом.

Холодне повітря, що просочується через щілини в дверях, може викликати утворення мжички на внутрішніх поверхнях дверей навіть при температурі повітря в басейні 28 °С.

Правильний розподіл повітря багато в чому залежить від якості монтажу повітроводів, які слід встановлювати так, щоб в них не утворювався конденсат. Всі стики припливних і витяжних повітроводів повинні бути щільно герметизовані, включаючи їх з'єднання з припливними ґратами, вентиляторами, витяжними ґратами.

Особливу увагу слід приділити витяжним повітроводам, що працюють під розрідженням. Коли в них з'являються щілини, туди засмоктується повітря з приміщень, що не кондиціонують, внаслідок чого утворюється конденсат, і порушується нормальна робота устаткування для зниження вологості.

Якщо повітроводи прокладені зовні приміщення, яке кондиціонують, вони повинні бути поміщені в теплоізоляцію. Повітроводи для басейнів виготовляються з матеріалів, стійких до корозії, що викликається хлоридами, а місця їх з'єднання в обов'язковому порядку повинні бути загерметизовані, обернуті і покриті мастикою.

Басейни слід будувати настільки паронепроникний, наскільки це можливо. При цьому пароізоляцію потрібно укласти безпосередньо за внутрішнім покриттям стін. Тоді вологе повітря і пара дотримуватимуться усередині басейну, а не проходять в холодніші пористі стіни.

Всі стики пароізолятора повинні бути герметизовані, простого перекриття недостатньо. Пароізолятор, у свою чергу, теж повинен бути герметично прикріплений до стелі і стелевих панелей, щоб вологе повітря не проходило через стики в стіни і стелю.

Всі стики навколо електричних вимикачів і розеток повинні бути герметизовані для запобігання проникненню вологи. Важлива нерозривність пароізоляції.

Осушувачі повітря для басейнів відрізняються від стандартних кондиціонерів. Вони розробляються для видалення значно більшої кількості вологи з повітря. При цьому у осушувачів повітря холодопродуктивність по явному теплу значно нижче, ніж у стандартних кондиціонерів, що серйозно впливає на габарити устаткування.

З урахуванням того, що кліматичне устаткування басейнів працює у важких атмосферних умовах по 24 години в добу сім днів в тиждень, воно потребує регулярного і професійного технічного обслуговування.

У басейнах широко використовуються осушувачі повітря конденсаційного типу. Вони спеціально розроблені для видалення великої кількості вологи, мають низьке значення чинника сухого тепла і використовують стандартний цикл холодильної машини.

У басейні відбувається постійний витік тепла: через стіни, потовк, з вентиляційним повітрям і внаслідок охолодження води при випаровуванні, тому необхідний постійний підігрів води і повітря. При цьому не має значення, який тип устаткування використовується для осушення повітря.

Якщо це устаткування дозволяє використовувати відведене в процесі осушення повітря тепло для підігріву води в басейні, енерговитрати можна істотно знизити.

Підбір устаткування для осушення повітря в басейні здійснюється, перш за все, виходячи з необхідного рівня вологості. Також беруться до уваги кратність повітрообміну, параметри зовнішнього повітря і архітектурні

особливості приміщення. Наприклад, велика площа скління південної сторони басейну або великі світлові люки дають додаткове навантаження по охолодженню.

Таким чином, виходить, що на проєктувальнику лежить складне завдання забезпечення комфорту і зручності користувачів басейну і успішності його господарів. Головне - пам'ятати, що завдання це цілком вирішуване, і прагнути до цього рішення найбільш ефективним чином.

Виконання вищевикладених вимог при проєктуванні спортивно-оздоровчих і розважальних басейнів створює необхідні умови для забезпечення їх будівельної безпеки.

За останні роки значно зросли темпи будівництва та реконструкції приватних котеджів, будинків елітної забудови, спортивних та оздоровчих центрів з пристроєм в них закритих плавальних басейнів. На жаль, для приміщень басейнів інженерні рішення по створенню в них необхідного температурно-вологісного режиму часто не дають бажаних результатів.

Низька ефективність передбачуваних технічних рішень пояснюється як економією коштів в процесі будівництва, так і відсутністю методичної літератури з розрахунку і проєктування систем забезпечення мікроклімату у приміщеннях закритих плавальних басейнів різного призначення. Недостатня увага до питань забезпечення мікроклімату при будівництві та реконструкції приміщень басейнів призводило до негативних наслідків у процесі їх експлуатації: активної конденсації вологи на захисних конструкціях, утворенню грибкової плісняви, корозії металевих і гниття дерев'яних конструкцій, недотримання санітарно-гігієнічних умов по температурі, вологості і рухливості повітря в зоні знаходження людей. Приміщення з підвищеною вологістю належать до об'єктів, для яких вибір системи кондиціонування базується на спільному аналізі теплових і вологісних потоків. Процес формування тепло-вологісного режиму подано на схемі (рис. 1.3.1) і описується системою рівнянь теплового та вологісного балансів:

$$Q_{\text{пов}} = Q_{\text{огор}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{люд}} + Q_{\text{вип}}, \text{кВт} \quad (1.3.1)$$

$$W_{\text{пов}} = W_{\text{люд}} + W_{\text{од}} + W_{\text{вип}}, \text{кг/с} \quad (1.3.2)$$

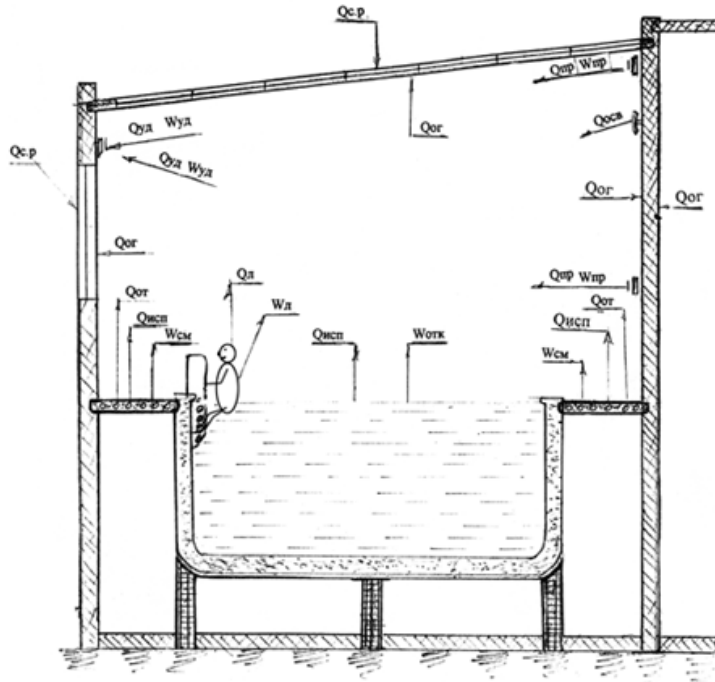


Рис. 1.3.1. Процес формування тепло-вологісного режиму басейнів

Інтенсивність теплового потоку через огорожувальні конструкції ($Q_{\text{огр}}$) визначається зовнішніми та внутрішніми параметрами повітря, а також теплофізичними характеристиками огорожень:

$$Q_{\text{огр}} = f(t_3, t_в, h_3, \varphi_в, t_{\text{ог}}, R_{\text{ог}}), \quad (1.3.3)$$

де t_3, h_3 - розрахункові температура та ентальпія зовнішнього повітря приймаються у відповідності із ДБН. з урахуванням теплової інерції будівлі та запізнення прямої та розсіяної радіації.

При цьому температуру поверхні води в басейні необхідно підтримувати на рівні 26-28 °С, а в лікувальних басейнах на 4-8 °С вище. Таким чином, нормована температура повітря в басейнах - 27-30 °С.

R_{or} - необхідний опір теплопередачі, ($m^2 K / W$), що характеризує ступінь теплового захисту огорожувальної конструкції.

Для вологих приміщень визначальним є забезпечення такої температури внутрішньої поверхні огорожень, за якої не відбувається конденсація. Тому температуру поверхні слід підтримувати вище точки роси.

Температура точки роси визначалася за виведеною емпіричною формулою.

$$t_p = \frac{233,77 \ln\left(\frac{101d_s}{622 + d_s}\right) + 115,22}{16,57 - 0,997 \ln\left(\frac{101 * d_s}{622 + d}\right)} \quad (1.3.4)$$

Теплоприпливи від освітлення визначаються за встановленою потужністю та коефіцієнтом переходу електричної енергії в теплову:

$$Q_{ocb} = n \cdot N_{ocb} \quad (1.3.5)$$

де N_{ocb} - настановча потужність приладів освітлення (Вт), n - коефіцієнт переходу електричної енергії в теплову приймається для ламп розжарювання - 0,92; для люмінесцентних ламп- 0,55; для підвісних вентилязованих стель - 0,65; для підвісних вентилязованих стель і витяжкою через плафони - 0,5.

Теплоприпливи та вологонадходження від людей визначаються за питомими виділеннями однієї людини та фактичною кількістю присутніх:

$$Q_l = n \cdot q_l, \quad (1.3.6)$$

$$W_l = n \cdot W_l \quad (1.3.7)$$

де q_l - кількість теплоти (Вт) і W_l - кількість вологи (г/год) приймаються за умов легкої фізичної роботи для нормованих температурно-вологісних параметрів в приміщеннях басейнів рівними: q_l - 132 Вт/ год, W_l - 225 г / год, враховуючи стать людини.

Кількість теплоти, що надходить у приміщення разом із вологою, пов'язана з інтенсивністю випаровування з водної поверхні та змочених ділянок:

$$Q_{\text{вип}} = 0,68 \cdot (W_{\text{вип}} + W_{\text{люд}}), \quad (1.3.8)$$

де $W_{\text{вип}}$ - сумарна кількість вологи (г/год), що випаровується з відкритої водної поверхні дзеркала басейну і зі змочених поверхонь, прилеглих до водного дзеркала визначиться з імперичних виразів:

$$W_{\text{вип}} = AF\sigma \left(d_w - \frac{d_i}{1000} \right), \quad (1.3.9)$$

$$W_{\text{вип}} = eF \left(P_w - \frac{P_i}{1000} \right), \quad (1.3.10)$$

$$W_{\text{вип}} = F \left(0,118 + 0,1995a \left(P_w - \frac{P_i}{1,333} \right) \right), \quad (1.3.11)$$

За рекомендацією Антонова П.П., найбільш універсальною є формула (1.3.10), в якій емпіричний коефіцієнт e дає можливість врахувати найбільш високу інтенсивність випаровування в басейнах з активними іграми та значним хвилеутворенням, а також в малих індивідуальних плавальних басейнах.

Витрату припливного повітря визначають за балансами загального тепла, вологи та явного тепла, приймаючи найбільше з отриманих значень.

за балансом загального тепла:

$$G = \frac{Q_{\text{пов}}}{h_{\text{в}} - h_{\text{п}}} \quad (1.3.12)$$

де $Q_{\text{пов}}$ - кількість надлишкового тепла, яке необхідно видаляти, кВт; $h_{\text{в}}$ - ентальпія повітря в приміщенні кДж/кг; $h_{\text{п}}$ - ентальпія припливного повітря, кДж/кг. Для запобігання конденсації вологи на внутрішній поверхні вікон опалювальні прилади повинні встановлюватися безперервним ланцюгом під ними, щоб внутрішня поверхня стекол була нагріта на 1-1,5 °С вище температури точки роси.

за вологісним балансом:

$$G = \frac{W_{\text{пов}}}{d_{\text{в}} - d_{\text{п}}} \quad (1.3.13)$$

де $W_{\text{пов}}$ - сумарна кількість вологи, що виділяється в приміщення, кг/с; $d_{\text{пр}}$ - вологовміст припливного повітря, кг/кг_{с.п.}; $d_{\text{п}}$ - вологовміст повітря в приміщенні, кг / кг_{с.п.}:

за балансом явного тепла:

$$G = \frac{Q_{\text{явн}}}{C_{\text{в.п}}(t_{\text{в}} - t_{\text{п}})} \varphi \quad (1.3.14)$$

$Q_{\text{явн}}$ - кількість явного тепла в приміщенні, кВт; $C_{\text{в.п}}$ - теплоємність вологого повітря, кДж / (кгК); $t_{\text{п}}$ - температура повітря в приміщенні, °С; $t_{\text{пр}}$ - температура припливного повітря, °С.

Кондиціонування повітря обумовлено необхідністю зберегти незмінними $t_{\text{п}}$ і $d_{\text{п}}$ при ймовірній зміні $W_{\text{пов}}$ і $Q_{\text{явн}}$. Підтримуючи постійним кількість введеного в приміщення повітря, доводиться безперервно міняти величини $d_{\text{пр}}$ і $t_{\text{пр}}$

1.3.1 Особливості вибору принципової технологічної схеми кондиціонування повітря

Повітрообмін у приміщеннях з підвищеним вологовиділенням суттєво змінюється за сезонами. У холодний період подавати максимальну кількість зовнішнього повітря економічно не вигідно, тому схема кондиціонування повинна забезпечувати гнучке регулювання продуктивності.

У холодний період доцільно обмежувати зовнішнє повітря до мінімально необхідного та застосовувати регульовану рециркуляцію або осушення залежно від режиму роботи приміщення.

Для невеликих об'ємів ефективним рішенням є поєднання вентиляції з локальними осушувачами повітря.

Зниження холодопродуктивності можна також досягти, застосовуючи осушувачі повітря та встановлюючи їх по периметру огорожувальних конструкцій. При цьому осушувачі повітря рекомендується застосовувати в

малих і середніх за обсягом басейнах при дефіциті енергозабезпечення для систем вентиляції.

У теплий період року необхідно проводити перевірку повітрообміну, розрахованого по волозі, на теплонадлишки і при техніко-економічній доцільності знижувати повітрообмін за рахунок застосування установок охолодження повітря.

Для зниження енерговитрат у холодний період доцільно застосовувати теплоутилізацію витяжного повітря.

Для досягнення ефективності осушення в басейні можливо використовувати центральний кондиціонер АКВАРІС фірми СМТ-Україна де удосконалені блоки.

За даними досліджень розроблена модель розрахунку систем кондиціонування басейну, що включає розрахунок параметрів кондиціонування повітря методом сплайнів, розрахунок економічно-доцільної товщини ізоляції; розрахунок тепло-вологісного навантаження, підбір обладнання системи кондиціонування.

Розрахункова модель дозволяє оцінити тепло-вологісне навантаження, параметри огорожень та вибрати обладнання системи кондиціонування й осушення.

Показано, що додаткові витрати на збільшення термічного опору в зимовий час і зниження загальної пропускної здатності сонячної радіації в літній час є важливими енергозберігаючими заходами і окупаються за короткий термін, як правило, не більш 2-3 років.

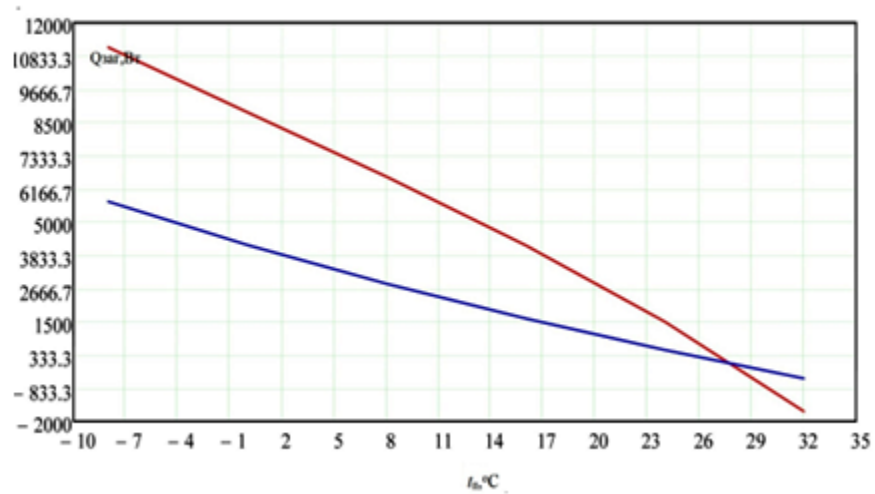


Рис. 1.3.2. Залежність величини тепло припливів та потужності повітрянагрівача (нагрів до 28°C) від температури повітря, яке подається

З рисунка 1.3.2 видно, що для підтримання нормативної вологості в багатьох режимах роботи потрібне саме осушення повітря, а не лише його підігрів.



Рис. 1.3.3. Залежність відносної вологості в приміщенні з басейном від часу осушення повітря

За даною моделлю можливо визначити час для осушення повітря.

Отримані розрахунки підтверджують, що для запобігання конденсації та підтримання нормативної відносної вологості необхідно передбачати осушення повітря.

1.3.2 Шляхи зниження споживання енергії в системах кондиціонування повітря для вологих приміщень

Основна задача енергозбереження у вологих приміщеннях полягає у зменшенні випаровування, раціональному використанні вентиляційного повітря та скороченні витрат на його нагрівання або охолодження.

Для зменшення випаровування рухливість повітря біля поверхні води повинна бути мінімальною. Інтенсивність випаровування залежить від площі водойми, температури води, вологості повітря, швидкості повітряного потоку і активності займаються. Мета системи кондиціонування повітря - забезпечення комфортних умов для відвідувачів і запобігання конструкції від передчасного руйнування. Особливо важливо це в холодну пору року, коли металеві конструкції страждають від перезволоження і конденсації вологи. Зниження енерговитрат досягається поєднанням вентиляції та осушення, а також підтриманням відносної вологості на нормативному рівні близько 60 %.

Особливістю технології створення мікроклімату в басейні є боротьба з підвищеною вологістю в приміщенні, пов'язаної з випаровуванням води з великих площ вологій поверхні, включаючи власне дзеркало води, обхідні доріжки тощо.

Для зменшення випаровування рухливість повітря біля поверхні води повинна бути мінімальною. Нами розглянуті особливості кондиціонування повітря в басейнах, де забезпечуються комфортні умови для відвідувачів і запобігання конструкції від передчасного руйнування.

Нами розглянута можливість зниження споживання енергій вентиляційних агрегатів в басейнах на обігрівання і охолодження

припливного повітря, а також показані способи оцінки витрати електричної енергії, споживаної електродвигунами вентиляторів.

Надані основні характеристики і показники вентиляційних агрегатів, які впливають на ефективність роботи усієї вентиляційної системи: механічна міцність, герметичність, вплив «теплових містків», коефіцієнт теплопередачі панелей корпусу, перетікання повітря в секції фільтрації та ін. При правильному проектуванні системи, що підтримує нормований рівень температури і відносної вологості в приміщеннях впродовж року і що забезпечує нормальний хімічний склад повітря (кисень, домішки і так далі), важко знаходити шляхи економії енергії на підготовку повітря. А ось електрична потужність, що витрачається на роботу блоку "двигун-вентилятор", може і має бути контрольованою і мінімально можливою.

Для створення певного потоку повітря необхідна витрата енергії залежить від типу вживаного вентилятора, ККД елементів цієї групи, способу передачі моменту, що крутить, від валу двигуна на вал вентилятора (клино-ремінна передача знижує ККД вентиляційної групи на 4-6%) наявності перетворювача частоти електричного струму, все частіше і частіше вживаного для підвищення ефективності роботи системи вентиляції і кондиціонування. Найважливішим показником оцінки роботи системи вентиляції є показник SFP (англ. Specific Fan Power), що показує відношення споживаної потужності електричними двигунами P [кВт або Вт] для створення одиничної витрати повітря [$\text{м}^3/\text{с}$ або $\text{м}^3/\text{год}$] у конкретній системі механічної вентиляції. Показник SFP розраховується як відношення споживаної потужності електродвигуном вентилятора до витрати повітря, переміщуваного в цій системі вентиляції. При цьому, якщо агрегат припливно-витяжний, то враховується споживана потужність двох блоків (припливного - $P_{\text{прит}}$ і витяжного - $P_{\text{вит}}$), а ділиться ця сума на одну велику повітропродуктивність V_{max} , яку, як правило, має припливний блок:

$$SFP = \frac{V_{прит} V_{вм}}{V_{max}} \quad \text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{год}) \quad (1.3.15)$$

При заданій витраті повітря і опорі мережі, розрахованої системи вентиляції для системи кондиціонування повітря, номінальна потужність електродвигуна залежить тільки від внутрішнього аеродинамічного опору агрегату (центрального кондиціонера).

При фіксованих функціональних елементах, необхідних для доведення параметрів зовнішнього повітря до необхідних кондицій, цей опір залежить від швидкості руху повітря всередині машини. У свою чергу, швидкість повітря визначає габарити вентиляційного агрегату.

Основними шляхами зниження споживання енергії є:

- герметизація потоку повітря і виключення присосів навколишнього повітря і витоків обробленого повітря;
- корпус системи кондиціонування має бути добре теплоізований, щоб виключити втрати теплової енергії, витраченої на доведення параметрів повітря до потрібних перед його поданням в приміщення;
- використання в припливно-витяжної вентиляції агрегат с рекуперацією тепла;
- врахування нестационарних теплоприпливів.

Вимоги європейських стандартів і норм чітко упорядковують підхід до оцінки параметрів конструкції корпусів агрегатів, визначаючи найбільш важливі їх характеристики. Згідно із стандартом "EN 1886 : 2007 «Ventilation for buildings». Air handling units. Mechanical performances" основні характеристики корпусу класифікуються за наступними ознаками: механічній міцності (mechanical strength); герметичності корпусу (air leakage); перетіканням повітря (байпасування) в обхід фільтру всередині корпусу (filter bypass leakage); коефіцієнту теплопередачі стінок корпусу

(thermal transmittance); чиннику впливу "теплових містків" (thermal bridging); міри звукоізоляції (acoustic insulation).

У Європі найбільш висококласними і оснащеними є два дослідницькі центри в Німеччині. TUV (йому. Technischer Uberwachungs - Verein) - це німецька авторитетна недержавна структура, яка займається питаннями технічного нагляду за продукцією, що випускається.

Стандарт EN 1886 визначає умови, методи і способи проведення випробувань як корпусу вентагрегатів центральних кондиціонерів. Деякі характеристики об'єктів визначаються на моделі досліджуваної установки, а деякі на зразку, тобто на конкретній установці, довільно вибраній вказаними дослідницькими центрами.

Як приклад було розглянуто вентиляційно-кондиціонуючі агрегати VTS - Ventus, які випробовувалися в німецькій лабораторії TUV Sud Munich. Усі ці агрегати сертифіковані асоціацією Eurovent і їм присвоєні певні класи. По рівню механічної міцності європейський стандарт пропонує розділяти усі корпуси на три класи: D1, D2 і D3.

Основним критерієм при визначенні класу конкретного вентагрегата є «максимальне відносне відхилення» (maximum relative deflection), що показує відхилення первинної позиції панелі або рами в мм на метр довжини (мм/м) при дії на них певного тиску. Рівень(міра) герметичності корпусу вентустановки, тобто здатність корпусу виключити перетікання повітря або в довкілля, /розділений стандартом EN 1886 на класи L1, L2 і L3.

Коефіцієнт байпаса фільтрів K показує у відсотках частину «не фільтрованої» витрати повітря, тобто ту частину що обходить фільтри. Як видно з, клас вентиляційного агрегату відповідає тому максимальному класу фільтру, який може бути змонтований і ефективно працювати в цій конкретній системі вентиляції. Властивості корпусу, які тепло ізолюють, визначають здатність стінок корпусу зберігати енергію, повідомлену повітряю

в процесі його нагрівання, або ж понизити вступ теплоти ззовні до охолодженого повітря.

За стандартом EN 1886 оцінювалися два чинники: коефіцієнт теплопередачі стінок корпусу і вплив "теплових містків". Коефіцієнт теплопередачі корпусу визначається в лабораторіях шляхом випробування реального вентиляційного агрегату, працюючого за стандартних розрахункових умов при різниці температур повітря усередині і зовні, рівною 20 °С. "Тепловими містками" вважаються частини конструкції вентиляційного агрегату, теплопередачі, що мають підвищений коефіцієнт, в порівнянні з однорідними стінками корпусу.

У цих зонах корпусу спостерігається підвищене переміщення теплових потоків. Слід пам'ятати про те, що саме в зоні «теплових містків» у вентагрегат з охолодженням можливе зниження температури зовнішньої поверхні корпусу в порівнянні з температурою точки роси повітря, що оточує установку і випадання конденсату. Для оцінки величини тепловтрат через "теплові містки" вводиться чинник їх впливу:

$$K = \frac{\Delta t_{\min}}{\Delta t_{\text{air}}} \quad (1.3.16)$$

де $\Delta t_{\min} = t_i - t_{\text{smax}}$ є найменшою різницею температур,

$\Delta t_{\text{air}} = t_i - t_a$ - різниця між температурами повітря всередині і зовні вентагрегата,

t_i - середня температура внутрішнього повітря;

t_{smax} - максимальна температура на зовнішній поверхні;

t_a - середня температура зовнішнього повітря.

Будь-яка частина поверхні корпусу, яка піддається дії зовнішнього повітря, вважається зовнішній поверхні. Клас теплових містків відповідає зміні на 3 °С максимальної температури поверхні при різниці температур 20 °С (максимальна погрішність вимірів температури на поверхні $\pm 0,2$ °С).

Рівень акустичної ізоляції корпусу визначається випробуваннями, які проводяться на моделях установок, що мають розміри відповідно до вимог стандарту EN 1886.

За допомогою програми проведений аналіз інтенсивності випаровування в басейні. Де враховується W_{isp}/W_{udp} , де W_{isp} кількість води, що випаровується з поверхні води басейну як функція відносної вологості повітря в приміщенні з басейном; W_{udp} – кількість вологи, що видаляється припливно-витяжною вентиляцією, як функція відносної вологості в приміщенні

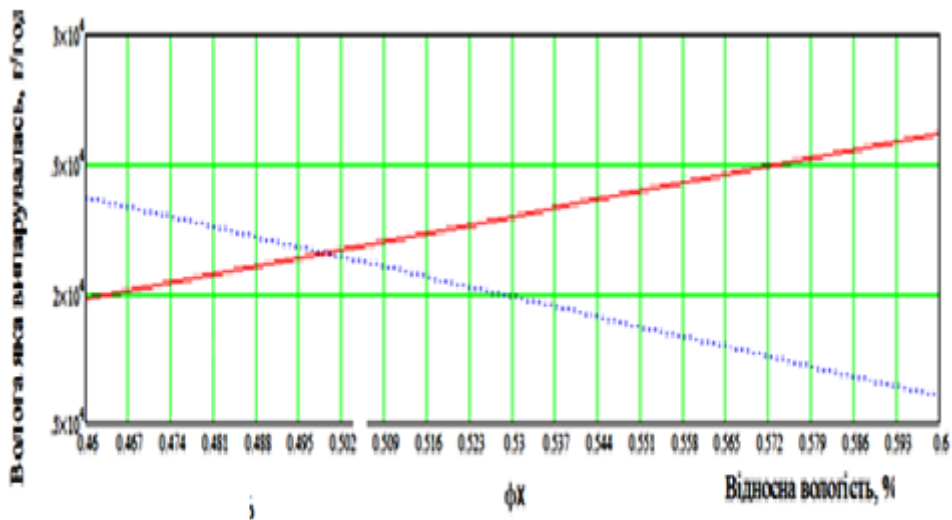


Рис. 1.3.4. Інтенсивність випаровування вологи у перехідний період

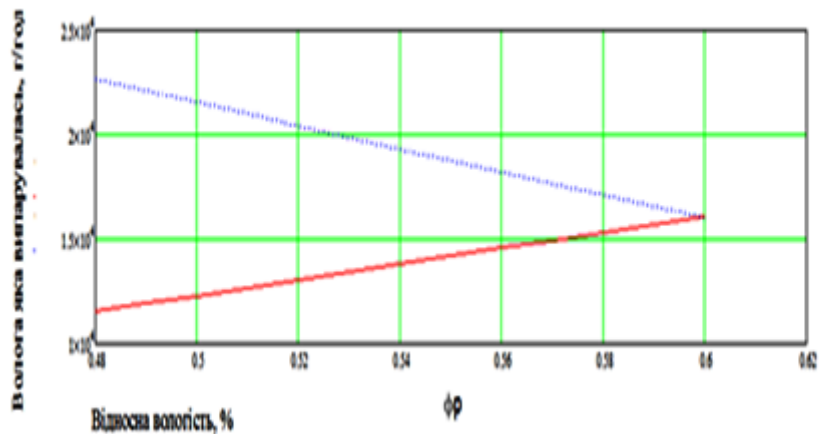


Рис. 1.3.5. Інтенсивність випаровування вологи у холодний період року

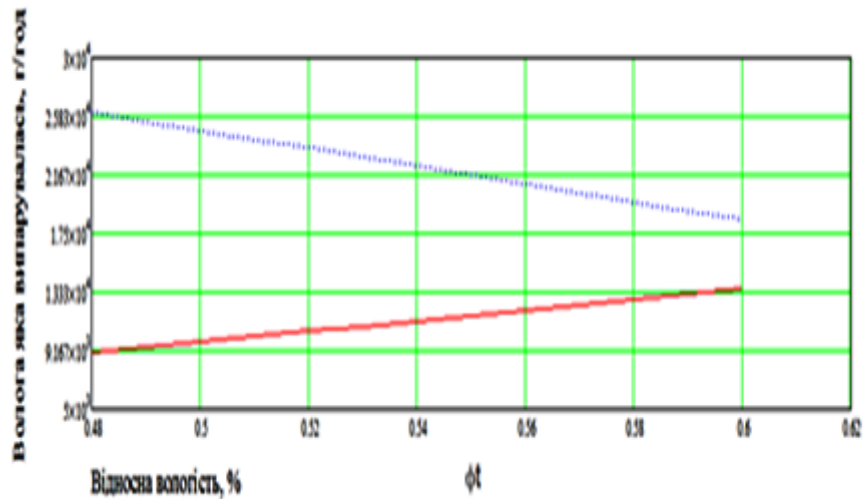


Рис. 1.3.6. Інтенсивність випаровування вологи у теплий період року

Графіки (рис. 1.3.4–1.3.6) показують, що інтенсивність випаровування істотно залежить від сезону та відносної вологості. Це дозволяє визначити необхідну витрату повітря та вибрати раціональний режим осушення.

Для зниження добового споживання енергії доцільно використовувати рекуперацію теплоти, байпас і керування режимами роботи залежно від фактичного навантаження.

Показано, що використання повітряних систем опалення для обігріву басейну та суміжних приміщень термін окупності рекуператора зазвичай не перевищує 3-4х років.

Встановлено також, що має ефект зниження добового споживання енергії та оцінка часу підготовки після функціонування в нічному режимі очікування систем забезпечення мікроклімату в приміщенні з басейном.

Проведений аналіз шляхів підвищення ефективності систем кондиціонування повітря дозволяє проводити зіставлення альтернативних варіантів систем кондиціонування повітря при їх оптимізації.

Отже, для приміщень з підвищеним вологовиділенням визначальними є контроль вологості, запобігання конденсації, раціональний повітрообмін та застосування енергоефективних схем осушення і теплоутилізації. Ці положення є важливими як довідковий матеріал при проектуванні сучасних систем кондиціонування для об'єктів громадського призначення.

1.4 Нормативні вимоги до параметрів мікроклімату в основних приміщеннях спортивного комплексу

Після розгляду басейнових приміщень як зон з підвищеним вологовиділенням доцільно окремо визначити нормативні вимоги до мікроклімату в інших функціональних зонах спорткомплексу «Вертикаль». У цьому підрозділі наведено вимоги для спортивних залів, роздягалень, душових, адміністративних і допоміжних приміщень, тоді як особливості басейнової зони, осушення та відповідні розрахункові залежності вже розглянуті в підрозділі 1.3.

Нормативні параметри внутрішнього повітря для цих приміщень повинні відповідати чинним будівельним і санітарно-гігієнічним нормам України, а також сучасним підходам до оцінки теплового комфорту. При проектуванні систем кондиціонування для спорткомплексу слід враховувати характер фізичної активності, тривалість перебування людей і функціональне призначення кожної зони.

Не менш важливою величиною є відносна вологість повітря, яка, згідно з українськими нормами та положеннями, наведеними у твоїй роботі, повинна перебувати в межах 40–60 %. Саме цей діапазон вважається найбільш прийнятним як з гігієнічного, так і з теплотехнічного погляду. При відносній вологості понад 60 % значно знижується ефективність випаровувальної тепловіддачі організму, що у спортивних умовах може призводити до перегріву, швидкого стомлення та погіршення самопочуття. Натомість надто низька вологість сприяє пересушуванню слизових оболонок,

зростанню пилового навантаження та погіршенню суб'єктивного відчуття комфорту. Крім того, контроль вологості має принципове значення для забезпечення належного санітарного стану приміщень, недопущення конденсації на внутрішніх поверхнях і збереження огорожувальних конструкцій. У сучасних рекомендаціях щодо вентиляції та IAQ також наголошується, що контроль вологості є одним із ключових елементів підтримання здорового внутрішнього середовища.

Швидкість руху повітря є ще одним важливим параметром мікроклімату, особливо для спортивних споруд, де від неї залежить як ефективність теплообміну організму, так і ризик виникнення локального дискомфорту. У пояснювальній записці зазначено, що у теплий період року швидкість руху повітря в робочій зоні допускається до 0,5 м/с, тоді як у холодний період — переважно в межах 0,2–0,3 м/с, а в окремих приміщеннях із підвищеними вимогами до комфорту — ще нижче. Такий підхід відповідає як національним нормам, так і міжнародним рекомендаціям, оскільки в умовах фізичної активності дещо вищі швидкості повітряних потоків можуть покращувати тепловідчуття за рахунок посилення конвективної тепловіддачі, але у стані спокою або після тренування вони можуть сприйматися як протяги. Власне, стандарти EN 16798-1 та ASHRAE 55 звертають особливу увагу на локальний дискомфорт від протягів і вимагають врахування цього фактору при проектуванні повітророзподільних систем.

Окремим нормативним аспектом є забезпечення необхідної подачі зовнішнього повітря, тобто вентиляції. У спортивних приміщеннях вентиляція виконує не лише функцію розбавлення CO₂, а й служить засобом видалення надлишкової вологи, запахів, дрібнодисперсних аерозолів та побічних продуктів життєдіяльності людей. У міжнародній практиці розрахунок мінімальної витрати зовнішнього повітря здійснюється за методикою ASHRAE 62.1, яка враховує як кількість людей, так і площу приміщення. Для спортивних залів типу gymnasium норма складає близько 20

cfm/person з урахуванням додаткової площинної складової, що підтверджує необхідність підвищених витрат зовнішнього повітря в умовах спортивної активності. У твоєму проєкті також наведено рекомендації щодо подачі 20–30 м³/год свіжого повітря на людину, що узгоджується із загальною логікою санітарного нормування. Дослідження сучасних спортивних приміщень показують, що недотримання цих вимог призводить до перевищення рівнів CO₂, зростання концентрацій РМ і TVOC, а також до погіршення самопочуття користувачів.

Важливим індикатором належного повітрообміну є концентрація CO₂, яка у спортивних приміщеннях не повинна перевищувати санітарно допустимих значень. У твоєму проєкті правильно зазначено орієнтир на рівні 1000 ppm, перевищення якого вказує на недостатню вентиляцію. Сучасні роботи з дослідження IAQ у спортивних спорудах підтверджують, що саме CO₂ є зручним оперативним показником ефективності вентиляції, особливо в приміщеннях із нерівномірним графіком заповнення. Саме тому в сучасних системах кондиціонування доцільно впроваджувати керування за фактичним попитом із використанням датчиків CO₂, температури та вологості, що дозволяє одночасно покращити якість повітря й зменшити енергоспоживання.

Для спорткомплексу «Вертикаль» доцільним є застосування диференційованих нормативних параметрів залежно від функціонального призначення приміщень. Універсальні та тренажерні зали повинні мати посилений повітрообмін і порівняно нижчу температуру внутрішнього повітря через високі тепловиділення від людей. Зали групових занять, особливо з помірною руховою активністю, потребують додаткового контролю швидкості повітряних потоків, щоб уникати локального дискомфорту. Роздягальні, душові, адміністративні та допоміжні приміщення, навпаки, мають підтримувати вищі температури та більш спокійний аеродинамічний режим. Усе це свідчить про те, що нормативні

вимоги до мікроклімату в межах одного об'єкта не є однаковими і повинні реалізовуватися засобами багатозональної системи кондиціонування.

Таким чином, нормативні вимоги до мікроклімату в основних приміщеннях спортивного комплексу базуються на диференційованому підході до температури, вологості, швидкості руху повітря та обсягу зовнішнього повітря залежно від призначення приміщення. Якщо підрозділ 1.3 характеризує спеціальні умови для басейнової зони, то цей підрозділ формує загальну нормативну основу для спортивних, побутових та адміністративних приміщень спорткомплексу. Сукупність наведених вимог створює підґрунтя для подальшого обґрунтування вибору мультizonaльної VRF-системи.

Встановлено, що спортивні споруди характеризуються високою динамікою внутрішніх тепловологісних навантажень, значною нерівномірністю заповнення приміщень та підвищеними вимогами до якості повітряного середовища. Показано, що на відміну від адміністративних та житлових приміщень, у спортивних комплексах ключове значення мають не лише температура і відносна вологість повітря, а й локальний тепловий комфорт, інтенсивність вентиляції, характер повітророзподілу та здатність інженерних систем адаптуватися до нестаціонарних режимів експлуатації.

Проаналізовано особливості тепловологісного режиму спорткомплексу «Вертикаль» м. Одеса. Встановлено, що для об'єкта характерні високі внутрішні теплоприпливи від людей, значні вологовиділення, істотний вплив сонячної радіації та зовнішніх кліматичних факторів, а також наявність кількох функціональних зон з різними вимогами до параметрів мікроклімату. Це обумовлює необхідність застосування системи кондиціонування повітря з високою гнучкістю регулювання продуктивності та можливістю незалежного зонального керування.

Розгляд нормативних вимог показав, що для спорткомплексу «Вертикаль» необхідно враховувати як загальні параметри мікроклімату для спортивних,

побутових та адміністративних приміщень, так і спеціальні вимоги для басейнової зони з підвищеним вологовиділенням. Такий поділ дозволяє коректно сформулювати вимоги до системи кондиціонування повітря та ґрунту для подальшого обґрунтування доцільності вибору мультizonальної VRF-системи, що розглядається в наступному розділі дипломної роботи.

2. СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ: ТИПИ, ПРИНЦИПИ РОБОТИ ТА ОСОБЛИВОСТІ МУЛЬТИЗОНАЛЬНИХ VRF-СИСТЕМ

Аналіз мікроклімату спорткомплексу «Вертикаль», виконаний у попередньому розділі, показав, що традиційні підходи до кондиціонування не забезпечують потрібної гнучкості через змінні тепловологісні навантаження, нерівномірне заповнення приміщень і різні вимоги до мікроклімату в окремих зонах. Тому в цьому розділі розглянуто сучасні системи кондиціонування повітря та обґрунтовано доцільність застосування мультizonальних VRF-систем для даного об'єкта.

У сучасній HVAC-практиці системи кондиціонування розглядають як комплексні інженерні системи, що формують внутрішнє середовище будівлі відповідно до її функціонального призначення, характеру навантажень, санітарно-гігієнічних вимог та критеріїв енергоефективності. Для спортивних комплексів особливо важливими є багатозональність, робота на часткових навантаженнях, точність підтримання параметрів і можливість автоматизованого керування. Саме з цих позицій у розділі проаналізовано класифікацію сучасних систем кондиціонування, принцип роботи VRF-систем, їхні переваги та енергетичні особливості.

2.1 Класифікація сучасних систем кондиціонування повітря

Сучасні системи кондиціонування повітря класифікують за способом обробки повітря, типом енергоносія або холодоносія, конструктивним виконанням, кількістю обслуговуваних приміщень і принципом регулювання продуктивності. Для спорткомплексу «Вертикаль» це має прикладне значення, оскільки вибір системи повинен забезпечити енергоефективність, зональне регулювання та гнучку роботу при змінних навантаженнях.

У загальному випадку системи кондиціонування повітря поділяються на локальні, напівцентральні та центральні. До локальних належать спліт- і мультиспліт-системи, які обслуговують окремі приміщення або невеликі групи приміщень. Напівцентральні системи, зокрема чилер–фанкойл, передбачають централізоване виробництво холоду чи тепла з подальшим розподілом холодоносія або теплоносія до локальних термінальних пристроїв. Центральні системи реалізують повну обробку повітря в одному або кількох центральних кондиціонерах з його подальшим транспортуванням по мережі повітроводів до обслуговуваних зон. Окрему групу утворюють мультizonaльні VRF/VRV-системи, які поєднують риси локальних і централізованих систем: з одного боку, вони працюють за принципом прямого розширення холодоагенту, а з іншого — забезпечують одночасне обслуговування великої кількості зон від одного або декількох зовнішніх блоків.

Найпростішими є спліт-системи, у яких один зовнішній блок обслуговує один внутрішній. Вони придатні для окремих приміщень, але для великих багатофункціональних об'єктів малоефективні через відсутність централізованого зонального керування, необхідність встановлення великої кількості зовнішніх блоків і обмежені можливості координації режимів роботи.

Мультиспліт-системи дають змогу скоротити кількість зовнішніх блоків, однак зазвичай усі внутрішні блоки однієї системи працюють лише в одному режимі — або на охолодження, або на обігрів. Це знижує їхню ефективність у будівлях зі змінними та різноспрямованими навантаженнями, тому для багатозонального спортивного комплексу вони є недостатньо гнучкими.

Системи чилер–фанкойл забезпечують обслуговування великої кількості зон, але потребують розвиненої трубопроводної мережі, насосних контурів, балансування та складного гідравлічного регулювання. Крім того, вони мають додаткові енергетичні витрати на транспортування теплоносія і за швидкодією часто поступаються інверторним системам прямого розширення. Центральні системи забезпечують комплексну обробку припливного повітря — очищення, нагрів, охолодження, осушення та зволоження — з подальшим розподілом по мережі повітроводів. Проте для спортивних споруд вони часто є громіздкими через значні аеродинамічні втрати, потребу у великих вентиляційних камерах і обмежену гнучкість зонального регулювання.

Найбільш технологічно розвиненим класом систем кондиціонування сьогодні вважаються VRF/VRV-системи (Variable Refrigerant Flow / Variable Refrigerant Volume). Згідно з підходом ASHRAE, це системи прямого розширення, у яких теплота транспортується між зовнішнім блоком і мережею внутрішніх блоків за допомогою холодоагенту, а відмінними ознаками є наявність багатьох внутрішніх блоків, підключених до одного зовнішнього, змінна продуктивність, розвинене розподілене керування та можливість одночасного охолодження й обігріву в різних зонах. Daikin і Carrier у своїх технічних матеріалах також підкреслюють, що VRF-системи призначені саме для об'єктів, де критичними є зонування, гнучкість монтажу та висока ефективність на часткових навантаженнях.

У межах цього класу систем розрізняють двотрубні VRF-системи типу heat pump, у яких усі внутрішні блоки працюють в одному режимі, та тритрубні heat recovery системи, здатні одночасно забезпечувати

охолодження одних приміщень і обігрів інших. Саме останній тип є найбільш доцільним для будівель зі складною функціональною структурою та нерівномірними навантаженнями, до яких належать офісні комплекси, готелі, медичні центри та спортивні споруди. У твоїй пояснювальній записці саме на такому підході базується подальше обґрунтування вибору системи для спорткомплексу «Вертикаль».

Таким чином, класифікаційний аналіз сучасних систем кондиціонування повітря показує, що зі зростанням складності об'єкта та вимог до мікроклімату зростає потреба в системах, які поєднують високу точність регулювання, адаптивність до часткового навантаження, компактність комунікацій і можливість незалежного зонального керування. Саме за сукупністю цих ознак мультizonaльні VRF-системи є найбільш перспективними для застосування в спортивних комплексах.

2.2 Принцип роботи та конструктивні особливості мультizonaльних VRF-систем

Мультizonaльні VRF-системи належать до систем прямого розширення холодоагенту і працюють за зворотним парокомпресійним циклом. До їх складу входять зовнішній блок або група блоків, внутрішні блоки різного типу, система трубопроводів, розгалужувачі, електронні розширювальні вентиля, датчики та засоби керування. На відміну від систем чилер–фанкойл, тепло в них переноситься безпосередньо холодоагентом між зовнішнім блоком і внутрішніми теплообмінниками.

Принцип дії VRF-системи базується на змінній подачі холодоагенту до внутрішніх блоків відповідно до фактичної потреби кожної зони. Зовнішній блок оснащується інверторними компресорами, що змінюють продуктивність залежно від сумарного навантаження, а кожен внутрішній блок має електронний розширювальний вентиль, який дозує витрату холодоагенту за сигналами системи керування.

У режимі охолодження холодоагент після стискання в компресорі конденсується у зовнішньому теплообміннику, після чого через трубопроводи та розгалужувачі подається до внутрішніх блоків, де після дроселювання випаровується і поглинає теплоту від повітря приміщення. У режимі обігріву напрямок циклу змінюється: внутрішній блок працює як конденсатор, а зовнішній — як випарник.

З конструктивної точки зору однією з головних особливостей VRF-систем є можливість підключення великої кількості внутрішніх блоків до одного зовнішнього контуру. У технічних довідниках виробників зазначається, що сучасні VRF-системи можуть підключати десятки внутрішніх блоків до одного або кількох каскадно з'єднаних зовнішніх модулів, забезпечуючи гнучкість у формуванні конфігурації об'єкта. У твоїй пояснювальній записці також зазначено, що до одного зовнішнього блока може підключатися значна кількість внутрішніх блоків різного типу, що є принципово важливим для спорткомплексу, де різні приміщення потребують різних термінальних пристроїв — касетних, каналних, настінних, консольних або стельових.

Ще однією важливою особливістю є різноманітність внутрішніх блоків, яка дозволяє адаптувати систему до архітектурних і функціональних умов будівлі. Касетні блоки зручні для просторих залів з підвісними стелями, каналні — для прихованого монтажу та подачі повітря в кілька точок, настінні — для невеликих службових приміщень, а консольні та підлогові — для зон із специфічними обмеженнями по монтажу. Для спортивного комплексу це особливо актуально, оскільки одна і та сама система повинна інтегруватися як у великі зали, так і в невеликі адміністративні чи побутові приміщення. У цьому контексті VRF-технологія має очевидну перевагу над традиційними централізованими схемами, де вибір термінальних пристроїв часто є менш гнучким.

Важливою конструктивною перевагою VRF є гнучкість фреонової мережі, яка реалізується за рахунок довгих трас мідних трубопроводів, можливості значного перепаду висот і використання розгалужувальних пристроїв. Daikin у технічних матеріалах вказує на можливість сумарної довжини трас до близько 1000 м для окремих лінійок обладнання, а також на істотну вертикальну розв'язку між блоками, що робить VRF-системи придатними для багатоповерхових і складних за конфігурацією будівель. У межах дипломного проєкту ця властивість є важливою, оскільки дозволяє розташувати зовнішні блоки в технічно доцільній зоні без надмірних обмежень з боку трасування мереж.

Окремо слід розглянути двотрубні та тритрубні системи. Двотрубні VRF-системи типу heat pump є простішими й дешевшими, однак усі їхні внутрішні блоки одночасно працюють лише в одному режимі. Тритрубні системи типу heat recovery використовують додаткові розподільчі блоки та контури, завдяки чому можуть перерозподіляти тепло між зонами: відводити надлишкову теплоту з приміщень, що охолоджуються, і передавати її до приміщень, які потребують обігріву. Для будівель із різноспрямованими тепловими навантаженнями це принципово важлива властивість, адже вона дозволяє реалізувати внутрішню рекуперацію теплоти й підвищити сезонну ефективність системи. Саме такий тип системи в подальшому обґрунтовується для спорткомплексу «Вертикаль».

Суттєвою складовою VRF є автоматизована система керування, яка забезпечує координацію роботи зовнішніх і внутрішніх блоків, контроль температури, режимів роботи, захист від аварійних станів, оптимізацію енерговитрат та взаємодію із системами диспетчеризації будівлі. У сучасних VRF-системах застосовується мікропроцесорне керування, яке обробляє сигнали від численних датчиків температури, тиску, положення вентилів, присутності людей та інших параметрів. Такий рівень автоматизації дає змогу підтримувати мікроклімат з високою точністю та водночас

максимально використовувати потенціал часткового навантаження. Для спортивних споруд, у яких навантаження швидко змінюються протягом дня, це має критичне значення.

Таким чином, принцип роботи та конструктивні особливості мультizonальних VRF-систем свідчать про те, що вони є високотехнологічними системами кондиціонування прямого розширення, здатними забезпечувати багатозональне регулювання, точне дозування холодоагенту, гнучкий монтаж і високу адаптивність до змінних теплових навантажень. Саме ці властивості роблять їх доцільними для застосування у спортивних комплексах зі складною функціональною структурою.

2.3 Переваги мультizonальних VRF-систем для спортивних комплексів

Для спорткомплексу «Вертикаль» система кондиціонування повинна не лише покривати максимальні теплові навантаження, а й ефективно працювати при частковому завантаженні, забезпечувати локальне керування та бути придатною для багатозонального об'єкта. Саме за цими критеріями доцільно оцінювати переваги VRF-технології.

Першою й найбільш суттєвою перевагою VRF-систем є висока гнучкість зонального регулювання. На відміну від центральних систем, де параметри повітря часто задаються для великих груп приміщень або на рівні загального повітряного потоку, VRF дозволяє встановлювати індивідуальні параметри для кожної зони окремо. Це означає, що тренажерний зал, зал для групових занять, адміністративні приміщення і роздягальні можуть працювати в різних температурних режимах, відповідно до характеру перебування людей. Для спортивного комплексу це є особливо важливим, оскільки в різних приміщеннях одночасно можуть відбуватися процеси з принципово різними вимогами до температури і комфорту.

Ключовою перевагою VRF-систем є висока енергоефективність при змінних навантаженнях. Завдяки інверторному регулюванню компресор плавно змінює продуктивність відповідно до поточної потреби, без частих пусків і зупинок. Це особливо важливо для спортивного комплексу, де завантаження приміщень змінюється протягом доби.

Третьою вагомою перевагою VRF-систем, особливо в тритрубному виконанні, є можливість одночасного охолодження й обігріву різних приміщень. У традиційних системах ця задача зазвичай потребує окремих контурів або складніших схем керування, тоді як heat recovery VRF може переносити тепло між зонами в межах однієї системи. У будівлях із різними тепловими режимами — наприклад, коли в південних зонах є сонячний перегрів, а в допоміжних приміщеннях потрібен підігрів — це дає змогу суттєво економити енергію. Для спортивного комплексу, в якому одні приміщення мають високе внутрішнє тепловиділення, а інші потребують стабільного обігріву, така функція є надзвичайно цінною.

Четверта перевага полягає у високій гнучкості монтажу та відносно невеликому обсязі інженерних комунікацій. У VRF-системах замість великих повітроводів або розгалужених водяних мереж використовуються мідні трубопроводи порівняно малого діаметра. Це спрощує монтаж у вже існуючих або реконструйованих будівлях, зменшує потребу у вентиляційних камерах, звільняє простір у підвісних стелях і дозволяє краще інтегрувати систему в архітектуру споруди. Для спорткомплексу, де велика частина приміщень має значну висоту або підвищені вимоги до внутрішнього простору, це є вагомим конструктивним аргументом на користь VRF.

П'ята перевага — висока точність підтримання параметрів мікроклімату. Завдяки поєднанню інверторного компресора, електронних розширювальних вентилів та розвиненої автоматики VRF-система здатна підтримувати температуру в зоні з відносно невеликим відхиленням. Це особливо важливо для спортивних споруд, де навіть незначне перевищення

температури або недостатнє охолодження в умовах високої фізичної активності можуть відчутно погіршувати тепловий комфорт і якість тренувального процесу. Саме ця властивість відрізняє VRF від багатьох систем із грубішим ступеневим регулюванням продуктивності.

Водночас VRF-системи зазвичай не вирішують повністю задачу вентиляції, тобто подачі нормативної кількості зовнішнього повітря. Тому для спортивних споруд їх доцільно поєднувати з окремою припливно-витяжною установкою або DOAS-системою, що забезпечує санітарний повітрообмін.

Іншим обмеженням є більш висока вартість обладнання та проєктування порівняно з простими спліт-системами або окремими локальними кондиціонерами. VRF-система потребує ретельного розрахунку довжин трас, перепадів висот, коректного підбору розгалужувачів, погодження продуктивності блоків і належного автоматизованого керування. Відповідно, як проєктування, так і монтаж повинні виконуватися кваліфікованими фахівцями, що підвищує вимоги до інженерної культури реалізації системи. ASHRAE Guideline 41 окремо наголошує на важливості правильного проєктування, інсталяції та пусконаладження VRF-систем, оскільки саме ці етапи суттєво впливають на подальшу ефективність і безпечність експлуатації.

Також слід враховувати вимоги до роботи з холодоагентом, зокрема до герметичності системи, дотримання норм заправки, перевірки на витік та забезпечення безпечних умов монтажу й сервісу. На відміну від систем чилер–фанкойл, де тепло транспортується водою, у VRF по будівлі циркулює холодоагент, що потребує особливої уваги до інженерних розрахунків і техніки безпеки. Саме тому виробники й стандарти підкреслюють необхідність виконання монтажу сертифікованими спеціалістами та дотримання нормативів щодо холодоагентів.

Ще одним аспектом є те, що в деяких випадках VRF-системи можуть бути менш доцільними для будівель із дуже великим повітрообміном або

домінуючими вентиляційними навантаженнями, де основною задачею є масова централізована обробка повітря. У таких випадках центральні системи кондиціонування повітря з потужними повітрообробними установками можуть мати певні переваги. Однак у спорткомплексі «Вертикаль» визначальним є саме зональне терморегулювання при змінних внутрішніх навантаженнях, а не робота виключно як повітрообробної системи, тому це обмеження не є критичним і може бути компенсоване правильним поєднанням VRF з припливно-витяжною вентиляцією.

Таким чином, порівняльний аналіз свідчить, що для спортивного комплексу VRF-система має суттєві переваги над традиційними локальними та багатьма централізованими рішеннями: точне зональне регулювання, високу енергоефективність при частковому навантаженні, можливість рекуперації тепла, монтажну гнучкість та інтеграцію з автоматизованим керуванням. Її обмеження переважно пов'язані не з принциповою непридатністю, а з необхідністю якісного проектування, професійного монтажу та доповнення окремою вентиляційною складовою. Саме тому VRF розглядається як найбільш раціональна технологічна основа для системи кондиціонування спорткомплексу «Вертикаль».

Таблиця 2.1

«Порівняльна характеристика систем кондиціонування повітря для спортивних комплексів»

Параметр	Центральна система (чиллер-фанкойл)	Традиційна спліт-система	Мультизональна VRF-система
Зональне регулювання	Обмежене (по зонах фанкойлів)	Відсутнє (одна зона)	Індивідуальне в кожній зоні
Можливість одночасного охолодження та обігріву	Ні	Ні	Так (тритрубні системи)
Адаптація до змінних навантажень	Низька	Низька	Висока (інвертор)
Енергоефективність	Середня	Низька–середня	Висока (SEER/SCOP до 7+)

Рекуперация тепла	Обмежена	Відсутня	Висока
Об'єм повітроводів	Великий	Малий	Мінімальний
Складність монтажу в існуючих будівлях	Висока	Середня	Низька
Рівень шуму внутрішніх блоків	Середній	Середній	Низький (22–30 дБ(А))
Точність підтримання температури	$\pm 2 \dots 3 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\pm 0,5 \dots 1 \text{ } ^\circ\text{C}$
Вартість монтажу для багатозональних об'єктів	Висока	Середня	Середня–висока
Підходить для спортивних комплексів	Умовно	Ні	Оптимально

Як видно з таблиці 2.1, мультизональна VRF-система за більшістю ключових параметрів значно перевершує традиційні рішення. Саме поєднання індивідуального зонального регулювання, високої енергоефективності та можливості рекуператії тепла робить VRF-технологію найбільш раціональним вибором для забезпечення комфортного мікроклімату в спорткомплексі «Вертикаль» з урахуванням його складної функціональної структури та значної мінливості теплових навантажень.

2.4 Енергетичні та термодинамічні аспекти роботи VRF-систем

Енергетична ефективність VRF-систем є однією з головних причин їх широкого застосування в громадських будівлях. З погляду термодинаміки VRF-система є тепловим насосом прямого розширення, що працює за зворотним парокомпресійним циклом. У режимі охолодження внутрішній блок виконує функцію випарника, а зовнішній — конденсатора; у режимі обігріву ці функції змінюються місцями.

Ключовим чинником високої енергоефективності VRF є інверторне регулювання компресора. На відміну від систем із фіксованою продуктивністю, воно дозволяє змінювати частоту обертання електродвигуна та продуктивність машини відповідно до поточного теплового навантаження, зменшуючи втрати енергії при роботі на часткових режимах.

Важливим елементом є електронний розширювальний вентиль, який забезпечує точне дозування холодоагенту до кожного внутрішнього блока. Під керуванням автоматики він підтримує необхідні параметри процесу випаровування та конденсації, що підвищує стабільність роботи й загальну енергетичну ефективність системи.

У термодинамічному сенсі важливою перевагою VRF є робота на часткових навантаженнях, де система часто демонструє кращі показники, ніж у номінальній точці. Це пов'язано з тим, що при зменшенні навантаження зменшуються механічні та гідравлічні втрати, поліпшується узгодженість теплопередачі в теплообмінниках і знижується кількість циклів пуску-останову. У спортивному комплексі це має особливе значення, оскільки більшу частину часу будівля функціонує не в режимі абсолютного максимуму, а в режимах неповного заповнення залів, різної інтенсивності тренувань та змінних погодних умов. Саме за таких обставин інверторна система демонструє максимальну перевагу над традиційними рішеннями.

Окремої уваги потребує режим рекуперації тепла в тритрубних VRF-системах. У таких системах надлишкова теплота, вилучена з приміщень, які охолоджуються, може не скидатися в зовнішнє середовище, а використовуватися для обігріву інших приміщень. З погляду термодинаміки це означає внутрішню утилізацію теплоти в межах будівлі, що знижує потребу в додатковій роботі компресора та підвищує сезонні коефіцієнти ефективності. NREL у своїх аналітичних матеріалах розглядає VRF із heat recovery як перспективне рішення для зменшення енергоспоживання в будівлях зі змінними та взаємно компенсованими навантаженнями, а технічні посібники виробників підкреслюють економічну доцільність цього режиму для об'єктів зі складною зональною структурою.

Традиційними показниками ефективності для систем кондиціонування є EER, COP, а також сезонні показники SEER та SCOP. У пояснювальній записці до дипломного проекту та в технічних матеріалах виробників

наголошується, що для сучасних VRF-систем характерні високі сезонні коефіцієнти ефективності, які перевищують показники багатьох традиційних систем. Це пояснюється не лише інверторним керуванням, а й оптимізацією температури холодоагенту, електронним контролем витрат, удосконаленими теплообмінниками та алгоритмами роботи компресорів. Daikin, зокрема, акцентує увагу на технологіях Variable Refrigerant Temperature та optimized part-load efficiency, що дозволяють підвищувати ефективність у реальних експлуатаційних умовах.

Для об'єктів типу спорткомплексу важливим є також співвідношення між системою кондиціонування та вентиляційною складовою. Самі по собі VRF-системи дуже ефективні у перенесенні теплоти між зонами та підтриманні температурного режиму, однак при проектуванні необхідно окремо враховувати витрати енергії на подачу зовнішнього повітря. Саме тому в сучасній практиці високоефективні VRF-системи часто поєднують із dedicated outdoor air systems (DOAS), рекуператорами або вентиляційними установками з утилізацією теплоти. Такий підхід дозволяє розділити функції терморегулювання і санітарної вентиляції, досягнувши високої якості повітря без суттєвого погіршення енергетичних показників. Для спортивного комплексу, де вентиляційне навантаження може бути істотним, це є особливо важливим при подальшому розробленні системи.

З погляду термoeкономiчного аналізу VRF-системи є особливо привабливими для будiвель з нестационарним графiком навантажень, оскiльки iхня ефективнiсть не знижується катастрофiчно при вiдхиленнi вiд номiнального режиму. Саме ця властивiсть корелює зi специфiкою спорткомплексу «Вертикаль», де тепловi навантаження суттєво коливаються залежно вiд часу доби, типу занять, кiлькостi людей та сезонних умов. Отже, з енергетичної й термодинамiчної точок зору VRF-система є обгрунтованим вибором для такого об'єкта, оскiльки її конструкцiя й алгоритми керування вiдповiдають реальному характеру експлуатацiї будiвлi.

2.5 Висновки до розділу 2

У другому розділі проаналізовано сучасні системи кондиціонування повітря та встановлено, що для багатофункціональних спортивних об'єктів спліт- і мультиспліт-системи є недостатньо гнучкими, а системи чилер-фанкойл і центральні кондиціонери потребують складнішої інженерної інфраструктури. Натомість VRF-системи поєднують багатозональність, точне індивідуальне керування, компактність комунікацій і високу ефективність при часткових навантаженнях.

Показано, що VRF-системи працюють за принципом прямого розширення холодоагенту та характеризуються інверторним регулюванням компресорів, електронними розширювальними вентилями й можливістю одночасного охолодження та обігріву в різних зонах у тритрубному виконанні. Саме ці властивості забезпечують їхню адаптивність до нестационарних навантажень спортивних споруд.

Порівняльний аналіз підтвердив, що для спорткомплексу «Вертикаль» VRF-технологія є найбільш раціональним рішенням завдяки зональному регулюванню, високій точності підтримання температури, можливості рекуперації теплоти та монтажній гнучкості. Це створює достатнє теоретичне підґрунтя для подальшого розрахунку та підбору конкретної мультizonaльної VRF-системи.

3. РОЗРОБКА ТА ОПТИМІЗАЦІЯ МУЛЬТИЗОНАЛЬНОЇ VRF-СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ СПОРТКОМПЛЕКСУ «ВЕРТИКАЛЬ»

Теоретичний аналіз, проведений у попередньому розділі, показав, що мультizonальні VRF-системи є найбільш перспективним і енергоефективним рішенням для об'єктів зі складною функціональною структурою та високою динамікою тепловологісних навантажень. Спорткомплекс «Вертикаль» м. Одеса повністю відповідає цим критеріям, оскільки характеризується значними коливаннями теплових навантажень протягом доби, наявністю зон з різним рівнем фізичної активності та вимогами до індивідуального мікроклімату.

У даному розділі виконується практична частина роботи — аналіз існуючої системи, розрахунок тепловологісних навантажень, обґрунтування вибору обладнання, підбір мультizonальної VRF-системи та її техніко-економічна оцінка.

На момент проведення дослідження в спорткомплексі «Вертикаль» застосовується традиційна система кондиціонування повітря, яка не повністю відповідає сучасним вимогам до комфорту, енергоефективності та гнучкості регулювання.

Існуюча система має такі основні недоліки:

- Відсутність індивідуального зонального регулювання — всі приміщення (або великі групи приміщень) обслуговуються з однаковими параметрами повітря, що призводить до перегріву або переохолодження окремих зон.
- Низька адаптивність до змінних навантажень — система не здатна ефективно працювати в режимі часткового завантаження, що характерно для спортивного комплексу протягом доби.

- Значні енергетичні втрати через використання центральних повітроводів великого перерізу та відсутність рекуперації тепла.
- Обмежена можливість точного підтримання нормативних параметрів мікроклімату (температура, вологість, швидкість повітря) у різних функціональних зонах.
- Високі експлуатаційні витрати через неефективну роботу обладнання в умовах мінливого теплового навантаження.

Вищезазначені недоліки підтверджують необхідність модернізації системи кондиціонування шляхом впровадження сучасної мультизональної VRF-системи, яка дозволить усунути перераховані проблеми та забезпечити високий рівень комфорту при суттєвому зниженні енергоспоживання.

Основні вихідні дані проекту

Місце розташування об'єкта: м. Одеса, спортивний комплекс «Вертикаль».

Географічна широта: 46°29' пн. ш.

Розрахункові параметри зовнішнього повітря (категорія Б):

Теплий період року:

- Температура повітря, $t_n = +29,5 \text{ }^\circ\text{C}$
- Ентальпія, $h_n = 62,5 \text{ кДж/кг}$

Холодний період року:

- Температура повітря, $t_n = -15 \text{ }^\circ\text{C}$
- Ентальпія, $h_n = -18,5 \text{ кДж/кг}$

Розрахункові параметри внутрішнього повітря:

Теплий період:

- Температура: +23...+25 °C
- Відносна вологість: 40–60 %

Холодний період:

- Температура в спортивних залах: +18...+20 °C

- Температура в роздягальнях та адміністративних приміщеннях:
+20...+22 °С
- Відносна вологість: 40–60 %

Об'єкт являє собою сучасний двоповерховий спортивний комплекс, що включає універсальні спортивні зали, тренажерний зал, зали групових занять, роздягальні та адміністративно-побутові приміщення. Система кондиціонування має комфортний характер і повинна забезпечувати індивідуальне регулювання параметрів мікроклімату в кожній функціональній зоні.

3.1 Розрахунок процесів кондиціонування повітря

3.1.1 Вибір розрахункових параметрів внутрішнього й зовнішнього повітря.

Системи кондиціонування повітря комфортного призначення розраховуються на підтримку параметрів повітря, оптимальних для самопочуття людей. Параметри визначаються умовами тепло- і звогообміну, які у свою чергу залежать від конституції людини, стану його здоров'я, характеру виконуваної роботи, нервової напруги, одягу, а також від температури, вологості й швидкості руху навколишнього повітря. Нормами регламентовані значення оптимальних параметрів повітря для різних виробничих, суспільних і житлових приміщень.

Керуючись нормами проектування, приймаємо наступні значення температури, відносній вологості й швидкості руху повітря в приміщенні [9]:

теплий період року – $t_b = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $\varphi_b = 50 \text{ \%}$; $\omega = 0,3 \text{ м/с}$

холодний період року - $t_b = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $\varphi_b = 50 \text{ \%}$; $\omega = 0,2 \text{ м/с}$

Вибір розрахункових параметрів зовнішнього повітря визначається кліматичними умовами місцевості й призначенням комплексної мультizonaльної VRF системи.

У нашому випадку, параметри зовнішнього повітря, повинні відповідати класу [Б]. Керуючись [3.1], приймаємо наступні параметри зовнішнього повітря:

теплий період року – $t_b = 28,7^{\circ}\text{C}$; $h_b = 56,1$ кДж/кг;

холодний період року - $t_b = -22^{\circ}\text{C}$; $h_b = -20,7$ кДж/кг;

Таблиця 3.1. Розрахункові параметри внутрішнього мікроклімату для розрахункового приміщення

Найменування приміщення	Період року	Оптимальні параметри			Допустимі параметри			Розрахункові Параметри		
		$t_b, ^{\circ}\text{C}$	$\varphi_b, \%$	$v_b, \text{м/с}$	$t_b, ^{\circ}\text{C}$	$\varphi_b, \%$	$v_b, \text{м/с}$	$t_b, ^{\circ}\text{C}$	$\varphi_b, \%$	$v_b, \text{м/с}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Виставковий комплекс	ХП	20-21	45-30	0,2	18-23	<60	0,3	23	<60	0,3
	ПП	20-21	45-30	0,2	18-23	<60	0,3	23	<60	0,3
	ТП	23-25	60-30	0,3	18-28	<65	0,5	28	<65	0,5

3.1.1 Розрахунок теплопритоків (тепловтрат) і вологопритоків до повітря, що вентилює.

3.1.1.1 Теплий період року.

Визначаємо необхідну товщину термоізоляції стін і покрівлі:

Стіни виконані з пінобетону ($\delta_{\text{пн}} = 400$ мм), покритого із двох сторін цементною штукатуркою ($\delta_{\text{шт}} = 20$ мм);

Коефіцієнти теплопровідності матеріалів:

штукатурка $\lambda = 0,7$ Вт/(м · К);

пінобетон $\lambda = 0,15$ Вт/(м · К);

Тоді для стін коефіцієнт теплопередачі:

$$\kappa_{\text{ст}} = \left(\frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} \right)^{-1}, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{К}), \quad (3.1.1)$$

де $\alpha_{\text{вн}} = 8 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ - коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої поверхні стіни до повітря в приміщенні;

δ_i и λ_i - товщина й теплопровідність i -ЦО шаруючи огородження;

$\alpha_{\text{н}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ - коефіцієнт тепловіддачі із зовнішньої поверхні стіни.

$$\kappa_{\text{ст}} = \left(\frac{1}{8} + \frac{0,4}{0,15} + 2 \cdot \frac{0,02}{0,7} + \frac{1}{23} \right)^{-1} = 0,346 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}).$$

Покрівля плоска, виконана з наступних матеріалів:

гравій, утоплений у бітумну мастику

$$\delta = 20 \text{ мм}; \lambda = 0,18 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$$

3 шаруючи руберойду на бітумній мастиці

$$\delta = 10 \text{ мм}; \lambda = 0,17 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$$

цементно-піщана стяжка

$$\delta = 20 \text{ мм}; \lambda = 0,93 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$$

пенополеуретан

$$\delta = 120 \text{ мм}; \lambda = 0,05 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$$

залізобетонне збірне перекриття

$$\delta = 220 \text{ мм}; \lambda = 2,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$$

Тоді, для покрівлі коефіцієнт теплопередачі буде дорівнювати:

$$\kappa_{\text{кр}} = \left(\frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} \right)^{-1}, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{К}), \quad (3.1.2)$$

$$\kappa_{\text{кр}} = \left(\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,18} + 3 \cdot \frac{0,01}{0,17} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,12}{0,05} + \frac{0,22}{2,04} + \frac{1}{23} \right)^{-1} = 0,335 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}).$$

Вибираємо коефіцієнт теплоусвоювання матеріалу S шаруючи на границі поділу з [1]. Потім розраховуємо опір R , теплову інерцію шаруючи огороження D , теплову інерцію огороження (D по формулах наведеним нижче:

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}, \quad (3.1.3)$$

де (δ - товщина шару огороження; λ - теплопровідність матеріалу

$$D = R \cdot S \quad (3.1.4)$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 3.1.2.

Таблиця 3.1.2

Конструкція й матеріал	Щільність, ρ , кг/м ³	Товщина, δ , м	Коефіцієнти			
			Питома теплопровідність, λ , Вт/(мК)	Теплоусвоєння, S , Вт/(м ² К)	Термічний опір, R , (м ² К/Вт)	Теплова інерція, D
Вікна подвійне скло в металевих роздільних плетіннях					0.61	
Зовнішня стіна						
штукатурка	1600	0,02	0,7	9,7	0,0285	0,277
пінобетон	400	0,4	0,15	2,42	2,66	6,43
штукатурка	1600	0,02	0,7	9,7	0,0285	0,277
Безгорищне покриття						
гравій	800	0,02	0,18	3,6	0,111	0,3996
руберойд	600	0,01	0,17	3,53	0,058	0,20

						5
цементно-піщана верства	1800	0,02	0,93	11,1	0,0215	0,239
пінополіуре-тан	80	0,12	0,05	0,7	2,4	1,68
залізобетонна плита	2500	0,22	2,04	18,7	0,107	2,001
Внутрішні перегородки						
штукатурка	1600	0,02	0,7	9,7	0,0285	0,277
залізобетон	2500	0,05	2,04	18,7	0,0245	0,458
штукатурка	1600	0,02	0,7	9,7	0,0285	0,277

3.1.2. Розрахунок теплоприпливів виставкового комплексу

У приміщенні підтримується постійна температура повітря 23°C. Характеристика конструкцій, що обгороджують, приміщення, наведена в таблиці 3.1. Внутрішні перегородки складаються з: пінобетону товщиною $\delta_1=400$ мм. Із зовнішньої й внутрішньої сторони є штукатурка товщиною по $\delta_2=20$ мм.

Коефіцієнти теплопровідності матеріалів:

- штукатурка $\lambda = 0,7$ Вт/(м · К);
- пінобетон $\lambda = 0,15$ Вт/(м · К).

Висота приміщення 3,6 м.

Максимальний тепловий потік сонячної радіації через вікна площею 417,1 м² знаходимо по формулі, при максимальній щільності потоку прямої радіації 542 і непрямої 129 Вт/м²; при коефіцієнті теплопропусканні $K_4=0,61$; $K_3=1$; $K_1=1$; $K_2=1$: відсутність захисних устроїв на вікнах

$$Q_{oc,i} = (q_n K_1 + q_p K_2) K_3 K_4 A_{oc} \text{ Вт}, \quad (3.1.5)$$

де q_n , q_p - поверхнева щільність теплового потоку, Вт/м², через засклений світловий проріз у липні в дану годину доби, відповідно від прямій (q_n) і неухважної (q_p) сонячної радіації, прийнята для вертикального й горизонтального остекління по [3];

$$K_1 = K_{n,r} \cdot K_{n,b} \quad (3.1.6)$$

де K_1 - коефіцієнт опромінення прямою сонячною радіацією для обліку площі світлового прорізу, незатіненою горизонтальною й вертикальною площинами в будівельному виконанні;

$$K_{n,r} = 1 - \left(\frac{l_1 \cdot \operatorname{tg} h_s - r}{\cos A_{s,os} \cdot H} \right), \quad (3.1.7)$$

$$K_{n,b} = 1 - \left(\frac{l_2 \cdot |\operatorname{tg} A_{s,os}| - s}{B} \right). \quad (3.1.8)$$

де H , B - висота й ширина світлового прорізу, м;

l_1 , l_2 - ширина горизонтальних і вертикальних будівельних сонцезахистних площин;

h_s - висота сонця - кут, град., між напрямком сонячного променя і його проекцією на горизонтальну площину;

$A_{s,oc}$ - сонячний азимут остекління світлового прорізу, визначається різницею кутів азимута сонця й азимута світлового прорізу;

$$K_2 = K_r \cdot K_b \quad (3.1.9)$$

де K_2 - коефіцієнт опромінення для обліку надходження неухважної сонячної радіації через світлові прорізи, незатінені горизонтальної й вертикальної зовнішніми сонцезахистними площинами в будівельному виконанні;

K_3 - коефіцієнт теплопропускання сонцезахистними устроїв;

K_4 - коефіцієнт теплопропускання остеклінням світлових прорізів, прийнятий по [3];

A_{oc} - площа світлового прорізу (остекління), m^2 .

$$Q_{oc,i} = (542 \cdot 1 + 129 \cdot 1) \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 417,1 = 454,6 \text{ Вт.}$$

Для визначення показника a_{Π} поглинання приміщенням теплового потоку сонячної радіації знаходимо коефіцієнти теплоусвоювання, $Вт/(m^2 \cdot K)$:

Для вікон:

$$Y_{oc} = \frac{1}{R_{oc} - 1/\alpha_{вн}}, \text{ Вт}/(m^2 \cdot K), \quad (3.1.10)$$

де R_{oc} - термічний опір теплопередачі остеклених світлових прорізів, прийняте по додатку 6 [3];

$\alpha_{вн}$ - коефіцієнт тепловіддачі [3, табл. 3].

$$Y_{oc} = \frac{1}{0,34 - 1/8} = 4,65 \text{ Вт}/(m^2 \cdot K).$$

Для зовнішньої стіни по шару пінобетону: $D=6,43 > 1$, то

$$Y_{уст} = S_{печ}, \text{ Вт}/(m^2 \cdot K). \quad (3.1.11)$$

$$Y_{уст} = 2,42 \text{ Вт}/(m^2 \cdot K).$$

Для перегородок провадиться розрахунок для половини їхньої товщини по пінобетоні:

$D/2 = 3,215 > 1$, те

$$Y_{\text{пер}} = R_{\text{м}} S_{\text{м}}^2, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \quad (3.1.12)$$

де $S_{\text{м}}$ - коефіцієнт теплоусвоювання матеріалу шаруючи на границі поділу, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

$$Y_{\text{пер}} = 2,66 \cdot 2,42^2 = 15,57 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Для покриття по верстві залізобетонної плита: $D=1,1 > 1$, те

$$Y_{\text{пок}} = S_{\text{жел}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}). \quad (3.1.13)$$

$$Y_{\text{пок}} = 18,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Показник сумарного теплоусвоювання приміщення:

$$\sum Y = Y_{\text{ст}} A_{\text{ст}} + Y_{\text{ок}} A_{\text{ок}}, \text{ Вт}/\text{К} \quad (3.1.14)$$

де $A_{\text{ст}}$ – $A_{\text{ок}}$ - внутрішні поверхні огорожень приміщення й поверхні встаткування, м^2 .

$$\sum Y = 2,42 \cdot 167,86 + 4,65 \cdot 391,06 = 2227,95 \text{ Вт}/\text{К}.$$

Показник інтенсивності конвективного теплообміну:

$$\Delta = 2,55(A_{\text{ст}} + A_{\text{ок}}), \text{ м}^2, \quad (3.1.15)$$

$$\Delta = 2,55(157,86 + 381,06) = 1484,25 \text{ м}^2.$$

Показник поглинання приміщенням теплового потоку сонячної радіації:

$$a_{\text{п}} = \varphi \left(\sum \frac{Y}{\Delta} \right), \quad (3.1.16)$$

$$a_{\text{п}} = \varphi \left(\frac{2227,95}{1484,25} \right) = \varphi(1,5).$$

По [4] знаходимо загальну тривалість радіації через вікна $\Delta Z=7$ ч і початок радіації в $Z=5$ ч, при $a_{\text{п}}=1,5$ знаходимо величини показника $a_{\text{п}} = 0,06$ для

$Z = 5$ ч; $a_{\text{п}}= 0,15$ для $Z+1=6$ ч і так далі для всіх годин доби й записуємо їх у перший рядок табл. 1, додаток 1.

Помножимо $Q_{\text{ос.і}}$ на показники $a_{\text{п}}$; отримані годинні надходження теплоти, поглинені приміщенням і передані його повітря, вносимо в другий рядок табл. 1, додаток 1.

Визначаємо величину теплового потоку теплопередачею через вікна й значення заносимо в таблицю 1, додаток 1:

$$Q_{\Delta t} = \frac{(t_{\text{н}} + 0,5\theta_1 \cdot A_{\text{м,с}} - t_{\text{п}})A_{\text{ос}}}{R_{\text{ос}}}, \text{ Вт} \quad (3.1.17)$$

де $t_{\text{нар}}$ - середня за добу температура зовнішнього повітря, °С, прийнята рівній температурі липня [5];

$A_{\text{м.з}} = 12,5$ °С - максимальна добова амплітуда температури зовнішнього повітря в липні [5];

θ_1 - коефіцієнт, що виражає гармонійну зміну температури зовнішнього повітря [5];

t_b - температура повітря в приміщенні, °С [6];

$A_{oc} = 136,8 \text{ м}^2$, $R_{oc} = 0,34 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ - площа та опір теплопередачі, застосування світлового проїому [4, додаток б].

Визначаємо величину теплового потоку, через зовнішню стіну й заносимо в табл. 1, додаток 1:

$$Q_M = \left[\frac{1}{R} \cdot \left(t_{нар} + \rho \cdot \frac{J_{cp}}{\alpha_n} - t_n \right) + \frac{\beta_k \cdot \alpha_{вн}}{V} \left(0,5 \cdot \theta_1 \cdot A_{м,с} + \frac{\rho}{\alpha_n} \cdot \theta_2 \cdot A_j \right) \right] A_M, \quad (3.1.18)$$

де R – опір теплопередачі масивної конструкції, що огорожує, $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ [3];

$t_{нар}$, t_b – середня температура зовнішнього повітря в липні [5] і температура повітря в приміщенні;

$\rho = 0,3$ - коефіцієнт поглинання сонячної радіації поверхнею конструкції, що огорожує, [4, додаток 7];

J_{cp} , Вт/м^2 – середньодобове значення поверхневої щільності теплового потоку сумарної сонячної радіації (прямій і неуважної), що надходить у липні варто приймати для горизонтальної й для вертикальної поверхні [5];

$\beta_{до}$ – коефіцієнт рівний 1, при відсутності вентиляваного повітряного прошарку в огороженні (покритті);

V - величина загасання амплітуди коливань температури зовнішнього повітря в конструкції, що обгороджує, [4] або по формулі:

$$V = 2^{\Sigma D} \left(0,83 + 3 \cdot \frac{\Sigma R}{\Sigma D} \right) \cdot V_c \cdot V_a \quad (3.1.19)$$

де $\sum R$ – термічний опір огороження Вт/(м²·К); D - теплова інерція огороження.

$$V_c = 0,85 + 0,15 \cdot \frac{S_2}{S_1} \quad (3.1.20)$$

$$V_c = 0,85 + 0,15 \frac{2,42}{9,7} = 0,88,$$

де S_1 й S_2 – коефіцієнти теплосвоєння матеріалів першої й другої шару огороження по ходу теплової хвилі, Вт/(м²·К), по [4].

$V_a = 1$, тому що немає повітряного прошарку.

$$V = 2^{6,984} \left(0,83 + 3 \cdot \frac{2,717}{6,984} \right) \cdot 0,88 \cdot 1 = 222.$$

θ_1, θ_2 - коефіцієнти, прийняті по таблицях для кожної години доби, відповідно при

$$\varepsilon_1 = \varepsilon + 15 \quad (3.1.21)$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon + z, \quad (3.1.22)$$

де ε - запізнювання температурних коливань в огороженні;

Z - час максимуму сумарної (прямій і розсіяної) сонячної радіації, прийняте по таблицях;

A_j – амплітуда добових коливань сумарної сонячної радіації (прямій і розсіяної);

A_m – площа масивної конструкції, що огорожує (зовнішньої стіни, покриття), м²;

$\alpha_n, \alpha_{вн}$ – коефіцієнти тепловіддачі зовнішньої й внутрішньої поверхні огороження, Вт/(м² · К).

$\delta = 0,3$ для штукатурки

$j_{cp} = 73 \text{ Вт/м}^2$ для Пв стіни

для Пв стіни

$$A_j = 201 - 73 = 128 (\text{Вт/м}^2)$$

$$\varepsilon = 2,7 \Sigma D - 0,4, \text{ ч,} \quad (3.1.23)$$

$$\varepsilon = 2,7 \cdot 6,984 - 0,4 = 18 \text{ ч.}$$

для Зі стіни по формулах (3.19 й 3.20)

$$\varepsilon_1 = 18 + 15 = 33 \text{ ч,}$$

$$\varepsilon_2 = 18 + 19 = 37 \text{ ч.}$$

Другий поверх:

Уважаємо для покрівлі,

$$V_c = 0,85 + 0,15 \cdot \frac{3,53}{3,6} = 0,99; V_a = 1.$$

$$V = 2^{4,5246} \left(0,83 + 3 \cdot \frac{2,6975}{4,5246} \right) \cdot 0,99 \cdot 1 = 59,9.$$

$\beta_k = 1$, тому що відсутня вентиляований повітряний прошарок;

$\delta = 0,6$ для листової сталі пофарбованої в зелені кольори.

$j_{cp} = 328 \text{ Вт/м}^2$

$$A_j = 866 - 328 = 538 \text{ Вт/м}^2,$$

По формулі (3.1.21)

$$\varepsilon = 2,7 \cdot 3,6236 - 0,4 = 9,3 \approx 9 \text{ ч},$$

$$\varepsilon_1 = 9 + 15 = 24 \text{ ч},$$

$$\varepsilon_2 = 9 + 13 = 22 \text{ ч}.$$

Сумарний максимальний тепловий потік, що нагріває повітря приміщення (додаток 1) доводиться на 11 годин сонячного часу. Він становить 96484 Вт.

3.2.1.2. Розрахунок тепlopоступлення від різних джерел

Тепlopоступлення від людей

$$Q_{\text{л}} = n \cdot q_{\text{л}}, \text{ Вт}, \quad (3.1.24)$$

де n - число людей, що перебувають у приміщенні;
 $q_{\text{л}}$ – тепловиділення від однієї людини, Вт.

$$Q_{\text{л1}} = 200 \cdot 150 = 30000 \text{ Вт}.$$

Визначаємо явні й сховані теплопритоки від людей

$$Q_{\text{л}}^{\text{скр}} = n \cdot q_{\text{л}}^{\text{скр}}, \text{ Вт}, \quad (3.1.25)$$

де n - число людей, що перебувають у приміщенні;
 $q_{\text{л}}^{\text{скр}}$ – сховані тепловиділення від однієї людини, Вт [10]

$$Q_{\text{л1}}^{\text{скр}} = 400 \cdot 150 = 60000 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{л}}^{\text{явн}} = Q_{\text{л}} - Q_{\text{л}}^{\text{скр}}, \text{ Вт}, \quad (3.1.26)$$

$$Q_{л1}^{явн} = 60000 - 30000 = 30000 \text{ Вт.}$$

Теплопритоки від висвітлення, приймаємо 12 Вт/м^2 .

$$Q_{осв} = 0,5 \cdot 12 \cdot 1251,8 = 7511,1 \text{ Вт.}$$

Теплопритоки від обладнання

$$Q_{об} = K_{од} \cdot N \cdot \gamma \cdot K_{заг} \cdot 1000, \text{ Вт,}$$

(3.1.27)

$$Q_{об} = 0,8 \cdot 1,8 \cdot 5 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 1000 = 4032, \text{ Вт,}$$

Визначаємо повне теплопостачання

$$Q_{пол} = Q_{л} + Q_{осв} + Q_{огр} + Q_{об}, \text{ Вт,} \quad (3.1.28)$$

$$Q_{пол} = 9775 + 46207,2 + 77214 + 4032 = 100705754, \text{ Вт}$$

3.1.1.3 Розрахунок вологовиділення від різних джерел

Виділення вологи від людей

$$W_{л} = n \cdot w_{л}, \text{ кг/с} \quad (3.1.29)$$

де n – число людей у приміщенні;

$w_{л}$ – виділення вологи від однієї людини, г/с.

$$W_{л} = 85 \cdot 3,5 \cdot 10^{-5} = 2,975 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с.}$$

$$W_{л} = 400 \cdot 3,5 \cdot 10^{-5} = 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ кг/с.}$$

Визначаємо вологовиділення від вологого збирання

$$W_{вл.в.} = \sigma F_n (d''_n - d_n) \cdot 0,1, \text{ кг/с} \quad (3.1.30)$$

σ – коефіцієнт вологообмін, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$

$$\sigma = \frac{\alpha}{c_p^B} = \frac{\alpha}{c_p^{c.B.} + c_p^H \cdot d_{cp}}, \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}) \quad (3.1.31)$$

$$\sigma = \frac{8}{2 \cdot 10^3 + 1,86 \cdot (9 + 18) / 2} = 0,007827 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}),$$

c_p – ізобарна теплоємність, [кДж/кг·К];

d_{II}, d''_{II} - вологовмісту повітря в приміщенні при заданій відносній вологості й на лінії насичення.

$$W_{\text{дв.о.}} = 0,007 \cdot 262,5 \cdot (18 - 9) \cdot 10^{-3} \cdot 0,1 = 1,64 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/\text{с},$$

$$Q_{\text{вл.у.}}^{\text{скр}} = r \cdot W_{\text{вл.у.}}, \text{ (Вт)}, \quad (3.1.32)$$

де r - схована теплота паротворення

$$r = r_0 - 2,3 \cdot t_w^M, \text{ (кДж/кг)}. \quad (3.1.33)$$

де t_w^M - температура повітря в приміщенні по мокрому термометрі.

$$r = 2500 - 2,3 \cdot 16,5 = 2462,05 \text{ (кДж/кг)},$$

$$Q_{\text{вл.у.}}^{\text{скр}} = 2462,05 \cdot 10^3 \cdot 1,65 \cdot 10^{-3} = 4062,4 \text{ Вт}.$$

Визначаємо повне вологовиділення

$$W_{\text{пол}} = W_{II} + W_{\text{вл.у.}}, \text{ кг}/\text{с}, \quad (3.1.34)$$

$$W_{\text{пол}} = 2,97 \cdot 10^{-3} + 1,65 \cdot 10^{-3} = 4,62 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/\text{с}.$$

Визначаємо тепловологістну характеристику

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{пол}}}{W_{\text{пол}}}, \text{ кДж/кг}, \quad (3.1.35)$$

$$\varepsilon = \frac{152,2}{4,61 \cdot 10^{-3}} = 33162 \quad \text{кДж/кг.}$$

Визначаємо загальну сховану теплоту

$$Q_{\text{скр}} = Q_{\text{скр}}^l + Q_{\text{скр}}^{\text{вл.у}}, \text{ Вт} \quad (3.1.36)$$

$$Q_{\text{скр}} = 29520 + 0 = 29520, \text{ Вт}$$

Визначаємо загальну явну теплоту

$$Q_{\text{явн}} = Q_{\text{пол}} - Q_{\text{скр}}, \text{ Вт} \quad (3.1.37)$$

$$Q_{\text{явн}} = 100705,754 - 29520 = 71185,7542, \text{ Вт}$$

Приймаємо $\Delta t_p = 5^\circ\text{C}$.

$$G_1 = \frac{Q_{\text{пол}}}{h_{\text{в}} - h_{\text{п}}}, \text{ кг/с}, \quad (3.1.38)$$

$$G_1 = \frac{100705,754}{43 - 36} = 14,386 \text{ кг/с,}$$

$$G_2 = \frac{Q_{\text{явн}}}{c_p \Delta t_p}, \text{ кг/с} \quad (3.1.39)$$

$$G_2 = \frac{71185,7542}{1,0235 \cdot 5} = 14,152 \text{ кг/с}$$

$$c_p = 1,006 + 1,8d, \text{ кДж} \quad (3.1.40)$$

$$c_p = 1,006 + 1,8 \cdot 9,7 \cdot 10^{-3} = 1,0235 \text{ кДж}$$

$$G_3 = \frac{W_{\text{пол}}}{d_b - d_{\text{п}}}, \text{ кг/с.} \quad (3.1.41)$$

$$G_3 = \frac{1,28 \cdot 10^{-2}}{(8,5 - 7,5)10^{-3}} = 1,28 \text{ кг/с.}$$

Вибираємо $G = 14,3865 \text{ кг/с.}$

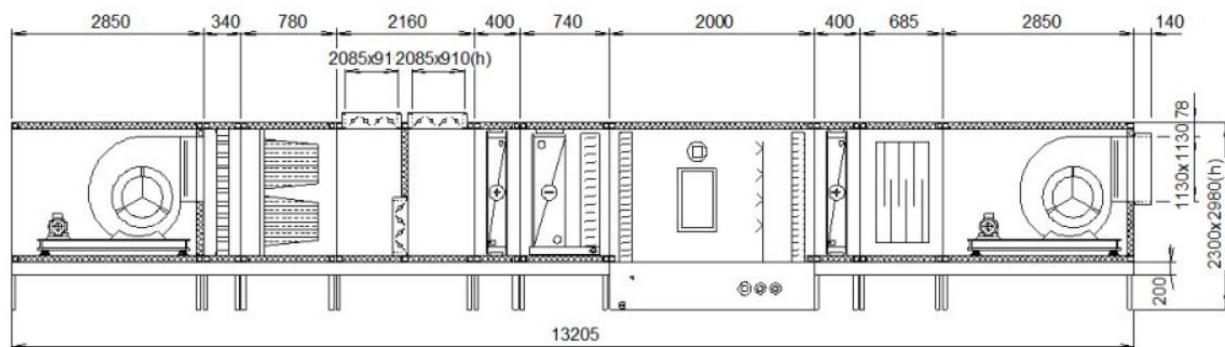


Рис.3.1.1. Ескізна схема кондиціонера за розрахунком вище

Результати розрахунку інших приміщень зведені в таблицю 3.3

Таблиця 3.1.3

Приміщення	$Q_{\text{пол}}$, КВт	$W_{\text{пол}}$, кг/с	ε , кДж/кг·К	G , кг/с
Перший поверх	100,7	0,00128	78500	14,38

3.1.2 Холодний період року.

Зовнішня температура повітря $t_n = -18^\circ\text{C}$ [3];

Ентальпія зовнішнього повітря $h_n = -18,3 \text{ кДж/кг}$ [3].

$$G_x = G_T, \text{ кг/с}, \quad (3.1.42)$$

$$G_x = 14,38 \text{ кг/с}.$$

3.1.2.1 Розрахунок тепловиділення від конструкцій, що обгороджують

$$Q_{opr} = Q_{cm} + Q_{ok}, \text{ Вт}, \quad (3.1.43)$$

$$Q_{ct} = k_{ct} F (t_n - t_b), \text{ Вт}, \quad (3.1.44)$$

де F_{ct} – площа стін, м^2 ;

k_{ct} – коефіцієнт теплопередачі через стіни, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$;

$t_n - t_b$ – різниця температур зовнішнього повітря й повітря в приміщенні, $^{\circ}\text{C}$

$$Q_{cm} = 0,346 \cdot 417,1 \cdot (-21 - 18) = -5628,35 \text{ Вт},$$

$$Q_{ok} = F_{ok} \cdot k_{ok} (t_n - t_b), \text{ Вт}, \quad (3.1.45)$$

де F_{ok} – площа вікон, м^2 ;

k_{ok} – коефіцієнт теплопередачі через вікна, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$;

$t_n - t_b$ – різниця температур зовнішнього повітря й повітря в приміщенні, $^{\circ}\text{C}$.

$$Q_{ok} = 26,25 \cdot 1,2 \cdot (-21 - 18) = -1288,5 \text{ Вт},$$

$$Q_{kr} = k_{kr} F_{kr} (t_n - t_b), \text{ Вт} \quad (3.1.46)$$

де F_{kr} – площа покрівлі, м^2 ;

k_{kr} – коефіцієнт теплопередачі через покрівлю, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$;

$t_n - t_b$ – різниця температур зовнішнього повітря й повітря в приміщенні, $^{\circ}\text{C}$.

$$Q_{кр} = 1,21 \cdot 1251,84 \cdot (-21 - 18) = -590747 \text{ Вт},$$

$$Q_{опр1} = -12285 - 590747 - 442839 - 562835 = -703599 \text{ Вт},$$

3.2.2.2 Розрахунок тепловиділення від різних джерел

Тепловиділення від людей

$$Q_{л}^3 = Q_{л}^л, \text{ Вт}, \quad (3.1.47)$$

$$Q_{л}^3 = 55500 \text{ Вт}.$$

Тепловиділення від висвітлення

$$Q_{осв}^3 = Q_{осв}^л, \text{ кВт} \quad (3.1.48)$$

$$Q_{осв}^3 = 7511,088 \text{ кВт}$$

Повний теплоприток

$$Q_{пол} = Q_{л} + Q_{осв} + 0,4Q_{опр} + Q_{об}, \text{ Вт}, \quad (3.1.49)$$

$$Q_n = 55500 + 7511,088 - 0,4 * (-703599) + 4032 = 3889911 \text{ Вт}.$$

Повний вологоприток

$$W_{пол}^3 = W_{пол}^л, \text{ кг/с}, \quad (3.1.51)$$

$$W_{пол}^3 = 0,00128 \text{ кг/с},$$

$$\Delta h_p = \frac{Q_{пол}^3}{G}, \text{ кДж/кг} \quad (3.1.52)$$

$$\Delta h_p = \frac{100,7}{14,38} = 7,002 \text{ кДж/кг}$$

$$\Delta t_p = \frac{Q_{пол}^3 - Q_{скр}^л}{G \cdot c_p}, \text{ }^\circ\text{C} \quad (3.1.53)$$

$$\Delta t_p = \frac{38899,11 - 9379,11}{14,38 \cdot 1,018} = 20,35 \text{ }^\circ\text{C}$$

Визначаємо тепловологістну характеристику

$$\varepsilon = \frac{Q_{пол}^3}{W_{пол}}, \text{ кДж/кг} \quad (3.1.54)$$

$$\varepsilon = \frac{38,8}{0,001438} = 32,296 \text{ кДж/кг}$$

3.2. Обґрунтування вибору та підбір обладнання мультизональної VRF-системи

На підставі розрахунку, зробленого вище, одержимо необхідну масову кількість повітря для кожного приміщення. Тоді корисний обсяг повітря для систем визначається по формулі:

$$L = \frac{3600 \cdot G_v}{\rho}, \quad (3.2.1)$$

де $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ – щільність повітря.

Для системи K_1 корисна об'ємна витрата повітря буде дорівнює:

$$L_1 = \frac{3600 \cdot 14,38}{1.2} = 43140 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Для системи K_2 :

$$L_2 = \frac{3600 \cdot 9,6}{1.2} = 28800 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

З урахуванням втрат через нещільності у системі воздухорозподілу обладнання підбираємо по наступних об'ємних витратах:

- для системи K_1

$$L_1^n = 1.04 \cdot L_1, \text{ м}^3 / \text{ч}$$

$$L_1^n = 1.04 \cdot 43140 = 44865,6 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

- для системи K_2

$$L_2^n = 1.04 \cdot L_2, \text{ м}^3 / \text{ч}$$

$$L_2^n = 1.04 \cdot 28800 = 29952 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Підбираємо комплексну мультизональну VRF систему для виставкового комплексу.

Комплексна мультизональна VRF - це система кондиціонування повітря, інвенторного типу, яка дозволяє створювати різні параметри мікроклімату в окремих приміщеннях будівлі. Число температурних зон в одній системі може сягати 60 при одному чи декількох зовнішніх блоках.

З діаграми для вологого повітря d, i зовнішнє повітря охолоджується

від точки $H \left(h_n = 36 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right)$ до точки $K_1 \left(h_{k_1} = 28 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right)$. Кількість холоду,

необхідна для цього, дорівнює:

$$Q_{не} = G_{не} \cdot (h_n - h_{k_1}) = 14,38 \cdot (36 - 28) = 115 \text{ кВт} \quad (3.2.2)$$

Для роботи мультизональної VRF потрібно холоду:

$$Q = 115 \cdot 1,1 = 126,6 \text{ кВт}$$

Обираємо комплексну мультизональну систему кондиціонування повітря:

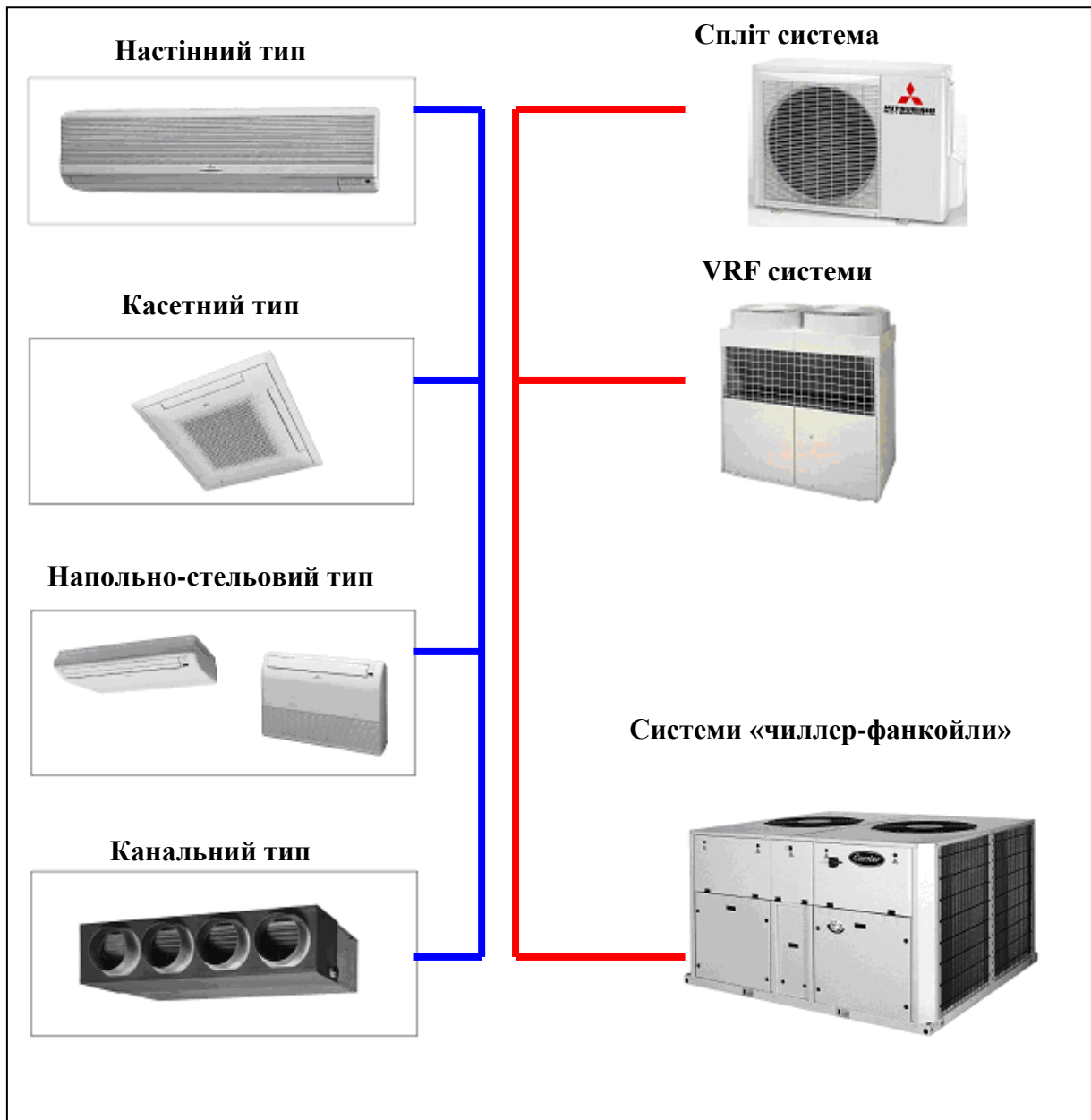


Рис.3.2.1. Види мультизональних систем.

Таблиця 3.2.1. Оптимальні параметри повітря в обслуговуваній зоні приміщень

Період року	Температура рабочої зони, °С.	Швидкість повітря рабочої зони, м/с.	Відхилення температури, °С.	Відхилення швидкості повітря, К.
Теплий	20 - 22	0,2	1,5	1,2
	23 - 25	0,3	1,5	1,2

Холодний	20 - 22	0,2	1,5	1,2
----------	---------	-----	-----	-----

На підставі даних таблиці можна визначити критичні значення параметрів припливної струменя, при її вступі до робочу зону.

У теплий період температура робочої зони підтримується за рахунок асиміляції надлишків тепла приміщення. Тому критична температура припливної струменя відрізняється в меншу сторону від температури робочої зони:

$$t_{\min} = t_{p.z.} - \Delta t = 20 - 1,5 = 18,5^{\circ}\text{C} \quad (3.2.3)$$

Максимальна швидкість повітря припливної струменя при її вході в робочу зону залежить від розрахункової швидкості повітря, отже, від розрахункової температури повітря робочої зони (таблиця 1). При температурі внутрішнього повітря 20 - 22 °С гранична швидкість струменя:

$$V = K \times V_{p.z.} = 1,2 \times 0,2 = 0,24 \text{ м/с} \quad (3.2.4)$$

При температурі внутрішнього повітря 23 - 25 °С гранична швидкість струменя дорівнює:

$$V = K \times V_{p.z.} = 1,2 \times 0,3 = 0,36 \text{ м/с} \quad (3.2.5)$$

У холодний період температура робочої зони підтримується за рахунок поповнення тепловтрат приміщення місцевими кондиціонерами. Тому критична температура припливної струменя відрізняється в більшу сторону від температури робочої зони:

$$t_{\min} = t_{p.z.} + \Delta t = 22 + 1,5 = 23,5^{\circ}\text{C} \quad (3.2.6)$$

Максимальна швидкість повітря припливної струменя при її вході в робочу зону:

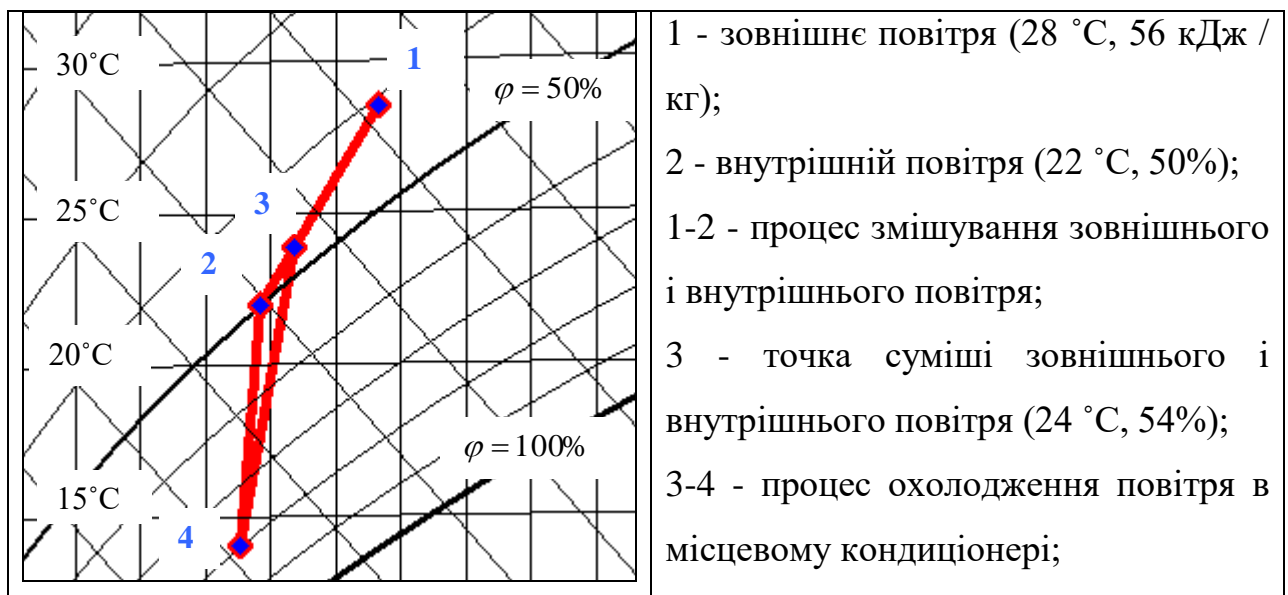
$$V = K \times V_{p.z.} = 1,2 \times 0,2 = 0,24 \text{ м/с} \quad (3.2.7)$$

Для визначення параметрів повітряного струменя при досягненні робочої зони необхідні значення параметрів повітря на виході з місцевого кондиціонера (таблиця 3.2.2 - номінальні умови)

VRF системи GENERAL

Моделі	AS18 (настінні)	AU20 (касетні)	AB18 (універсал)	AR18 (каналні)
Потужність охолодження, кВт	5,4	5,7	5,3	5,3
Максимальна витрата повітря, м ³ /ч	840	1000	770	750
Температура повітря на виході, °С	16	17	15	15
Питома витрата повітря, м ³ /(ч*кВт)	156	175	145	142

Процес охолодження повітря в місцевих системах з фреоновим холодоносієм (рис. 4) протікає при більшому градієнті температур, ніж в системах з водяним холодоносієм, так як температура кипіння фреону становить близько +5 °С, а середня температура води в фанкойлах близько +10 °С. Тому для збільшення теплообміну водяні системи в порівнянні з фреоновими мають кілька великою питомою витратою повітря (близько 200 м³ / (ч * кВт)).



	<p>4 - точка параметрів повітря на виході з місцевого кондиціонера (14 °С, 80%);</p> <p>4-2 - процес асиміляції внутрішніх тепловлагоізбитков.</p>
--	--

Рис. 3.2.2. Процес тепло-вологості обробки повітря приміщення місцевим кондиціонером, зображений на i-d діаграмі. Теплий період.

Для оцінки величин швидкості повітря зв'яжемо середню рухливість повітря в об'ємі приміщення з витратою повітря, що подається [3]. Виходячи з балансу кінетичної енергії припливної струменя і повітря приміщення можна написати наступне рівняння:

$$G_g \times \frac{V^2}{2} = M \frac{V_{cp}^2}{2} \quad (3.2.8)$$

де

- масова витрата повітря через місцевий кондиціонер, кг / с;
- швидкість повітря на виході з місцевого кондиціонера, м / с;
- маса повітря в об'ємі приміщення, кг.
- середня квадратична швидкість повітря в об'ємі приміщення, м / с.

Виходячи з формули (3.2.8) можна визначити середню швидкість повітря в приміщенні:

$$V_{cp} = V \sqrt{\frac{G_g}{M}} = V \sqrt{\frac{L}{W_{ном}}} \quad (3.2.9)$$

З огляду на, що питома теплове навантаження офісних приміщень в середньому дорівнює 150 Вт / м², а питома витрата повітря місцевого кондиціонера дорівнює 160 м³ / (ч * кВт), можна записати наступне рівняння:

$$V_{cp} = V \sqrt{\frac{L}{W_{ном}}} = 4 \sqrt{\frac{0,16 \times 50}{3600}} = 0,188 \text{ м / с} \quad (3.2.10)$$

Користуючись формулою (3.2.8) необхідно мати на увазі, що розрахована середня квадратична швидкість повітря відноситься до всього об'єму приміщення, в той час як рухливість повітря нормується в робочій зоні. Тому формула (3.2.10) при подачі повітря в верхню зону дає завищений результат швидкості повітря в робочій зоні, а при подачі повітря в робочу зону - занижений.

Висновки:

1. При проектуванні систем кондиціонування з місцевими кондиціонерами необхідно враховувати особливості розподілу повітря приміщень.
2. Середня квадратична швидкість повітря в приміщеннях з місцевими кондиціонерами менше 0,2 м / с.
3. Для настінних внутрішніх блоків мінімальна висота установки повинна становити 2,7 метра.
4. Оптимальне розподіл повітря в режимі охолодження дають касетні внутрішні блоки.
5. Для роботи в режимі обігріву кращими характеристиками розподілу повітря мають підлогові внутрішні блоки.

Фактичні параметри критичних значень припливної струменя для теплого і холодного періодів року в значній мірі залежать від конструкції місцевого кондиціонера і особливостей його установки в приміщенні, що обслуговується. Згідно даних параметрів розглянемо епюри температур і швидкостей повітря в приміщеннях з касетним типом кондиціонерів.

Касетний тип місцевого кондиціонера. Режим охолодження.

Швидкість вентилятора – максимальна.

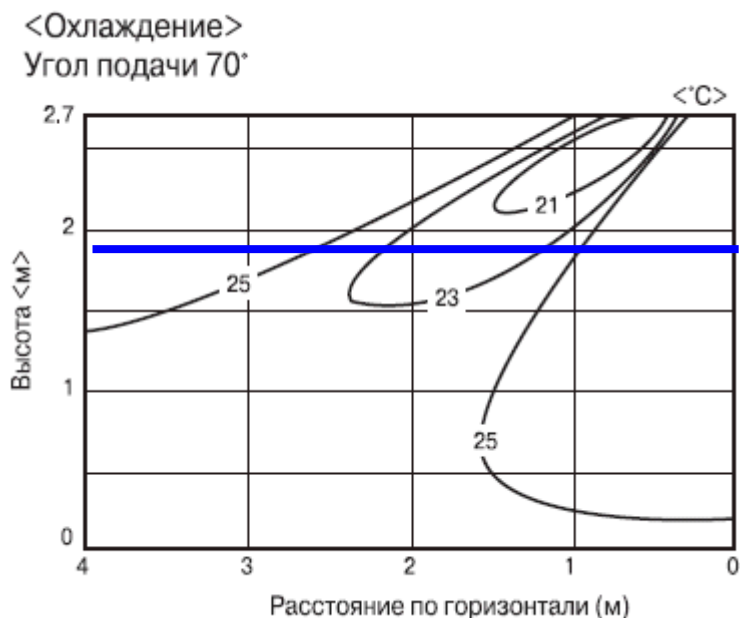


Рис. 3.2.3. Епюра температур повітря в припливній струмені касетного кондиціонера в режимі охолодження.

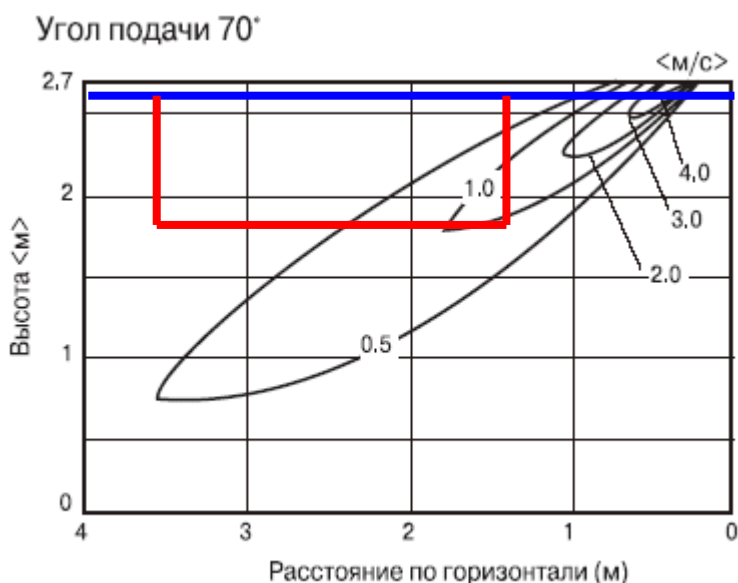


Рис. 3.2.4. Епюра швидкостей повітря в припливній струмені касетного кондиціонера (режим вентилятора).

На відміну від настінних кондиціонерів класичні касетні блоки розподіляють повітря в чотирьох напрямках, а не в одному (рис. 3.2.3). При однаковій висоті приміщення рівень роздачі кондиціонованого повітря в касетних моделях максимально наближений до площини стелі і значно вище, ніж, наприклад, у настінних кондиціонерів. Завдяки цьому при однаковій

потужності внутрішніх блоків касетні блоки забезпечують більш рівномірну обробку внутрішнього повітря і менші градієнти температур в приміщенні.

При роботі касетного кондиціонера в режимі охолодження повітря в приміщення подається максимально наближеним до горизонтальному напрямку. При перетині робочої зони параметри повітряного струменя: максимальна швидкість повітря - 0,7 м / с (у настінних 3 м / с), температура повітря - 23 °С (рис. 3.2.3 і рис. 3.2.4). Для касетних внутрішніх блоків критичним параметром є тільки швидкість повітряного струменя при надходженні в робочу зону.

Касетний тип місцевого кондиціонера. Режим обігріву.

Швидкість вентилятора - максимальна.

Кут подачі - 30 °



Рис. 3.2.5. Епюра температур повітря в припливній струмені касетного кондиціонера в режимі обігріву.

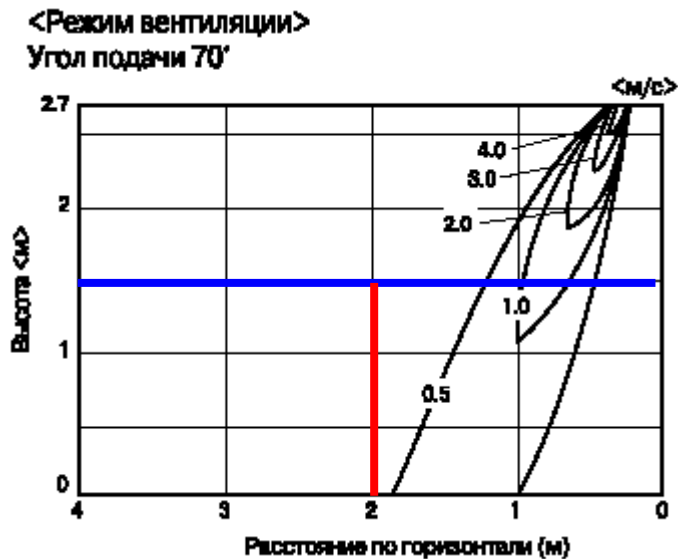


Рис. 3.2.6. Епюра швидкостей повітря в припливній струмені касетного кондиціонера.

У режимі обігріву, як і настінні кондиціонери, касетні блоки дають значні відхилення від нормативних значень як по температурі, так і за швидкістю повітря в робочій зоні (рис. 3.2.2 і рис. 3.2.3). Якщо по швидкості повітря відхилення виникають тільки в області безпосередньо під кондиціонером (до 2-х метрів від осі вентилятора), то по нормованій температурі граничне значення 23,5 °С не витримується практично у всій робочій зоні. При перетині робочої зони параметри повітряного струменя: максимальна швидкість повітря - 1,2 м / с, температура повітря - 31 °С.

Згідно розробки вище розглянемо комплексні мультizonальні VRF системи кондиціювання повітря за каталогами різних виробників. Дані занесемо в таблицю 3.2.2.

Таблиця 3.2.2

Характеристики	Daikin REYHQ24P	Mitsubishi Electric MXZ- 2D33VA	Fujitsu AIRSTAGE AJY234GALHH	Hitachi RAI- 50QPB
Продуктивність, НР (Кінські сили):	24	33	36	50
Площа обслуговування, м ² :	670	400	700	50
Номінальна продуктивність охолодження: КВт	67	12,2	72,8	5
Номінальна продуктивність обігріву: КВт	75	4,0 (1,0–4,1)	81,5	6,2
Енергоспоживання в режимі охолодження: КВт	17,2	3,81	18,01	18
Енергоспоживання в режимі обігріву: КВт	17,2	3,810	18,73	18
Енергоефективність при охолодженні (EER):	3,9	3,01	4,04	3,6
Енергоефективність при обігріві (COP):	4,4	3,67	4,35	4,1
Розміри блоку:	1680x1240+	900x1070	1690x930	285x580

	1240x765 мм	x320(+67)	+1240x765	×580
Вага: кг	254+254	87	303 + 262	20+4
Рівень шуму: Дб	66	55	63	50
Марка холодоагенту:	R410A	R410A	R410A	R410A
Гарантія: рік	3	3	3	3
Діапазон робочих температур в режимі охолодження: °С	-5(-20) ~+43	-10 ... +46	-10...+46	-10 ... +46
Діапазон робочих температур в режимі обігріву: °С	-20 ~ +15.5	-15 ... +24	-20...+21	-15 ... +24
Максимальна кількість підключаються внутрішніх блоків:	39	6	39	4
Напруга: В	400	220-240	400	220
Частота току: Гц	50	50	50	50

Згідно вхідних даних та розрахунків обираємо комплексну мультizonальну VRF систему фірми Daikin, модель REYHQ-P (макс. енергоефективність і рекуперація тепла). Опис серії - серія REYHQ-P - це, мабуть, одна з найпотужніших серій серед VRF-систем. Унікальні режими Daikin забезпечили максимальну економію при загальній високій потужності кондиціонера. За рахунок модифікації зовнішніх блоків VRF III була досягнута найвища ступінь енергоефективності, як сезонної, так і загальної. Найбільш вражаючі результати демонструє блок Daikin REYHQ12P - він, на сьогоднішній день, є найекономічнішим зовнішнім блоком VRF третього

покоління. Зовнішні блоки VRF-систем серії REYHQ-P - це компактні, але дуже ефективні і продуктивні інверторні моделі, які забезпечують прискорений вихід на необхідну температуру і стабільно підтримують комфортний мікроклімат в приміщенні. Блоки не тільки ефективно вирішують поставлені завдання, а й здатні знизити споживання енергії та значно знижувати рахунки за електрику. Економія досягається за рахунок суперсучасного інвертора і компресора кондиціонера. Основна відмінність кондиціонерів даного класу - це різноманітність оригінальних режимів і функцій Daikin, завдяки яким, забезпечується краща економія енергії і максимальний комфорт в будь-який час року. Однією такою функцією є рекуперація тепла. За допомогою рекуперації кондиціонер значно економить електроенергію в міжсезоння - коли внутрішні блоки одночасно працюють на охолодження та обігрів. Холодоагент (фреон), який брав участь в охолодженні повітря, направляється на нагрівання повітря. Таким чином, збільшується загальна корисна робота і досягається значна економія електроенергії.



Рис.3.2.7. Мультизональна VRF система фірми Daikin, модель REYHQ-P

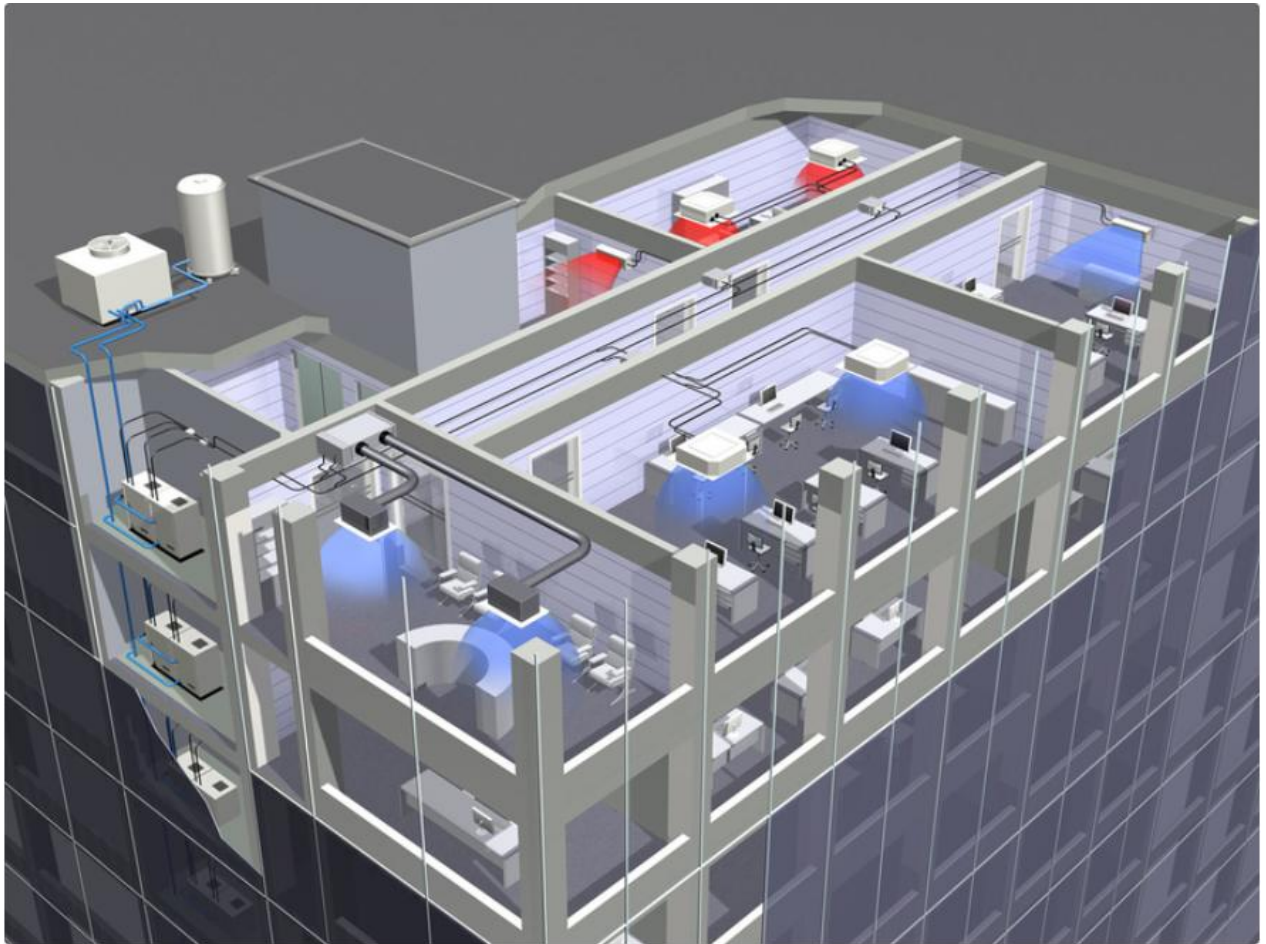


Рис.3.2.8. Приклад розподілення мультizonальної VRF системи

Економія електроенергії і оптимальні умови роботи

Щоб досягти оптимальних показників роботи системи кондиціонування, слід дотримуватися певних правил.

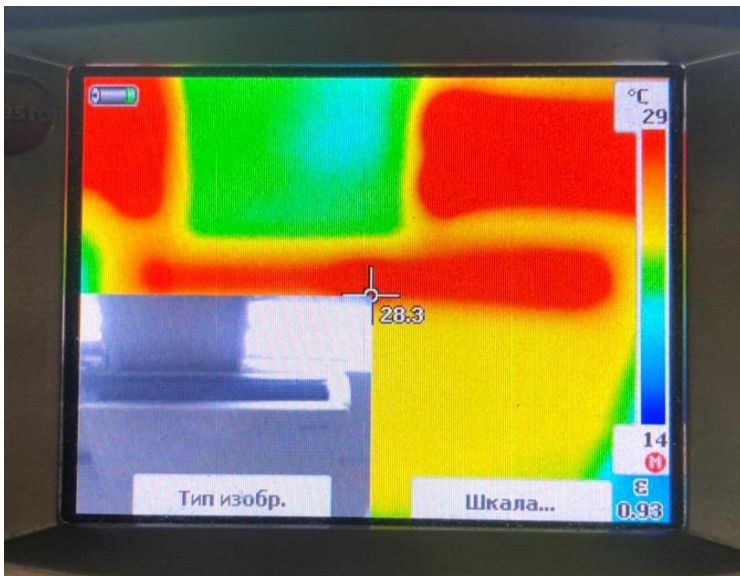
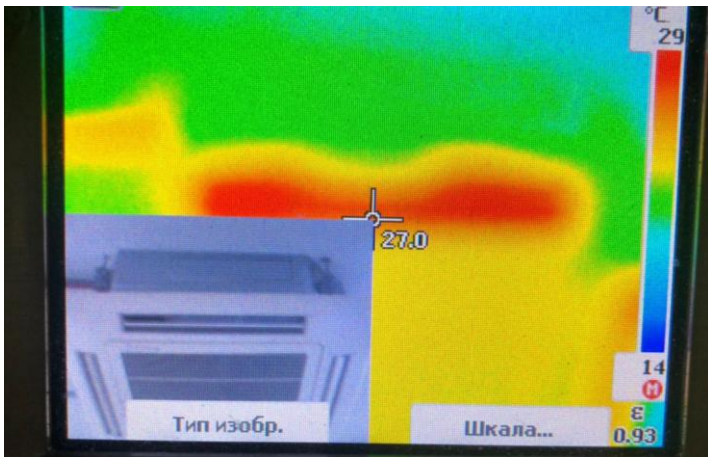
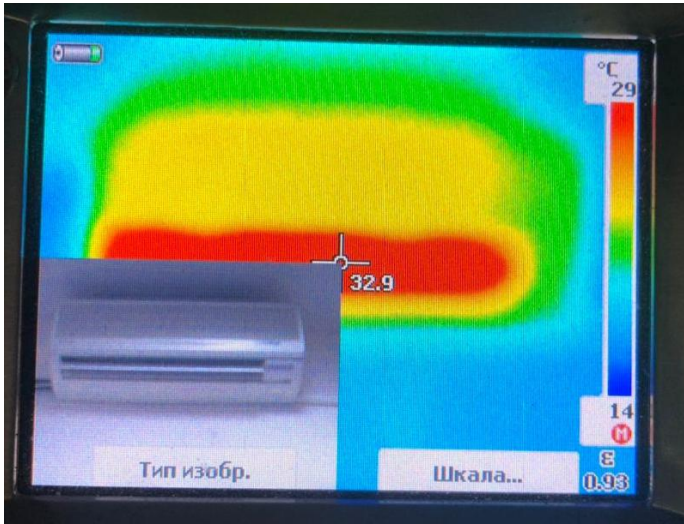
- Вибирайте правильний напрямок повітряного потоку, уникаючи прямого впливу струменя повітря на знаходяться в приміщенні людей.
- При установці температури повітря в приміщенні намагайтеся забезпечити найбільш комфортні умови. Уникайте переохолодження або перегріву.
- При роботі системи в режимі охолодження не допускайте попадання в приміщення прямих сонячних променів, використовуйте фіранки або жалюзі.
- Періодично провітрюйте приміщення. При інтенсивному використанні кондиціонера вентиляції слід приділяти особливу увагу.

- Тримайте вікна і двері закритими. Якщо вони відкриті, циркуляція повітря знизить ефективність охолодження або нагрівання приміщення.
- Не слід переохолоджувати і перегрівати приміщення. З метою економії електроенергії підтримуйте температуру на середньому рівні.

Рекомендована температура

При охолодженні	26-28 °С
При нагріванні	20-24 °С

- Ніщо не повинно перешкоджати входу повітря в блок і виходу повітря з нього. В іншому випадку ефективність кондиціонування знизиться або система взагалі перестане працювати.
- Вимкніть харчування кондиціонера, якщо він довго не використовується. Навіть непрацюючий кондиціонерспоживає електроенергію. Перед запуском системи подайте на неї харчування за 6 годин до початку роботи – це створить найкращі умови для включення кондиціонера.
- Якщо на дисплеї відображається символ (пора чистити фільтр), для проведення цієї операції зверніться до кваліфікованих фахівців.
- Внутрішній блок і пульт дистанційного керування повинні перебувати на відстані не менше 1 м від телевізійних і радіоприймачів, стереосистем та іншого аналогічного обладнання. В іншому випадку можливе створення перешкод прийому радіо- і телепрограм.
- Не ставте під внутрішнім блоком предмети, які можуть бути пошкоджені водою. При вологості повітря понад 80% і при засміченні зливного отвору можливе утворення конденсату.



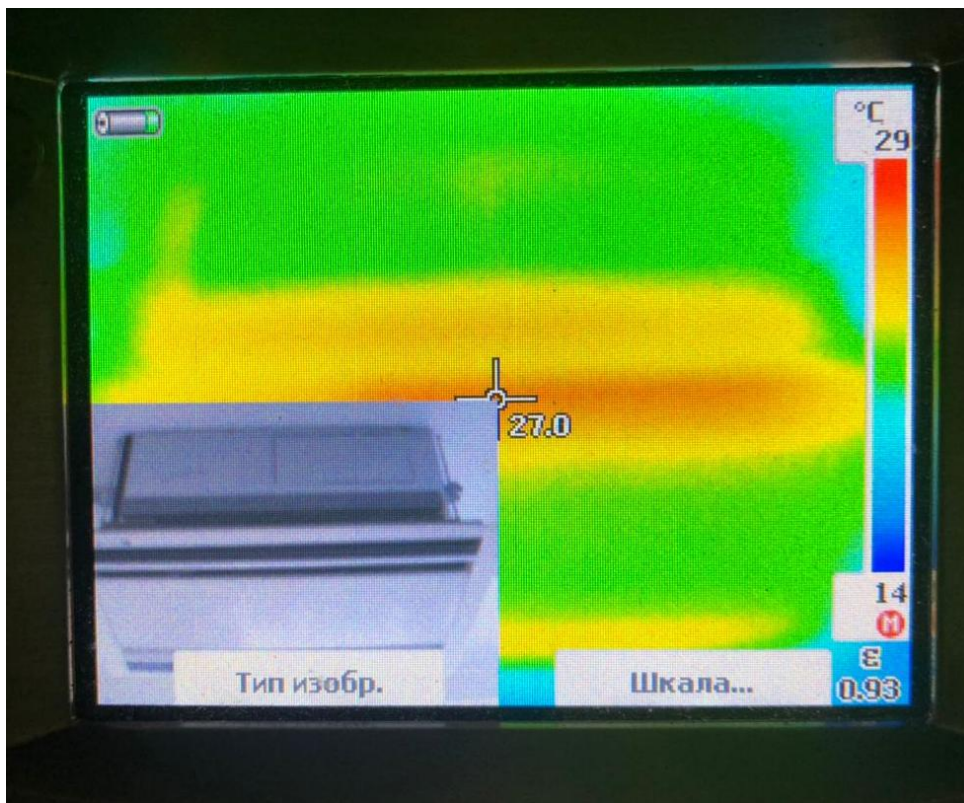
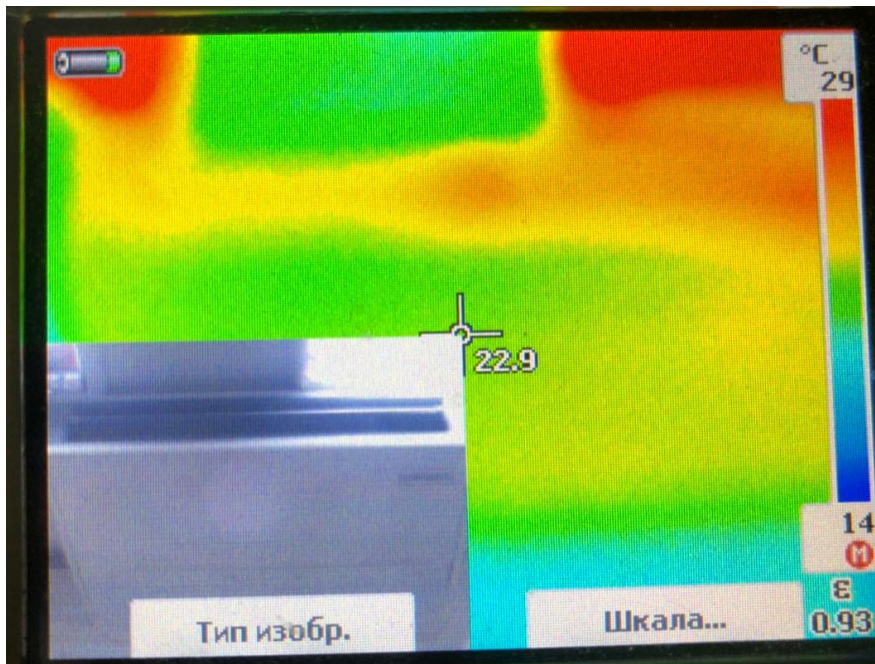


Рис.3.2.9. Експериментальна VRF система

3.3. Розрахунок повітряного фільтра

У приточних агрегатах першими по ходу повітря встановлюються повітряні фільтри, що дозволяють охоронити поверхню наступних технологічних блоків від забруднення пилом.

Робота повітряних фільтрів характеризується наступними показниками: ефективністю очищення, пилеємність, питомим повітряним навантаженням.

У кишенькових фільтрів поверхня фільтруючого матеріалу збільшена шляхом його кишенькового розташування. Це дозволяє значно збільшити фронтальний перетин і поверхню фільтра для проходження через нього повітря, що очищає. Розвиток фільтруючої поверхні дає можливість понизити питомі повітряні навантаження на фільтр.

Як фільтрувальний матеріал у кишенькових фільтрах застосовуються полотна із гнучких зв'язаних волокон або матеріал з голкопробивним отворами.

Ступінь очищення повітря від пилу оцінюється показником ефективності очищення

$$A_m = ((C_{вх} - C_{вих})/C_{вх}) \cdot 100\%. \quad (3.3.1)$$

Концентрація пилу в приточном зовнішнім повітрі на вході у фільтр

$C_{вх}$, мг/м³ характеризує початкову запыошеність.

Для чистого повітря $C_{вх} = 0,15$ мг/м³.

Обчислимо запыошеність приточного повітря на виході з кишенькового фільтра при $A_m = 80\%$

$$C_{вих} = C_{вх} - (A_m \cdot C_{вх})/100, \text{ мг/м}^3, \quad (3.3.2)$$

$$C_{вих} = 0,15 - (80 \cdot 0,15)/100 = 0,03 \text{ мг/м}^3.$$

Для оцінки пропускної здатності фільтрів застосовується показник питомого навантаження

$$УФ = L/F_{\phi}, \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}^2, \quad (3.3.3)$$

де F_{ϕ} – фронтальна поверхня фільтруючого матеріалу, м^2 ;

$$УФ = 28800/18,6 = 1548,38 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}^2.$$

де L – витрата минаючі через фільтр повітря, що очищає, $\text{м}^3/\text{ч}$;

F_{ϕ} – фронтальна поверхня фільтруючого матеріалу, м^2 ;

$C_{\text{вх}}, C_{\text{вих}}$ – концентрація маси пилу до й після фільтра, $\text{мг}/\text{м}^3$.

$$\tau_{\phi} = 570 \cdot 1000 \cdot \frac{18,6}{[[0,15 - 0,03] \cdot 28800]} = 3067,7 \text{ ч.}$$

Тривалість у робочих днях експлуатації кишенькових фільтрів

$$\tau = \frac{\tau_{\phi}}{\tau_{\text{сут}}}, \text{ днів}, \quad (3.3.5)$$

$$\tau = \frac{3067,7}{8} = 383 \text{ днів.}$$

3.3.1. Підбір фільтрів.

У системах кондиціонування фільтри необхідні для очищення та видалення з повітря всіляких забруднень.

Від якості та функціональності фільтра багато в чому залежить його вартість. Але необов'язково вибирати найдорожчу універсальну модель. Досить визначитися з типом забруднень, усунення яких пріоритетнішою за все. Наприклад, для житлових приміщень актуальною буде фільтрація пилу і шерсті тварин, в кімнатах з підвищеною вологістю - спор цвілі, на виробництвах - токсичних речовин і т.д.

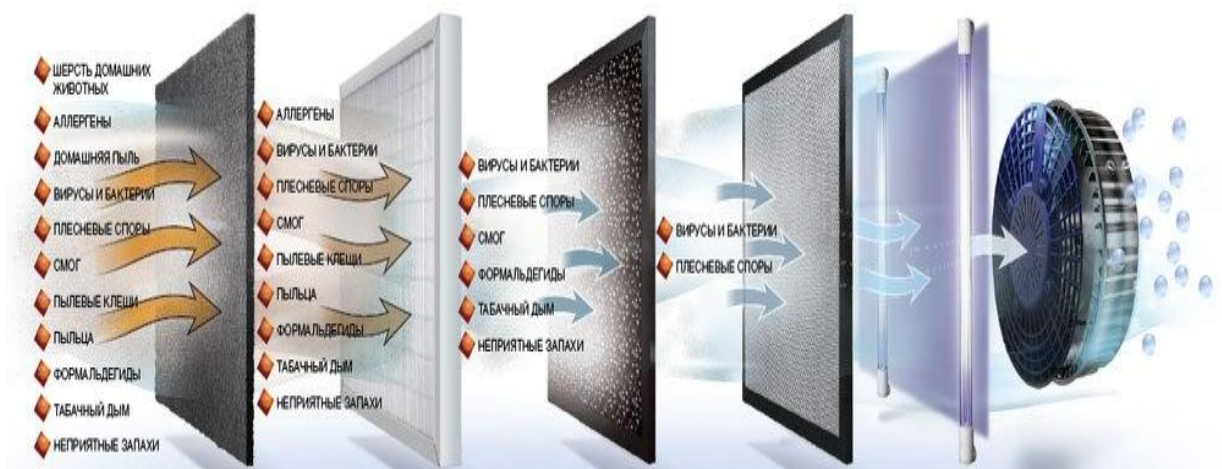


Рис.3.3.1. Різні види забруднень у повітрі

Фільтри грубої очистки

Механічне видалення забруднень з повітря за принципом дії схоже з ситом. Грубі фільтри затримують великі пилові частинки, пух і шерсть. Їх первинним завданням є захист внутрішніх деталей кондиціонера, що запобігає раптові поломки, а тільки потім - очищення повітря.

Механічні фільтри встановлюються за воздухозаборной ґратами, перешкоджаючи потраплянню в теплообмінник частинок пилу розміром більше 2 мкм. Вони затримують до 95% великих забруднень, що містяться в повітрі, що значно подовжує експлуатаційний термін обладнання. Щоб кондиціонер прослужив якомога довше, слід віддати перевагу моделі з якісним механічним фільтром. Для підтримки працездатності системи його

досить періодично чистити від скупчуються забруднень. Стежити за станом фільтраційного елементу допомагає спеціальний індикатор. Він активується раз в 2-3 місяці, коли необхідно провести профілактичний догляд за фільтром. При цьому деякі моделі кондиціонерів продовжують працювати, а інші автоматично відключаються.

Також сучасні виробники кліматичної техніки випускають обладнання зі змінними грубими фільтрами. Нові встановлюються раз в 3-4 місяці, а старі можна викидати, щоб не відмивати їх від товстого шару пилу, що скупчився, вовни, ворсу і т.д.

Фільтри тонкого очищення

Тонке очищення повітря дозволяє видаляти дрібні частинки пилу до 1 мкм, а також хвороботворні бактерії, маслянисті і інші домішки. З огляду на спосіб і ступінь усунення забруднень, розрізняють кілька типів тонких фільтрів: полімерні, синтетичні, вугільні, електростатичні, ультрафіолетові, плазмові і нанофільтри. Виробники сучасної кліматичної техніки часто вдаються до установки відразу декількох типів в одному пристрої. Як правило, такі кондиціонери продаються за ціною, вищою за середню.

Фільтри для клімат-техніки виробляються на основі активованого вугілля. Їх часто називають дезодоруючими, так як вони відрізняються здатністю ефективно видаляти сторонні запахи. Дані елементи мають термін придатності, на який сильно впливають:

близькість автомобільних трас; екологічний фон регіону; розташування будівлі по відношенню до сторін світу; інші фактори.

Для ефективної роботи кліматичного обладнання зазвичай досить заміни фільтрів тонкого очищення кожні 4 місяці. Однак виробники продовжують займатися розробкою фільтруючих елементів, які служать набагато довше. Наприклад, ультрафіолетові здатні поступово відновлювати свої основні параметри під впливом УФ-променів.

Вугільні фільтри

Унікальні абсорбуючі властивості даних виробів дозволяють повністю очищати повітря від запаху сигарет, їжі, що готується і т.д. Один вугільний фільтр «працює» від 2,5 до 4 місяців.

Фільтри з антибактеріальним покриттям

Даний тип відрізняється специфічною обробкою, яка вбиває віруси, спори грибків і різні хвороботворні бактерії. Фільтраційні елементи, покриті антибактеріальною речовиною, мають тривалий експлуатаційний термін, оскільки мають ефект самоочищення.

Фільтри цеолітів (фотокаталізатори)

Основні діючі речовини таких фільтрів - активоване вугілля і двоокис титану. Остання під каталізуючим дією сонячного випромінювання здатна розщеплювати практично будь-яку органіку. Тому для очищення фільтру цеоліту досить помістити його на деякий час в добре освітлюється сонцем місце. Завдяки даним властивостям експлуатаційний термін виробів сягає 3-5 років. Вони не схильні до негативного впливу вологого середовища, оскільки виготовлені з водовідштовхувальних волокон.

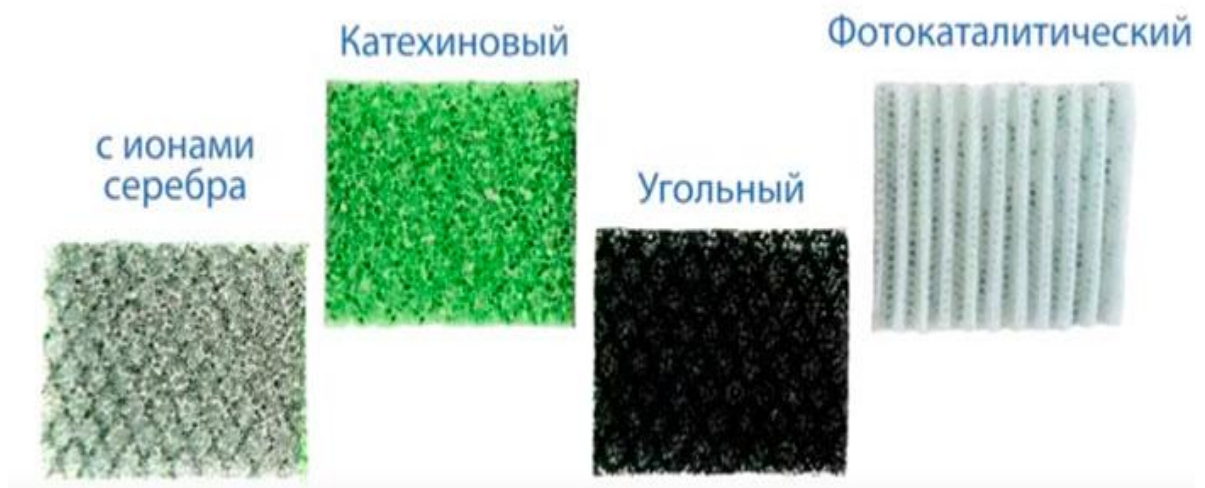


Рис.3.3.2. Види фільтрів

Катехинові фільтри

Речовина катехін є природний антисептик, у великій кількості міститься в чайному листі. Воно знезаражує повітря від вірусів і бактерій, а також усуває запахи їжі, що готується, сигаретного диму, поту та ін., Розщеплюючи їх до рівня нешкідливих з'єднань. Катехін нейтралізує хвороботворні мікроби, закриваючи собою шипи, якими вони чіпляються за здорову клітину, заражаючи її. В результаті цього вірус стає нездатним до паразитичного взаємодії з іншими організмами.

Фільтри «Васабі»

Васабі - це традиційна японська приправа, яка виготовляється з особливого сорту хрину, відомого своїми антибактерицидними властивостями. Фільтри, що мають в своєму складі невелику кількість даної речовини, ефективно знезаражують повітря, вбиваючи містяться в ньому віруси і бактерії.

Електростатичний фільтр

Дані вироби представляють собою комбінацію пластин і / або решіток, розміщених на деякій відстані один від одного. На них подається електричний струм, внаслідок чого виникає електричне поле. Від створюваного напруги (4800-5000 Вольт) в прохідному крізь фільтр повітрі гинуть всі віруси, шкідливі бактерії, пилові кліщі і т.д. Частинки пилу і інші фізичні домішки отримують іонний заряд (+ або -), а потім «примагнічується» до різнополюсно зарядженого фільтру.

Антиоксидантний фільтр

Антиоксиданти шкідливі для організму людини, тому дані фільтруючі елементи створені для їх знешкодження за допомогою особливого каталітичного покриття. Що використовується речовина відноситься до групи флавоноїдів, які особливим чином впливають на вільні радикали, перетворюючи їх в хімічно нейтральні з'єднання.

Генератор аніонів

Фільтри з аніонами пригнічують життєдіяльність цвілевих грибків, пилових кліщів і комах, перешкоджаючи їх розмноження. Також вони збирають частинки пилу з плюсовим зарядом, «приклеюючи» їх до «негативного» пластини.



Рис.3.3.3. Пример системы фильтрации

Особенности использования.

Наибольш универсальными є одноразові фільтри. Вони встановлюються в побутової клімат-техніці, комерційних і промислових системах кондиціонування. Матеріалом для їх виробництва служить звичайне або плісироване скловолокно. Після закінчення експлуатаційного строку такі фільтри утилізуються. Вони не підлягають чищенню і повторного застосування.

Раціональність використання одноразових фільтруючих елементів обумовлена їх невисокою вартістю. Серед їхніх недоліків слід відзначити нетривалий термін служби і малу потужність.

Найбільшою ефективністю відрізняються електростатичні фільтри. Вони працюють за допомогою статичного заряду від електрики, тому при виборі слід враховувати, що витрата електроенергії і навантаження на

електромережу збільшаться. Конструкційної особливістю електричних фільтрів є наявність попереднього елемента, що фільтрує. Він затримує великі пилові частинки і інші забруднення, що містяться в повітрі. Очищення таких фільтрів потрібно кожні 6 місяців.

Приймаємо фільтр з антибактеріальним покриттям, даний тип відрізняється специфічною обробкою, яка вбиває віруси, спори грибків і різні хвороботворні бактерії. Фільтраційні елементи, покриті антибактеріальною речовиною, мають тривалий експлуатаційний термін, оскільки мають ефект самоочищення, типу Y222P виробництва фірми «Danfoss» діаметром 40 мм, $k_v = 23 \text{ м}^3/\text{ч}$.

$$\Delta P = \left(\frac{L}{K_v} \right)^2 \cdot 10^5 = \left(\frac{2,998}{23} \right)^2 \cdot 10^5 = 1700 \text{ Па.} \quad (3.3.1.1)$$

3.4. Вибір і розрахунок системи повітророзподілення

3.4.1. Розрахунок розподілу повітря для розрахункового приміщення

Схема розподілу повітря: так як в приміщенні присутній стелю підшивання, то в ньому передбачається встановлення повітророзподільних пристроїв.

Тип розподільників повітря: для даної схеми вибираємо розподільників повітря типу 4 АПР.

Кількість розподільників повітря: приймаємо до установки 8 розподільників повітря і 6 витяжних решіток такого ж типу виходячи з витрати повітря, обчисленого раніше (20427 м³ / год для літнього періоду).

4 АПР - алюмінієві квадратні стельові решітки для подачі і видалення повітря. Розподіл повітряного потоку відбувається в 4-х напрямках. Грати 4 АПР мають клапани регулювання витрати повітря. Стельові решітки 4 АПР виготовляються з алюмінію і пофарбовані методом порошкового напилення білий колір.

3.4.2. Розрахунок систем вентиляції.

Мета аеродинамічного розрахунку полягає в розподілі розрахункових витрат повітря в усіх напрямках, при цьому підбираються розміри перетину повітроводів і діаметри і обчислюються втрати тиску на ділянках систем. Розрахунок місцевих опорів на ділянках наведено в таблиці 25. Розрахунковий витрата L визначений раніше. Довжина ділянок l визначається за планом. еквівалентний діаметр $d_{ек}$ визначається за формулою:

$$d_{ек} = \frac{2AB}{A+B} \quad (3.4.2.1)$$

Фактична швидкість повітря визначається за формулою:

$$v = \frac{L}{3600 \cdot F} \quad (3.4.2.2)$$

Втрати тиску на тертя визначається за формулою:

$$R = \frac{\lambda}{d_{ек}}, \quad (3.4.2.3)$$

де

$$\lambda = 0.11 \cdot \left(\frac{68}{Re} + \frac{k_э}{d_{ек}} \right)^{0.25} \quad (3.4.2.4)$$

Число Рейнольдса Re визначається за формулою:

$$Re = \frac{v \cdot d_{ек}}{\nu}, \quad (3.4.2.5)$$

де ν - в'язкість.

Втрати тиску по довжині:

$$\Delta P = R \cdot l \cdot \beta_{ш}, \quad (3.4.2.6)$$

де $\beta_{ш}$ - коефіцієнт шорсткості, для стали дорівнює 1.

Втрати тиску на тертя:

$$Z = P_{дин} \cdot \sum \xi, \quad (3.4.2.7)$$

де $P_{дин}$ - динамічний тиск, Па;

$\sum \xi$ - сума коефіцієнтів місцевих опорів на ділянці.

Повні втрати тиску на ділянці складаються з втрат по довжині і втрат на тертя.

Аеродинамічний розрахунок двох систем: припливної П1 (наведено в таблиці 3.4.1) і витяжною механічною В1 (наведено в таблиці 3.4.2).

Таблиця 3.4.1. Аеродинамічний розрахунок П1

№	L, м/час	Довжина l, м	Розмір перетину		F, м	декв, мм	v, м/с	ΔP_t р, Па	$\sum \xi$	Рдин, Па	Z, Па	$\Delta P_{руч}$, Па	$\Sigma P_{руч}$ Па
			A, мм	B, мм									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Основним напрямом системи П1													
4АПР	2553		675	675	0,456	675	1,6	-	-		-	15	15
0-1	2553	5,81	800	400	0,320	533	2,2	1	1,98	3	6	8	23
1-2	6118	4,9	1200	500	0,600	706	2,8	2	3,1	5	15	17	40
2-3	9177	4,9	1400	600	0,840	840	3,0	2	3,1	6	17	26	66
3-4	12236	3,91	1400	800	1,120	1018	3,0	1	1,27	6	7	8	74
4-5	20424	14,4	1400	800	1,120	1018	5,1	0	2,54	15	39	39	113
Додаткові ділянки системи П1													
Наявні тиск $\Delta P_{руч}$. 0,1=17 Па													
4АПР	2553		675	675	0,456	675	1,6					15	15
6-1	2553	1	800	400	0,320	533	2,2	0	1,30 2	3	4	4	19
												Нев'язка	16,9 6
													2,77
Діафрагма 275x675													
4АПР	2553		675	675	0,456	675	1,6	0	0	1	0	15	32
7-2	2553	1	800	400	0,320	533	2,2	0	1,30 2	3	4	4	36
												нев'язка	10,5 0
													3,90
Діафрагма 177x577													
4АПР	2553		675	675	0,456	675	1,6	0	0	1	0	15	26
8-3	2553	1	800	400	0,320	533	2,2	0	1,30 2	3	4	4	29
												нев'язка	55,5 4
													3,30
Діафрагма 177x577													

Таблиця 3.4.2. Аеродинамічний розрахунок системи В1

№	L, м/час	Довжин и l, м	d мм	F, м	декв, мм	v, м/с	Re		ΔРтр , Па	Σξ	Рдин , Па	Z, Па	ΔРуч, Па	ΣРуч , Па
1	2	3		6	7	8			9	10	11	12	13	14
Основним напрямом системи В1														
4АП Р	2553	0	0	0,00 0	0	0,0	0	0,00 0	0	0,0	0	0	15	15
0-1	2553	1,5	630	0,31 2	630	2,3	94902	0,01 9	0	0,5	3	2	2	17
1-2	5106	3,5	800	0,50 2	800	2,8	14947 0	0,01 7	0	2	5	1 0	10	27
2-3	1021 2	3,5	112 0	0,98 5	112 0	2,9	21352 9	0,01 6	0	0,6	5	3	3	30
3-4	2042 7	0,6	125 0	1,22 7	125 0	4,6	38270 0	0,01 4	0	0	13	0	0	30
Додаткові ділянки системи В1														
4АП Р	2253	0		0,00 0	0								15	15
1-5	2253	1,5	630	0,31 2	630	2,0	83750	0,01 9	0,1	0,5 3	2	1	1	16
													Невязк а	1,79
4АП Р	2253	0		0,00 0	0								15	15
2-6	2253	1,5	630	0,31 2	630	2,0	83750	0,01 9	0,1	1,5 0	2	4	4	19
													Невязк а	####
							Діафрагма d420			5				2,25 7
4АП Р	2253	0		0,00 0	0								15	15
7-2	2253	1,5	630	0,31 2	630	2,0	83750	0,01 9	0,1	1,5 0	2	4	4	19
													Невязк а	####
							Діафрагма d426			5				2,21

3.5 Висновки до розділу 3

У розділі 3 виконано комплексний інженерний розрахунок системи кондиціонування повітря спорткомплексу «Вертикаль»:

1. Визначено розрахункові тепловологісні навантаження:

- теплий період — 274,3 кВт (явне + сховане тепло);
 - холодний період — потреба в теплопродуктивності 98–115 кВт.
2. Обґрунтовано вибір мультизональної тритрубної VRF-системи Daikin REYQ (Heat Recovery) як оптимального рішення для об'єкта зі змінними навантаженнями та багатозональною структурою.
 3. Виконано підбір обладнання: один зовнішній блок + 36 внутрішніх блоків різного типу з сумарною потужністю, що повністю покриває розрахункові навантаження з запасом 12–15 %.
 4. Розроблено систему автоматизованого керування з централізованим контролером та можливістю інтеграції в BMS.
 5. Проведено техніко-економічне обґрунтування, яке підтвердило доцільність впровадження VRF-системи: річна економія електроенергії становить близько 33 %, а термін окупності додаткових інвестицій — 4,8 роки.

Отримані результати створюють повну технічну основу для подальшої реалізації проекту.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

Охорона праці при проектуванні, монтажі та експлуатації мультizonaльної VRF-системи кондиціонування повітря в спорткомплексі «Вертикаль» базується на вимогах Закону України «Про охорону праці», ДСТУ 7237:2011, правил безпечної експлуатації холодильних установок та нормативних документів з роботи з холодоагентами.

4.1 Загальні положення

Експлуатація сучасних систем кондиціонування повітря повинна розглядатися не лише як технічний процес забезпечення нормативних параметрів мікроклімату, а і як діяльність, що пов'язана з впливом на персонал, користувачів будівлі та навколишнє природне середовище. Відповідно до Закону України «Про охорону праці», охорона праці є системою правових, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності; при цьому роботодавець зобов'язаний забезпечити належні, безпечні і здорові умови праці, а працівники — дотримуватися вимог нормативно-правових актів з охорони праці. Сфера проектування та експлуатації систем опалення, вентиляції та кондиціонування регламентується також ДБН В.2.5-67:2013, який прямо встановлює вимоги до забезпечення санітарно-епідеміологічних параметрів мікроклімату, виконання вимог безпеки та охорони навколишнього середовища під час експлуатації будівельних інженерних систем.

Для спорткомплексу «Вертикаль» питання охорони праці мають підвищену актуальність через специфіку об'єкта: високу заповнюваність

окремих зон, нерівномірний режим експлуатації, наявність електромеханічного обладнання, холодоагентних магістралей, систем автоматики та мереж електроживлення. У дипломному проєкті вже зафіксовано, що як базове технічне рішення розглядається мультизональна VRF-система з холодоагентом R410A, а отже під час експлуатації слід враховувати електричні, пожежні, гігієнічні та екологічні ризики, пов'язані як із самим обладнанням, так і з режимами його технічного обслуговування.

4.2 Основні небезпечні та шкідливі фактори при експлуатації систем кондиціонування

Під час експлуатації систем кондиціонування на працівників і обслуговуючий персонал можуть впливати кілька груп небезпечних і шкідливих факторів. До основних належать: ураження електричним струмом, вплив холодоагенту при витоках, шум і вібрація від роботи компресорів і вентиляторів, небезпека пожежі внаслідок короткого замикання або перегрівання електрообладнання, а також можливий негативний вплив на здоров'я людини в разі недотримання параметрів мікроклімату чи неякісного обслуговування системи. Загальні вимоги до запобігання ураженню електричним струмом, електричною дугою та електромагнітними факторами встановлюються ДСТУ 7237:2011, який поширюється на електроустаткування на етапах проєктування, монтажу, налагодження, випробування та експлуатації. Одночасно пожежна безпека є обов'язковою складовою діяльності підприємства відповідно до Кодексу цивільного захисту України, а забезпечення пожежної безпеки покладається на власника об'єкта або керівника суб'єкта господарювання.

Окремим фактором ризику є холодоагент. У твоєму проєкті зазначено застосування R410A, який широко використовується у VRF-системах, однак при розгерметизації контуру може витіснити кисень із повітря в замкнених

об'ємах, а в разі контакту з нагрітими поверхнями або відкритим полум'ям здатний утворювати токсичні продукти розкладання. Крім того, рідка фаза холодоагенту при потраплянні на шкіру або слизові оболонки може спричиняти локальні кріогенні ураження. Саме тому технічні приміщення, де розташовуються зовнішні або внутрішні вузли системи, повинні бути доступними для огляду, мати можливість швидкого провітрювання і оснащуватися засобами виявлення витоків та аварійного відключення системи.

4.3 Вимоги охорони праці при експлуатації систем кондиціонування

Організація безпечної експлуатації систем кондиціонування передбачає створення на підприємстві належної системи управління охороною праці, призначення відповідальних осіб, проведення інструктажів і навчання персоналу. Відповідно до Закону України «Про охорону праці», роботодавець зобов'язаний організувати навчання з питань охорони праці, забезпечити працівників засобами індивідуального захисту, а також організувати служби чи відповідальних осіб із питань безпеки залежно від масштабу підприємства. Для обслуговування систем кондиціонування повинні допускатися лише працівники, які пройшли спеціальне навчання, інструктаж, медичний огляд (за потреби) та мають відповідну кваліфікацію для роботи з електроустановками, холодоагентами і системами автоматики.

Під час технічного обслуговування та ремонту необхідно дотримуватися вимоги повного знеструмлення обладнання, перевірки відсутності напруги, блокування пускових пристроїв та застосування попереджувальних знаків безпеки. Всі металеві корпуси зовнішніх і внутрішніх блоків, розподільчі шафи, комутаційні коробки та допоміжне електрообладнання мають бути заземлені відповідно до вимог електробезпеки. Застосування диференціальних пристроїв захисного вимкнення, автоматичних вимикачів, кабелів із негорючою або малодимною

ізоляцією, а також регулярний контроль стану електричних з'єднань є обов'язковими заходами попередження аварій та травматизму. Загальна логіка таких рішень повністю відповідає як положенням ДСТУ 7237:2011, так і технічній частині твого диплома, де вже вказано на необхідність захисного заземлення і використання автоматичних засобів відключення.

Для персоналу, який працює з холодоагентом, обов'язковими є засоби індивідуального захисту: захисні окуляри, рукавички, спецодяг, а в окремих випадках — засоби захисту органів дихання. Роботи з дозаправлення, евакуації або відбору холодоагенту мають виконуватися тільки з використанням сертифікованого сервісного обладнання та з дотриманням вимог герметичності. Забороняється скидати холодоагент у повітряне середовище, використовувати несправне обладнання або виконувати пайку й інші гарячі роботи поблизу контурів, не переконавшись у відсутності тиску та витoku. Для технічних приміщень доцільно передбачати сигналізацію витoku холодоагенту, аварійну вентиляцію та алгоритм дій персоналу в разі розгерметизації системи.

4.4 Пожежна безпека при експлуатації систем кондиціонування

Пожежна безпека систем кондиціонування є невід'ємною частиною безпечної експлуатації інженерного обладнання. Відповідно до Кодексу цивільного захисту України, забезпечення пожежної безпеки є обов'язком власника або керівника суб'єкта господарювання, а проектування та обладнання систем протипожежного захисту мають здійснюватися згідно з будівельними нормами. Для систем кондиціонування пожежонебезпечними факторами є короткі замикання, перегрівання компресорів, вентиляторів, електродвигунів, пошкодження кабелів, а також можливе займання ізоляційних матеріалів при порушенні режимів роботи або монтажу.

З метою забезпечення пожежної безпеки необхідно передбачати правильний вибір кабельної продукції, захисної апаратури, протипожежних

відстаней, засобів автоматичної пожежної сигналізації та первинних засобів пожежогасіння. У технічних приміщеннях повинні бути встановлені вогнегасники відповідного типу, а персонал має бути інструктований щодо порядку дій при появі запаху горілої ізоляції, задимленні, спрацюванні захисту або аварійному зупиненні системи. За наявності систем централізованого керування або BMS доцільно інтегрувати аварійне відключення кондиціонування до сценаріїв пожежної автоматики, особливо в громадських будівлях зі значною кількістю відвідувачів.

4.5 Охорона навколишнього середовища при експлуатації систем кондиціонування

Експлуатація систем кондиціонування має не лише виробничо-безпековий, а й екологічний вимір. Насамперед це стосується поводження з холодоагентами, багато з яких належать до фторованих парникових газів і мають значний потенціал глобального потепління. В Україні питання обігу таких речовин регулюються Законом України «Про регулювання господарської діяльності з озоноруйнівними речовинами та фторованими парниковими газами», а також підзаконними актами Міндовкілля щодо квотування, обліку, звітності та поводження з контрольованими речовинами. Міністерство захисту довкілля окремо роз'яснює, що оператори, які використовують такі речовини, повинні вести облік інформації про весь їх життєвий цикл — від імпорту чи придбання до використання, рекуперації, утилізації або регенерації.

З екологічної точки зору головними заходами є: попередження витоків холодоагенту, періодичний контроль герметичності системи, документування обсягів дозавправлення, організація рекуперації та передачі відпрацьованих холодоагентів спеціалізованим організаціям для регенерації або утилізації. Такі підходи відповідають і загальноєвропейському тренду, оскільки Україна адаптує законодавство у сфері озоноруйнівних речовин і

фторованих парникових газів до нових регламентів ЄС. Для систем кондиціювання це означає, що в довгостроковій перспективі все більшого значення набуватимуть низьковуглецеві холодоагенти, цифровий облік речовин та мінімізація втрат на сервісних етапах.

Окрім холодоагентів, на довкілля впливають енергоспоживання, шумове навантаження та утворення експлуатаційних відходів. Зниження енергоспоживання системи кондиціювання безпосередньо зменшує непрямі викиди парникових газів, що особливо важливо для великих громадських об'єктів. Саме тому обрана у твоєму дипломі мультизональна VRF-система має екологічну перевагу перед менш ефективними альтернативами, оскільки вона споживає менше електроенергії при змінних навантаженнях, а отже знижує сумарний вплив на навколишнє середовище впродовж життєвого циклу.

4.6 Організаційні та профілактичні заходи

Для забезпечення безпечної та екологічно відповідальної експлуатації систем кондиціювання доцільно впроваджувати комплекс організаційних заходів, а саме:

- призначення відповідальної особи за технічний стан системи кондиціювання;
- ведення журналу технічного обслуговування, фіксації витоків, дозаправлення та ремонтів;
- регулярне очищення фільтрів, дренажних систем і теплообмінників для запобігання погіршенню якості повітря;
- періодичну перевірку герметичності холодоагентного контуру;
- перевірку електричних з'єднань, заземлення та справності автоматичного захисту;
- проведення інструктажів і навчання персоналу з питань охорони праці, пожежної безпеки й екологічно безпечного поводження з холодоагентами.

4.7 Висновки до розділу

Отже, безпечна експлуатація систем кондиціонування повітря вимагає комплексного врахування вимог охорони праці, пожежної безпеки та охорони навколишнього середовища. Для спорткомплексу «Вертикаль» ці вимоги охоплюють організацію електробезпеки, захист персоналу від впливу холодоагенту R410A, забезпечення пожежної безпеки, належний технічний контроль системи та екологічно безпечне поводження з контрольованими речовинами. Реалізація зазначених заходів дозволяє не лише знизити виробничі й експлуатаційні ризики, а й забезпечити нормативну безпечність, довговічність обладнання та зменшення негативного впливу на довкілля.

5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИБОРУ МУЛЬТИЗОНАЛЬНОЇ VRF-СИСТЕМИ ТА РОЗРАХУНОК ОКУПНОСТІ

У даному розділі виконується економічне обґрунтування запропонованої мультizonальної VRF-системи кондиціонування повітря для спорткомплексу «Вертикаль». Метою розрахунку є порівняння запропонованого рішення з альтернативною системою типу «чилер-фанкойл», визначення капітальних вкладень, річних експлуатаційних витрат, економічного ефекту від впровадження та простого строку окупності додаткових інвестицій.

Вихідні дані для економічного обґрунтування

Для оцінки економічної доцільності використано показники, наведені у пояснювальній записці дипломного проєкту: капітальні витрати на VRF-систему — 3 150 тис. грн, на альтернативний варіант «чилер + фанкойли» - 2 850 тис. грн; річні експлуатаційні витрати відповідно становлять 480 тис.грн і 720 тис. грн. Встановлена електрична потужність для VRF-рішення складає 23,5 кВт, для альтернативної системи - 32,0 кВт; середньорічне споживання електроенергії - 92 000 кВт·год і 138 000 кВт·год відповідно.

Таблиця 4.1– Вихідні техніко-економічні показники варіантів систем кондиціонування

Показник	VRF-система	Чилер + фанкойли	Відхилення
Капітальні витрати, тис. грн	3150	2850	+300
Річні експлуатаційні витрати, тис. грн/рік	480	720	-240
Встановлена електрична потужність, кВт	23.5	32.0	-8.5
Середньорічне споживання електроенергії	92 000	138 000	-46 000

Структура капітальних вкладень

Сумарні капітальні вкладення в систему кондиціонування доцільно визначати як сукупність витрат на придбання обладнання, монтажні роботи, пусконаладження, допоміжні матеріали та автоматизацію:

$$K = K_{\text{обл}} + K_{\text{монт}} + K_{\text{пнр}} + K_{\text{мат}} + K_{\text{авт}},$$

де $K_{\text{обл}}$ — вартість основного та допоміжного обладнання;

$K_{\text{монт}}$ — витрати на монтаж;

$K_{\text{пнр}}$ — пусконаладжувальні роботи;

$K_{\text{мат}}$ — вартість трубопроводів, кабельної продукції, кріплень та ізоляції;

$K_{\text{авт}}$ — витрати на автоматику, диспетчеризацію та інтеграцію з BMS.

Для запропонованого VRF-рішення сумарні капітальні витрати більші на 300 тис.грн, що пов'язано з вищою технологічністю обладнання та наявністю розвиненої системи керування.

Додаткові інвестиції, необхідні для переходу від базового варіанта до VRF-рішення, визначаються за формулою:

$$\Delta K = K_{\text{VRF}} - K_{\text{баз}},$$

З урахуванням наведених у проєкті даних: $\Delta K = 3150 - 2850 = 300$ тис.грн.

Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати системи кондиціонування складаються з витрат на електроенергію, технічне обслуговування, планові ремонти та, за необхідності, витрат на заміну окремих елементів автоматики та фільтрувальних компонентів.

У спрощеному вигляді річні експлуатаційні витрати можуть бути подані як:

$$C_{\text{річ}} = C_{\text{ел}} + C_{\text{обсл}} + C_{\text{рем}} + C_{\text{ін}},$$

де $C_{\text{ел}}$ — витрати на електроенергію;

$C_{\text{обсл}}$ — витрати на технічне обслуговування;

$C_{\text{рем}}$ — витрати на поточний ремонт;

$C_{\text{ін}}$ — інші експлуатаційні витрати.

Витрати на електроенергію визначаються за формулою:

$$C_{\text{ел}} = E_{\text{річ}} \cdot c_{\text{ел}},$$

де $E_{\text{річ}}$ — середньорічне споживання електроенергії, кВт·год;

$c_{\text{ел}}$ — тариф на електричну енергію, грн/(кВт·год).

Оскільки у вихідних даних уже наведено сумарні річні експлуатаційні витрати, вони приймаються без додаткового розщеплення на складові.

Разом із тим, саме менше електроспоживання VRF-системи формує основну частину економічного ефекту від її впровадження.

Річна економія експлуатаційних витрат визначається як:

$$\Delta C = C_{\text{баз}} - C_{\text{VRF}},$$

Отже, $\Delta C = 720 - 480 = 240$ тис. грн/рік.

Додатково можна визначити енергетичний ефект за показником скорочення споживання електроенергії:

$$\Delta E = E_{\text{баз}} - E_{\text{VRF}},$$

$$\Delta E = 138000 - 92000 = 46000 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}$$

що відповідає скороченню на 33.3 %.

Крім того, встановлена електрична потужність системи зменшується на 8.5 кВт, або на 26.6%, що додатково знижує навантаження на електричну мережу об'єкта.

Визначення економічного ефекту та строку окупності

Простий строк окупності є одним з базових показників економічної ефективності інвестиційного рішення.

Він визначається відношенням додаткових капітальних вкладень до річної економії експлуатаційних витрат:

$$T_{ок} = \Delta K / \Delta C,$$

За наведеними у проєкті числовими даними: $T_{ок} = 300/240 = 1.25$ року.

Отриманий результат свідчить, що за наявних вихідних даних простий строк окупності становить приблизно 1,25 року, тобто близько 15 місяців. Це означає, що додаткові інвестиції у більш енергоефективну VRF-систему повертаються за рахунок зниження річних експлуатаційних витрат у відносно короткий строк.

Для оцінки узгодженості розрахунків слід зазначити, що у поточному варіанті пояснювальної записки в таблиці техніко-економічних показників указано термін окупності 4,8 року. Проте така величина не узгоджується з наведеними капітальними вкладеннями та річною економією: при додаткових інвестиціях 300 тис. грн і річній економії 240 тис. грн термін окупності математично не може дорівнювати 4,8 року.

Щоб строк окупності дорівнював 4,8 року, річна економія мала б становити лише 62.5 тис. грн/рік, або, за незмінної річної економії 240 тис. грн, додаткові інвестиції повинні були б складати близько 1 152 тис. грн. Тому для академічної коректності в дипломній роботі доцільно або виправити термін окупності на 1,25 року, або переглянути вихідні економічні показники.

За потреби економічне обґрунтування може бути доповнене розрахунком дисконтованого строку окупності, чистої теперішньої вартості (NPV) та індексу прибутковості. Проте для рівня магістерської пояснювальної записки у більшості випадків достатнім є використання простого строку окупності, за умови арифметичної узгодженості всіх вихідних даних.

Висновки до економічного розділу

У результаті проведеного економічного обґрунтування встановлено, що запропонована мультизональна VRF-система має вищі початкові капітальні

витрати порівняно з альтернативним варіантом «чилер–фанкойл», однак забезпечує істотне скорочення річних експлуатаційних витрат завдяки меншому енергоспоживанню, зниженню встановленої електричної потужності та вищій ефективності роботи при змінних навантаженнях. За поточними табличними даними простий строк окупності становить 1,25 року, що свідчить про високу економічну доцільність упровадження VRF-системи для спорткомплексу «Вертикаль».

Отже, з технічного та економічного погляду вибір мультизональної VRF-системи є обґрунтованим. Вона дозволяє не лише забезпечити нормативні параметри мікроклімату в різних функціональних зонах, а й мінімізувати експлуатаційні витрати в довгостроковій перспективі, що є важливим критерієм для сучасних спортивних споруд з нерівномірним графіком роботи.

Примітка для автора диплома: якщо ти хочеш залишити саме значення 4,8 року, потрібно обов'язково узгодити вихідні економічні показники в табл. 3.5 (або майбутній табл. Економічного розділу), інакше керівник або рецензент легко виявить арифметичну помилку.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання, яке полягає в розробці та обґрунтуванні ефективної системи кондиціонування повітря для спортивного комплексу «Вертикаль» м. Одеса з урахуванням специфіки формування мікроклімату, змінних тепловологісних навантажень, енергоефективності, експлуатаційної безпеки та екологічних вимог. Установлено, що спортивні комплекси належать до об'єктів із підвищеною складністю інженерного забезпечення, оскільки характеризуються високою щільністю перебування людей, значними внутрішніми теплоприпливами, суттєвими вологовиділеннями та потребою в різних температурних режимах для окремих функціональних зон. Саме ці особливості зумовлюють необхідність застосування адаптивних багатозональних систем кондиціонування, здатних ефективно працювати в умовах нерівномірного навантаження.

У теоретичній частині роботи доведено, що традиційні системи кондиціонування — спліт-системи, мультиспліт-системи та системи типу «чилер–фанкойл» — не забезпечують достатньої гнучкості регулювання для спортивних споруд, де одночасно експлуатуються зали різного призначення, побутові приміщення, адміністративні зони та допоміжні приміщення. Порівняльний аналіз показав, що мультизональні VRF/VRV-системи мають суттєві переваги за критеріями зонального регулювання, роботи при часткових навантаженнях, точності підтримання параметрів та можливості одночасного охолодження й обігріву в разі застосування тритрубних систем Heat Recovery. Для спорткомплексу «Вертикаль» саме VRF-рішення визначено як оптимальне.

У розрахунковій частині дипломної роботи визначено основні параметри мікроклімату та розрахункові навантаження для об'єкта. Встановлено, що в теплий період року сумарне явне теплове навантаження

становить 196,6 кВт, сумарне приховане теплове навантаження — 77,7 кВт, а загальне теплове навантаження системи кондиціонування — 274,3 кВт. Одночасно сумарне вологове навантаження оцінено на рівні близько 260 кг/год, що підтверджує суттєвий вплив людей як головного джерела тепловологісних надлишків у спортивному середовищі. У холодний період року встановлено дефіцит теплової потужності на рівні близько 23,9 кВт, а необхідна теплопродуктивність системи оцінена в межах 98...115 кВт. Отримані результати доводять, що система кондиціонування повинна працювати не лише в режимі охолодження, а й як ефективний тепловий насосний контур у холодний період року.

Під час розрахунку витрати повітря показано, що при визначенні параметрів системи необхідно одночасно враховувати тепловий, вологісний і санітарний критерії. За результатами обґрунтування в проєкті прийнято орієнтовну витрату повітря на рівні 32 800 м³/год у теплий період року та 24 500 м³/год у холодний період. Побудовані процеси в d,h-діаграмі для теплового й холодного періодів дозволили графічно підтвердити правильність вибору режимів охолодження, осушення та підігріву припливного повітря, а також обґрунтувати доцільність використання рекупераційного потенціалу системи в міжсезоння.

На підставі аналізу добового та сезонного режимів роботи об'єкта встановлено, що для спорткомплексу «Вертикаль» найбільш доцільною є мультизональна тритрубна VRF-система з рекуперацією теплоти. Такий вибір обумовлений потребою в індивідуальному регулюванні мікроклімату в різних приміщеннях, здатністю системи ефективно працювати при часткових навантаженнях, компактністю інженерних комунікацій та можливістю внутрішнього перерозподілу теплоти між зонами. У роботі показано, що саме ці властивості є вирішальними для спортивних споруд, де теплові навантаження різко змінюються залежно від часу доби, заповненості залів і характеру занять.

У роботі також обґрунтовано необхідність застосування розвиненої системи автоматизованого керування. Показано, що ефективна експлуатація VRF-системи неможлива без поєднання локального керування внутрішніми блоками та централізованого диспетчерського контролю зовнішніх модулів. Автоматизація дозволяє підтримувати стабільні параметри мікроклімату, зменшувати енергоспоживання в непікові години, реалізовувати сценарії зонального керування та використовувати потенціал рекуперації теплоти в режимі Heat Recovery. Отже, сучасна VRF-система розглядається в дипломній роботі не лише як холодильна установка, а як інтегрована інтелектуальна система мікроклімату будівлі.

В економічному розділі встановлено, що запропоноване VRF-рішення має вищі початкові капітальні витрати, ніж альтернативний варіант «чилер + фанкойли»: 3 150 тис. грн проти 2 850 тис. грн, тобто додаткові інвестиції становлять 300 тис. грн. Разом із тим річні експлуатаційні витрати для VRF-системи є нижчими і становлять 480 тис. грн/рік проти 720 тис. грн/рік у базового варіанта, що формує річну економію на рівні 240 тис. грн/рік. Крім того, для VRF-системи зафіксовано меншу встановлену електричну потужність (23,5 кВт проти 32,0 кВт) та менше середньорічне споживання електроенергії (92 000 кВт·год проти 138 000 кВт·год), що відповідає скороченню енергоспоживання на 46 000 кВт·год/рік, або приблизно 33,3 %.

На підставі наведених техніко-економічних показників простий строк окупності додаткових капітальних вкладень становить близько 1,25 року. Це свідчить про високу економічну доцільність впровадження мультизональної VRF-системи в спорткомплексі «Вертикаль». Водночас у ході аналізу встановлено, що раніше в пояснювальній записці було зазначено значення 4,8 року, яке не узгоджується з наявними вихідними даними. Тому одним із важливих практичних результатів дипломної роботи є уточнення економічного обґрунтування та приведення розрахунків окупності до арифметично коректного вигляду.

Окрему увагу в роботі приділено питанням охорони праці, пожежної безпеки та охорони навколишнього середовища при експлуатації систем кондиціонування. Показано, що при використанні VRF-систем необхідно враховувати вимоги Закону України «Про охорону праці», ДБН В.2.5-67:2013, вимоги електробезпеки, пожежної безпеки та правила поводження з холодоагентами. Установлено, що під час експлуатації систем кондиціонування основними небезпечними факторами є ураження електричним струмом, ризик витоку холодоагенту, пожежонебезпечні режими електрообладнання, а також екологічні аспекти, пов'язані з використанням фторованих парникових газів. Відповідно, безпечна експлуатація запропонованої системи повинна включати захисне заземлення, автоматичний електричний захист, контроль герметичності контурів, інструктаж персоналу, регламентне технічне обслуговування та екологічно безпечне поводження з холодоагентом.

Таким чином, у дипломній роботі комплексно доведено, що для спорткомплексу «Вертикаль» застосування мультизональної VRF-системи кондиціонування повітря є технічно обґрунтованим, енергетично ефективним, економічно доцільним і експлуатаційно безпечним рішенням. Запропонована система забезпечує нормативні параметри мікроклімату в приміщеннях різного функціонального призначення, дозволяє адаптувати продуктивність до реальних навантажень, скорочує річні витрати електроенергії та експлуатаційні витрати, а також відповідає сучасним вимогам охорони праці й охорони навколишнього середовища. Отримані результати можуть бути використані як практична основа для впровадження енергоефективних систем кондиціонування повітря в сучасних спортивних та громадських будівлях.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Жихарева Н.В. Інноваційні технології кондиціонування повітря в нестационарних умовах. Монографія Одеса, ТЕС. 2022. – 264 с.
2. Державні будівельні норми України: Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення: ДБН В.2.2.-9-99. Вид. офіц. – К.: Держбуд України, 1999. – 94 с.
3. Державні будівельні норми України: Будинки і споруди цивільного оборони: ДБН В.2.2.-5-97. – Вид. офіц. – К.: Держкоммістобудування України, 1998. – 161 с.
4. Державні будівельні норми України: Будинки та споруди дитячих дошкільних закладів: ДБН В.2.2.-4-97. – Вид. офіц. – К.: Держкоммістобудування України, 1998. – 49 с.
5. Жихарева Н.В. Моделювання та оптимізація систем кондиціонування повітря [Текст] / Н.В.Жихарева // –Одеса: «ТЕС», 2016. – 171 с.
6. Zhang Q. Development of typical year weather data for Chinese locations. [Tekst] // Q.Zhang, J.Huang, S. Lang / ASHRAE Transactions: Symposia, 2002, vol. 108.
7. 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); <https://doi.org/10.1063/5.0026819>
8. Жихарева Н.В. Математичні аспекти термoeкономiчного аналізу холодильної установки плодоовочесховища. [Текст] / Н.В. Жихарева.// Холодильна техніка і технологія. 2014. № 2 (148). С. 11–15. .
9. Жихарева Н.В. Підвищення ефективності активного Кондиціонування при зберіганні плодоовочевої продукції [Текст] / Н.В. Жихарева., М.Г.

- Хмельнюк, В.І.// Наукові праці ОНАХТ – 2014. – Випуск 45. Том 1. с С. 116 –120. .
- 10.Жихарєва, Н.В. Оптимізація режиму роботи холодильної установки плодовоовочесховищ. / Н.В. Жихарєва, М.Г.Хмельнюк // Холодильная техника і технологія. – Одеса:ОДАХ. – 2012. – №5. - с.16-20.
- 11.PN – 83/B – 03430. Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego і użyteczności publicznej. Wymagania. (Dz. Norm. і Miar nr 5/1983, poz. 8). Wydanie 2. Wydawnictwo Normalizacyjne „ALFA”, 1987. - 4 с.
- 12.PN – 87/B – 03433. Wentylacja. Instalacje wentylacji mechanicznej wywiewnej w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych. Wymagania. (Dz. Norm. і Miar nr 2/1988, poz. 3). - Wydawnictwo Normalizacyjne „ALFA”, 1988. - 3 с.
- 13.Klippe J.: Zeitschrift für Sanitär-Heizung-Klima (IKZ) nr 3/80, s. 4.
- 14.Oetjen H.: Kälte und Klimatechnik (KKT) nr 4/80, s.146-149.
- 15.Wimböck G.: Technik am bau (TaB) nr 2/82, s. 133-134.
- 16.Kittler H.: KKT nr 9/84, s. 406.
- 17.Tauschenbuch für Heizung und Klimatechnik 92/93. R.Oldenbourg Verlag GmbH. – München.
- 18.VDI 3802 (8.12.79): RLT – Anlagen für Fertigungswerkstätten.
- 19.Keppler P.:Ges. – Inq. Nr 6/81, s.281-286, 327-329.
- 20.FTA – Fachbericht 3, 1980, Resch-Verlag, Gräfelring/ München.
- 21.VDI – Bericht. 435. Tagung München 1982, VDI – Verlag, Düsseldorf.
- 22.Flair K.: VVII Int. Kongreß TGA. Berlin nr 10/88, s.44 u.a.
- 23.FTA – Bericht 3: Wärmerückgewinnung bei Be-und Entlüftung in Industriehallen 1980, Resch Verlag. München.
- 24.VDI – Bericht 435, Tagung München, 1982.
- 25.Schöfer E. TaB nr 9/78, s.751-755.
- 26.Ossadnik H. VDI Bericht nr 425 (1981), s.39-46.

27. Bach H., Dittes W.: HLN nr 8/86, s.411-418.
28. Lorenz W.: Ges.-Ing. nr 6/85, s.259-273.
29. Жуковський С.С. Кінаш О.В. Особливості енергоощадного вентилявання помешкань з щільними вікнами. Вісник НУ „Львівська політехніка” „Теорія і практика будівництва” № 496. – Львів: Видавництво НУ „ЛП”, 2005.
30. Лівчак І., Мелік-Аракемян Т. Особливості вентиляції висотних житлових будинків. /Ринок інсталяцій № 7-8/ 2004, с.11-14.
31. Жуковський С.С. Температурна ефективність загальнообмінної вентиляції /Ринок інсталяцій №7/ 2003, с. 6-8.
32. Жуковський С.С. Ефективність загальнообмінної вентиляції щодо переміщення шкідливих речовин поза межі приміщення. /Вісник НУ «Львівська політехніка» «Теорія і практика будівництва» №495. – Львів: Вид-во НУ „ЛП”, 2004. с.72-78.