

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИК ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ**

К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А Р О Б О Т А

Рівень вищої освіти – другий "магістерський" рівень

на тему: **„ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ТА ПАРАМЕТРІВ
ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
МУЛЬТИЗОНАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ТЕПЛО- І
ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ БУДИНКУ”**

Виконав: студент 6 курсу групи Ен-62

спеціальності: 141 „Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка”

(шифр і назва)

Станицький Тарас Олегович

(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Сиротюк С. В.

(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: к.т.н., доцент Левонюк В.Р.

(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.

“ ____ ” _____ 2022 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту
Станицькому Тарасу Олеговичу

1. Тема роботи: „ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ТА ПАРАМЕТРІВ
ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
МУЛЬТИЗОНАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ТЕПЛО- І ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ
БУДИНКУ”

Керівник роботи: Сиротюк Сергій Валерійович, к.т.н., доцент
Затверджена наказом по університету від 12.09.2024 року № 616/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 18.12.2024 року.

3. Вихідні дані: Навчальна, наукова, методична та довідкова література.
Матеріали мережі "Internet".

4. Перелік питань, які необхідно розробити

4.1. Актуальність теми, мета і завдання дослідження.

4.2. Теоретичні передумови дослідження, розвиток теорії і практики з
даного питання.

4.3. Інженерна реалізація теплохолодогенеруючої VRF-системи.

4.4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

4.5. Обґрунтування прийнятих рішень.

Висновки і пропозиції.

Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Ілюстративний матеріал у формі презентації

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	Городецький І. М. к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 12.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Актуальність теми, мета і завдання дослідження	12.09.2024 – 27.09.2024	
2	Теоретичні передумови дослідження, розвиток теорії і практики з даного питання	28.09.2024 – 21.10.2024	
3	Інженерна реалізація теплохолодогенеруючої VRF-системи	22.10.2024 – 15.11.2024	
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	16.11.2024 – 25.11.2024	
5	Обґрунтування прийнятих рішень	26.11.2024 – 1.12.2024	
6	Завершення оформлення ілюстративної частини роботи	2.12.2024 – 4.12.2024	
7	Завершення роботи в цілому	5.12.2024 – 6.12.2024	

Студент _____ Станицький Т. О.
(підпис)

Керівник роботи _____ Сиротюк С. В.
(підпис)

УДК 631.3.45.9

Оптимізація структури та параметрів фотоелектричної системи електрозабезпечення мультизональної установки тепло- і холодопостачання будинку. Кваліфікаційна робота. Станицький Т.О. Кафедра енергетики. Дубляни, Львівський НУП, 2024.

63 с. текстової частини, 18 рис., 11 табл., 15 джерел посилань.

Виконано розрахунок та аналіз системи опалення лабораторії відновлювальної енергетики та енергозбереження. Проведено аналіз теоретичних основ принципу дії мультизональної VRF-системи. Здійснено аналіз теплової потреби об'єкта кваліфікаційної роботи. Проведено аналіз кліматичних умов місця розташування досліджуваного об'єкта. Проведено аналіз та викладено експлуатаційні поради до користування VRF - системою. Здійснено економічний аналіз.

Виконано опис використання енергетичних ресурсів лабораторії. Представлено особливості використання VRF-системи.

Подано результати розрахунків теплових втрат та енергетичних потреб лабораторії відновлювальної енергетики Львівського національного університету природокористування. Викладено результати економічних розрахунків та доцільності використання VRF-системи на базі досліджуваного об'єкту.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	7
1.1 Загальна характеристика досліджуваного об'єкта	7
1.2 Оцінка кліматичних параметрів регіону розташування об'єкта	9
1.3 Обґрунтування теми і завдання кваліфікаційної роботи	12
2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ, РОЗВИТОК ТЕОРІЇ І ПРАКТИКИ З ДАНОГО ПИТАННЯ	16
2.1 Передумови дослідження	16
2.2 Визначення потреби в енергетичних ресурсах	17
3 ІНЖЕНЕРНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОХОЛОДОГЕНЕРУЮЧОЇ VRF-СИСТЕМИ	30
3.1 Опис теплохолодогенеруючої частини VRF-системи з інтегрованими сонячним модулями	30
3.2 Впровадження мультизональних VRF систем в об'єкт дослідження	43
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	48
4.1 Аналіз виробничих небезпек під час експлуатації мультизональної VRF-системи	48
4.2 Оцінка рівня безпеки виникнення аварій і травм під час експлуатації VRF-систем	51
4.3 Розробка заходів запобігання травм і аварій під час експлуатації сонячних фотоелектричних установок	55
4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях	56
5 ОБґРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ	59
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ТА ПОСИЛАНЬ	62

ВСТУП

Актуальність енергоефективних рішень у сучасному світі де енергоефективність є одним з ключових факторів сталого розвитку, все гостріше постає питання забезпечення будівель автономними та енергоефективними системами опалення та кондиціонування, є беззаперечним. Зростаючі ціни на енергоносії та необхідність зменшення екологічного сліду спонукають до пошуку інноваційних підходів. Одним з таких перспективних рішень є мультизональна VRF-системи з інтегрованими сонячними модулями.

Інтеграція VRF-систем з сонячними модулями дозволяє створити гібридну систему, яка не тільки забезпечує комфортну температуру в приміщеннях, але й виробляє електроенергію з відновлюваних джерел. Таке поєднання дозволяє значно знизити енергоспоживання будівлі, зменшити залежність від традиційних джерел енергії та забезпечити автономність.

Для ефективного впровадження цих систем необхідно провести дослідження, враховуючи фактори, такі як кліматичні умови, розмір будівлі, енергетичні потреби та економічні фактори.

Мета кваліфікаційної роботи полягає у комплексному аналізі роботи VRF-системи, зокрема її здатності забезпечувати оптимальний мікроклімат у приміщеннях лабораторії відновлюваних джерел енергії. Особливу увагу буде приділено вивченню принципів функціонування теплових насосів, які є основою VRF-систем, а також їх інтеграції з сонячними модулями для підвищення енергоефективності. Актуальність дослідження обумовлена зростаючими вимогами до енергоефективності будівель та розвитком технологій відновлюваної енергетики.

Результати проведеного дослідження дозволять зробити висновки щодо перспектив використання VRF-систем в Україні та сформулювати рекомендації щодо їхнього оптимального застосування в різних типах будівель.

1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальна характеристика досліджуваного об'єкта

Об'єктом дослідження в комплексній кваліфікаційній роботі є навчальна лабораторія відновлювальних джерел енергії та енергозбереження Львівського національного університету природокористування (ЛНУП), розташована в м. Дубляни, Львівської області.

Будівля лабораторії являє собою двоповерхову споруду, адаптовану для проведення наукових досліджень у галузі відновлюваної енергетики.

На першому поверсі знаходиться просторий експериментальний зал, призначений для розміщення великогабаритних макетів сонячних батарей, вітрогенераторів та дослідницьких установок, навчальна аудиторія, а також приміщення, де розташована дослідницько-лабораторна установка, що поєднує використання відновлюваних джерел тепла з ґрунту та сонця, в свою чергу забезпечує лабораторію гарячою водою та теплом.

На другому поверсі розміщені навчальні аудиторії, де студенти отримують теоретичні знання в галузі відновлювальних джерел енергії, які обладнані навчальними стендами, що імітують роботу сонячних батарей, вітрогенераторів та інших типів енергетичних установок. Студенти мають можливість проводити експерименти з використанням цих стендів, вивчаючи принципи їх роботи та освоюючи навички експлуатації..

Для забезпечення безперебійної роботи лабораторії передбачено потужне трифазне електропостачання, яке живить не тільки основне обладнання, але й допоміжні системи, освітлення та комп'ютерні мережі.

Будівля лабораторії, має багату історичну спадщину. Спочатку, у 1881 році, вона була зведена як частина навчального маєтку високої рільничої школи в Дублянах і використовувалася для утримання худоби. У 1922 році, завдяки зусиллям архітектора Андрія Шиманського, будівля була розширена

та доповнена новими елементами, що надає їй унікального архітектурного вигляду.

У другій половині ХХ століття будівля зазнала низку трансформацій. У 70-х роках вона була переобладнана під столярний цех при Львівському сільськогосподарському інституті, а згодом, на початку 90-х, вона була передана для використання науково-дослідних потреб і під склади агрономічного факультету. Лише на початку ХХІ століття будівля знайшла своє нове призначення – стала осередком наукових досліджень у галузі відновлюваної енергетики.

У 2005 році, завдяки співпраці Львівського державного аграрного університету та німецької компанії "AURORA WINDPOWER G.M.B.H.", було створено консорціум "Поновлювальна енергетика ЛДАУ-АВРОРА ВІНДПОВЕР". Для реалізації функцій консорціуму Львівський національний університет природокористування надав у користування приміщення загальною площею 320 м² з підключенням до електромережі, водопостачання та каналізації. приміщення, яке було ретельно обладнане під сучасну лабораторію.

Основними завданнями було навчання студентів, перепідготовка фахівців у лабораторіях консорціуму, проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, а також виготовлення експериментальних та перспективних зразків на замовлення фізичних та юридичних осіб, включаючи замовлення з-за кордону.

Плідна співпраця з компанією "ECO-ST" дозволила лабораторії вийти на якісно новий рівень. Завдяки фінансовій підтримці та експертній допомозі партнерів, у другій половині 2022 року було проведено комплексну модернізацію навчальних приміщень та оновлено матеріально-технічну базу. В результаті цих змін, лабораторія отримала сучасне обладнання, яке відповідає найвищим світовим стандартам. Це дозволило не лише покращити

умови навчання студентів, але й розширити можливості для проведення наукових досліджень.

1.2 Оцінка кліматичних параметрів регіону розташування об'єкта

Будівля розташована в помірно-континентальному кліматі, для якого є характерні станом такі параметри, у літку (+21,21°...+32,26°C), взимку (-2,53°... -19,61°C) зі стійким сніговим покривом.

У табл. 1.1 наведені середньомісячні температурні дані згідно яких будуть проводитись розрахунки необхідної теплової потужності для обігріву навчальних приміщень. Середнє значення температурних даних обиралось за 2022 рік.

Таблиця 1.1 - Середньомісячна температура повітря на висоті 2 м над поверхнею землі за 2022 рік

Місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.
Тсер.	-1,66	1,01	1,87	6,8	14,35	19,9	20,54	21,21	12,73	10,88	3,12	-2,53

Відповідно за даними табл. 1.1 будуюмо графік зміни середньомісячної температури.

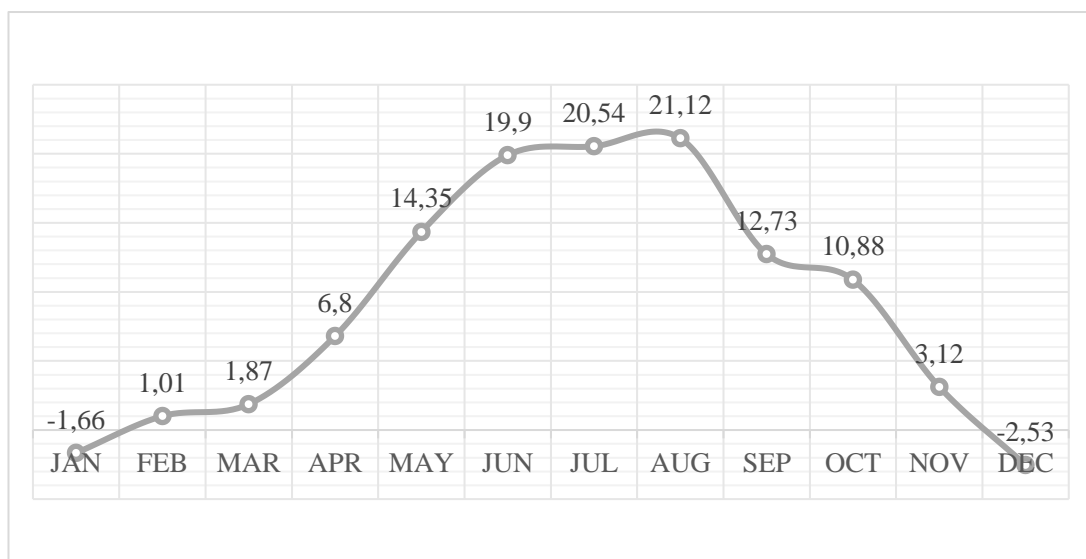


Рисунок 1.1 – Середньомісячні температурні дані за 22 роки

В таблиці 1.2 наведені максимальні температурні показники на висоті 2 метри від поверхні землі за 2022 рік. Відповідно яких буде проведено розрахунок теплового навантаження яке необхідне для охолодження навчальних приміщень.

Таблиця 1.2 - Максимальні температурні показники на висоті 2 метри від поверхні землі

Місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.
Тмакс.	7,72	10,16	16,84	19,63	27,04	32,05	32,26	31,04	24,05	21,43	16,34	6,21

Відповідно за даними таблиці 1.2 будемо графік зміни максимально річної температури на рівні 2 метри над землею.



Рисунок 1.2 - Графік зміни максимально річної температури на рівні 2 метри над землею

В табл. 1.3 наведені мінімальні температурні показники на висоті 2 метри від поверхні землі. Відповідно яких буде проведено розрахунок теплового навантаження яке необхідне для опалення навчальних приміщень.

Таблиця 1.3 - Мінімальні температурні показники на висоті 2 метри від поверхні землі

Місяць	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.
Тмін.	-13,19	-6,88	-11,23	-2,84	2,71	9,37	10,26	12,24	3,74	-0,98	-7,02	-19,61

Відповідно за даними таблиці 1.3 будемо графік зміни мінімальної річної температури на рівні 2 метри над землею.

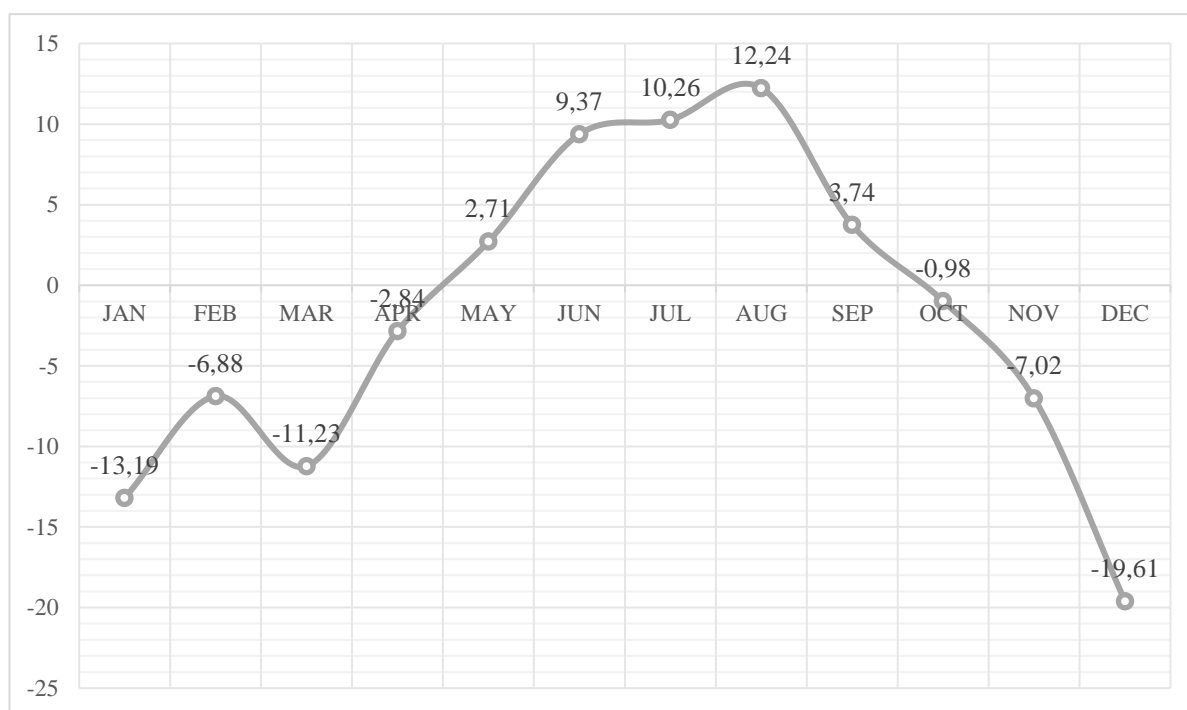


Рисунок 1.3 - Графік зміни мінімальної річної температури на рівні 2 метри над землею

Кліматичні дані отримувались за допомогою метеорологічного сайту “POWER Data Access Viewer” Національного аерокосмічного агентства США (NASA) (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>).

1.3 Обґрунтування теми і завдання кваліфікаційної роботи

У сучасних реаліях, коли енергетична незалежність набуває стратегічного значення, інвестиції в автономні джерела енергії стають не просто вибором, а необхідністю. VRF-системи, доповнені інтегрованими сонячними модулями, пропонують рішення, яке не лише забезпечує комфортну температуру в приміщеннях, а й надає енергетичну автономію, зменшуючи залежність від централізованого енергопостачання.

Ця технологія поєднує в собі переваги сучасних систем кондиціонування та відновлюваних джерел енергії. VRF-системи відомі своєю високою ефективністю та можливістю точного регулювання температури в кожному окремому приміщенні. З інтеграція сонячних модулів, ми отримуємо можливість використовувати безкоштовну енергію сонця для живлення системи, що значно знижує витрати на електроенергію та зменшує вуглецевий слід.

Обравши VRF-систему з сонячними модулями, ви отримуєте не лише комфорт і економію, а й внесок у збереження довкілля. Ці системи ідеально підходять для приватних будинків, комерційних приміщень, а також для об'єктів критичної інфраструктури, де надійність енергопостачання є пріоритетом.

Завдяки можливості накопичення надлишкової електроенергії в акумуляторах, така система забезпечує себе безперебійним енергопостачанням, яке в свою чергу можна використовувати для інших потреб власника такої системи. Це особливо актуально в умовах нестабільної роботи енергомереж.

Встановлення мультизональної установки є дуже цікавим та привабливим рішенням для забезпечення оптимального температурного режиму в навчальних закладах. Така система дозволяє створювати індивідуальний мікроклімат у кожному приміщенні, що позитивно впливає на

здоров'я учнів та вчителів, а також підвищує продуктивність навчального процесу.

З переваг можна зазначити наступне:

Індивідуальний контроль температури: Кожне приміщення, будь то клас, кабінет чи спортивний зал, може мати свою власну налаштовану температуру, що особливо важливо для навчальних закладів, де різні приміщення мають різні функціональні призначення та вимоги до температурного режиму.

Енергоефективність та автономність: Мультизональні системи з інтегрованими сонячними модулями дозволяють точно контролювати споживання енергії, оскільки кожне приміщення обігривається або охолоджується лише тоді, коли це необхідно, а потреба в електричній енергії буде повністю або частково покриватись фотоелектричними панелями. При надлишковому виробленні енергії, її можна спрямувати на потреби закладу.

Гнучкість: Адаптивність встановлення у вже існуючих будівлях, подальша адаптація до змін у плануванні приміщень та розширені системи в майбутньому.

Покращення якості повітря: Багато мультизональних систем можуть інтегруватися з системами вентиляції, забезпечуючи постійний приплив свіжого повітря та очищення повітря від пилу та алергенів. Це особливо важливо для навчальних закладів, де велика кількість людей перебуває в закритих приміщеннях протягом тривалого часу.

Використання в навчальному процесі: VRF-система несе чи малу цінність для навчання майбутніх інженерів.

У контексті об'єкта кваліфікаційної роботи лабораторії Відновлювальних джерел енергії, зокрема його другий поверх, розташований безпосередньо під дахом будівлі, що обумовлює значні теплові втрати в холодну пору року та перегрівання приміщень у спекотні періоди. Для забезпечення комфортного та енергоефективного температурного режиму пропонується встановити мультизональну VRF-систему.

Очікувані результати від застосування VRF-системи:

- Стабільний температурний режим: Забезпечення комфортної температури в лабораторії протягом усього року, незалежно від зовнішніх погодних умов.
- Підвищення продуктивності праці: Комфортний мікроклімат сприяє підвищенню концентрації та продуктивності праці науковців та студентів.
- Зниження енерговитрат: Завдяки високій енергоефективності системи, можна досягти значного зниження витрат на опалення та кондиціонування.

Запропонована мультизональна VRF-система з інтегрованими сонячними модулями відкриває широкі перспективи для організації ефективного навчального процесу в лабораторії. Така система може стати не лише джерелом енергії, а й потужним інструментом для набуття студентами практичних навичок та глибоких теоретичних знань у сфері енергоефективності та відновлюваних джерел енергії.

Навчальні можливості:

- Лабораторні роботи: Студенти зможуть проводити різноманітні експерименти, досліджуючи роботу окремих компонентів системи, аналізуючи ефективність різних режимів роботи та вивчаючи вплив зовнішніх факторів на продуктивність сонячних модулів.
- Моделювання та симуляція: За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення студенти зможуть створювати моделі роботи системи та проводити симуляції в різних умовах, що дозволить їм глибше зрозуміти принципи функціонування та оптимізувати роботу системи.
- Монтаж та налагодження: Безпосередня участь у монтажі та налагодженні окремих елементів системи дозволить студентам отримати практичні навички, необхідні для роботи в цій галузі.
- Аналіз даних: Збір та аналіз даних про роботу системи дозволить студентам розробити алгоритми оптимізації енергоспоживання та підвищення ефективності системи в цілому.

- **Проектування:** На основі отриманих знань студенти зможуть розробляти власні проекти з використанням подібних систем, враховуючи специфіку різних об'єктів.

Навчання спеціалістів:

Для підготовки висококваліфікованих спеціалістів у сфері кліматичного контролю та сонячної енергетики на базі цієї системи можна організувати спеціальні курси та тренінги. Програма навчання може включати:

- **Глибокий теоретичний блок:** детальний розгляд принципів роботи VRF-систем, сонячних модулів, систем накопичення енергії та інверторів.
- **Практичні заняття:** монтаж, налагодження та обслуговування системи, аналіз даних, усунення неполадок.
- **Проектування систем:** розрахунок теплових навантажень, підбір обладнання, розробка схем монтажу.
- **Економічний аналіз:** оцінка ефективності інвестицій в системи з відновлюваними джерелами енергії.

Переваги такого підходу:

- **Актуальність:** Навчання засноване на реальному обладнанні та актуальних технологіях.
- **Комплексність:** Студенти отримують знання з різних дисциплін: енергетики, теплотехніки, автоматизації.
- **Практична спрямованість:** Набуття практичних навичок, необхідних для роботи в галузі.
- **Підготовка фахівців:** Випускники будуть готові до роботи в сфері енергоефективності та відновлюваних джерел енергії.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ, РОЗВИТОК ТЕОРІЇ І ПРАКТИКИ З ДАНОГО ПИТАННЯ

В розділі цієї кваліфікаційної роботи, яка являється частиною комплексної кваліфікаційної роботи, буде описано суцільно тепло-холодогенеруючу частину мультизональної VRF-системи з інтегрованими сонячними модулями.

2.1 Передумови дослідження

Забезпечення оптимального температурного режиму в приміщеннях лабораторії відновлювальних джерел енергії Львівського національного університету природокористування є важливим аспектом як для комфорту працівників та студентів, так і для ефективності проведення наукових досліджень. Вибір системи кондиціонування є відповідальним рішенням, оскільки від нього залежить не лише мікроклімат у приміщеннях, але й енергоефективність будівлі в цілому.

Серед різноманіття систем кондиціонування, для даного об'єкта була обрана мультизональна VRF-система. Це рішення було прийнято з огляду на ряд факторів:

- Гнучкість встановлення: VRF-системи дозволяють індивідуально регулювати температуру в кожному окремому приміщенні, що є особливо важливим для лабораторій, де різні зони можуть мати різні температурні вимоги.
- Енергоефективність: Завдяки використанню інверторних технологій, VRF-системи є більш енергоефективними порівняно з традиційними системами кондиціонування. Це дозволяє знизити витрати на електроенергію та зменшити екологічний слід будівлі.

- Можливість охолодження та опалення: VRF-системи забезпечують як охолодження, так і опалення приміщень, що дозволяє створити комфортні умови протягом усього року.
- Дослідницький інтерес: Встановлення VRF-системи в лабораторії відновлювальних джерел енергії дозволяє студентам та викладачам на практиці ознайомитися з принципами роботи сучасних систем кондиціонування та провести дослідження щодо їх енергоефективності та впливу на мікроклімат приміщень.

Крім того, вибір VRF-системи був обумовлений специфічними особливостями будівлі:

- Відсутність традиційних систем опалення: У приміщеннях другого поверху відсутня можливість встановлення традиційних систем опалення, таких як газові котли або твердопаливні котли.
- Висока температура в літній період: У літній період в приміщеннях спостерігається висока температура, що ускладнює створення комфортних умов для роботи та навчання.

VRF-система дозволяє ефективно вирішити ці проблеми, забезпечивши комфортний температурний режим в приміщеннях протягом усього року, незалежно від погодних умов.

Таким чином, вибір VRF-системи для лабораторії відновлювальних джерел енергії є виваженим та обґрунтованим рішенням, яке дозволяє забезпечити оптимальний мікроклімат, підвищити енергоефективність будівлі та створити сприятливі умови для проведення наукових досліджень.

2.2 Визначення потреби в енергетичних ресурсах

На основі детального аналізу параметрів навчальних приміщень другого поверху, представлених у таблиці 2.1 та на рисунку 2.6, буде проведено

комплексний розрахунок необхідних енергетичних ресурсів для забезпечення оптимального температурного режиму протягом року.

2.2.1 Параметри приміщень

Специфіка стельового покриття полягає в тому, що стеля є фактично дахом будівлі, площа покриття якої є 359 м², висота стін приміщень другого поверху прийнята рівною 4 метрам. Цей фактор, разом з площею приміщень, був врахований при формуванні таблиці 2.1.

Таблиця 2.1- Параметри навчальних приміщень на другому поверху

№	Назв. приміщення	Площа, м ²	Об'єм, м ³
1	Коридор	30,28 м ²	121,12 м ³
2	Лаборантська	17,81 м ²	71,24 м ³
3	Лабораторія енергозбереження	44,16 м ²	176,64 м ³
4	Навчально-методична лабораторія	30,42 м ²	121,68 м ³
5	Лабораторія ВДЕ	43,16 м ²	172,64 м ³
6	Викладацька	17,41 м ²	69,64 м ³

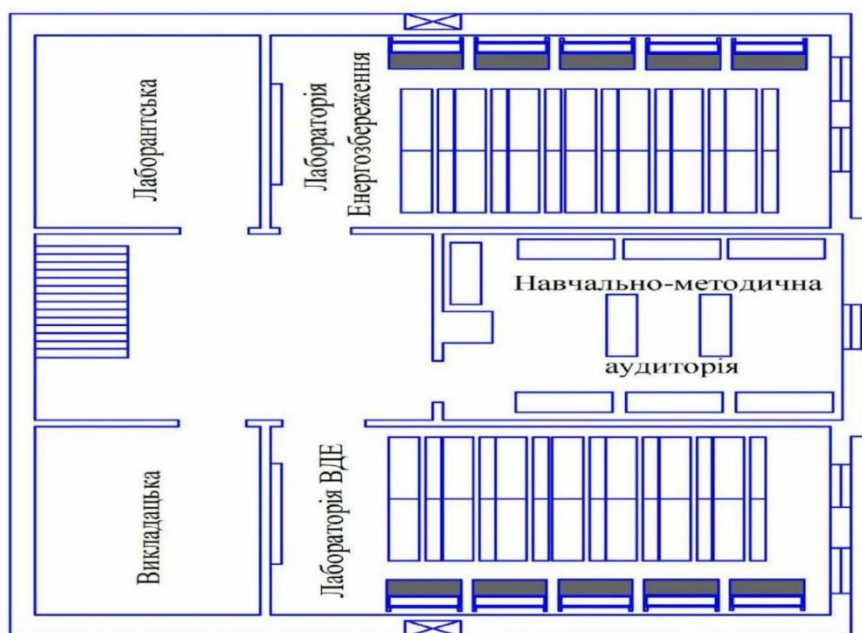


Рисунок 2.1 - Креслення другого поверху навчально-дослідницької лабораторії ЛНУП

2.2.2 Розрахунок теплового навантаження об'єкта.

Мультизональна VRF-система використовується для компенсації тепловтрат та теплопритоків будинку

На основі температурних показників, табл. 1.1, буде проводитись розрахунок теплових навантажень, потужність яких визначається за формулою:

$$P_c^m = q_o \times V_{\text{буд}} \times (t_{\text{вс}} - t_{\text{нс}}) \times 10^{-3}, \text{кВт} \quad (1.1)$$

де q_o - коефіцієнт питомої потужності будівлі, Вт*год/м³;

$V_{\text{буд}}$ - опалювальний об'єм будівлі, м³;

$t_{\text{вс}}$ - нормована внутрішня температура, для навчальних приміщень складає 18°C;

$t_{\text{нс}}$ - температура навколишнього середовища, °C;

Питома потужність будівлі може бути визначена з використанням даних ДБН України В.2.6-31:2006 "Теплова ізоляція будівель" за формулою:

$$q_o = \frac{q_{\text{max}} \times 10^3}{T_{\text{оп}} \times 24 \times (t_{\text{вс}} - t_c)} \quad (1.2)$$

де q_{max} - нормативні теплопровідність двох поверхової будівлі, для громадської і адміністративної діяльності, $q_{\text{max}} = 34$ Вт*год./м²(Вт*год./м³);

$T_{\text{оп}}$ - тривалість року, $T_{\text{оп}} = 365$ дні;

t_c - середня температура за рік, розраховується з даних в таблиці 1.1 $t_c = 9,06$ °C;

Використовуючи формули проведемо розрахунок тепловтрат для грудня місяця, як найхолоднішому за рік:

$$P_c^m = 0,43 \times 732,96 \times (18 - (-2,53)) \times 10^{-3} = 6,47 \text{ кВт}$$

Також проведемо розрахунок теплопритоку для серпня місяця, як найспекотнішого за рік:

$$P_c^m = 0,43 \times 732,96 \times (18 - 21,12) \times 10^{-3} = -0,98 \text{ кВт}$$

Таким чином проводимо розрахунок для кожного з місяців, та вносимо отримані дані в табл. 2.2.

Для визначення енергетичних потреб середньодобових теплове навантаження системи розраховуємо для кожного місяця, через середньомісячну температуру навколишнього середовища t_{nc} , дані наведені в табл. 1.1.

$$Q_{on}^{\partial} = (86,4 \times q_o \times V_{буд} \times (18 - t_{nc})) \times 10^{-3}, \text{МДж} \quad (1.4)$$

$$Q_{on}^{\partial} = (86,4 \times 0,43 \times 732,96 \times (18 - (-2,53))) \times 10^{-3} = 559,05 \text{ МДж}$$

Проводиться розрахунок для кожного з місяців, отримані дані вносимо в табл. 2.2

Місячне теплове навантаження системи опалення розраховуємо домножуванням Q_{on}^{∂} на кількість днів в місяці n_m :

$$Q_{on}^M = (Q_{on}^{\partial} \times n_m), \text{МДж} \quad (1.5)$$

$$Q_{on}^M = (559,05 \times 31) = 16596,16 \text{ МДж}$$

Результат розрахунків вносимо в табл. 2.2.

Для того щоб розрахувати максимальні енергетичні потреби для опалення та охолодження потрібно додатково розрахунок потреби для сезону опалення, а також для сезону охолодження окремо основуючись на параметрах температурних мінімумів і максимумів, табл. 1.2 та табл. 1.3.

Отож проведемо розрахунок для опалювального сезону, який розпочинається з 15 жовтня та триває до 15 квітня, сумарна кількість днів складає - 183 дні. На основі даних з таблиці 1.3 складаємо таблицю мінімальної температури за опалювальний сезон.

Таблиця 2.4 - Таблиця мінімальної температури за опалювальний сезон.

Параметри	Місяці						
	з 15 жовтня	листопад	грудень	січень	лютий	березень	по 15 квітня
$t_{nc}^{мин}$, °C	-0,98	-7,02	-19,61	-13,19	-6,88	-11,23	-2,84

Таблиця 2.2 - Таблиця річних середньомісячних енергетичних навантажень.

№	Параметри	Місяці											
		Січ.	Лют.	Безрез.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Верес.	Жовт.	Листоп.	Груд.
1	$t_{нс}, ^\circ\text{C}$	-1,66	1,01	1,87	6,8	14,35	19,9	20,54	21,21	12,73	10,88	3,12	-2,53
2	$Q_{он}^{\delta}, \text{МДж}$	535,36	462,65	439,23	304,98	99,39	-51,73	-69,16	-87,41	143,50	193,88	405,19	559,05
3	$Q_e^m, \text{МДж}$	16596,16	13416,85	13616,13	9149,4	3081,09	-1551,9	-2143,96	-2709,71	4305	6010,28	12155,7	16596,16
4	$P_{с}^m, \text{кВт}$	6,19	5,35	5,08	3,52	1,15	-0,59	-0,80	-1,01	1,66	2,24	4,68	6,47

На основі температурних показників, табл. 2.4, проводиться розрахунок теплових навантажень для кожного місяця, за формулою (1.1)

$$P_c^m = q_o \times V_{\text{буд}} \times (t_{\text{вс}} - t_{\text{нс}}) \times 10^{-3}, \text{кВт}$$

Розрахунок максимальної потужності системи для забезпечення опалення для грудня місяця, як найхолоднішого місяця сезону:

$$P_c^m = 0,43 \times 732,96 \times (18 - (-19,61)) \times 10^{-3} = 11,85 \text{ кВт}$$

Проводимо розрахунок для кожного з місяців, та вносимо отримані дані в табл. 2.5.

Визначення максимальних добових потреб потужності опалення , для грудня місяця, за формулою 1.4:

$$Q_{\text{он}}^{\partial} = (86,4 \times q_o \times V_{\text{буд}} \times (18 - t_{\text{нс}})) \times 10^{-3}, \text{МДж}$$

$$Q_{\text{он}}^{\partial} = (86,4 \times 0,43 \times 732,96 \times (18 - (-19,61)) \times 10^{-3} = 1024,15 \text{ МДж}$$

Проводимо розрахунок для кожного з місяців, та вносимо отримані дані в табл. 2.5.

Місячне теплове навантаження системи опалення розраховуємо для грудня місяця, за формулою 1.5

$$Q_{\text{он}}^m = (Q_{\text{он}}^{\partial} \times n_m), \text{МДж}$$

$$Q_{\text{он}}^m = (1024,15 \times 31) = 31748,81 \text{ МДж}$$

Проводимо розрахунок для кожного з місяців, та вносимо отримані дані в табл. 2.5.

Розрахунок періоду необхідного охолодження, фактичним початком якого можна вважати 16 квітня закінченням 14 жовтня, сумарна кількість днів складає - 182 дні. На основі даних з таблиці 1.2 складаємо таблицю максимальної температури 2.6.

Таблиця 2.5 - Результати розрахунку теплових навантажень VRF-системи в опалювальний сезон.

№	Параметри	Місяці							Сума
		З 15 жовтня	Листопад	Грудень	Січень	Лютий	Березень	По 15 квітня	183 дні
1	t^{nc}_{min} , °C	-0,98	-7,02	-19,61	-13,19	-6,88	-11,23	-2,84	-
2	Q^d_{on} , МДж	516,84	681,31	1024,15	849,33	677,5	795,96	567,49	-
3	Q^m_{on} , МДж	7752,64	20439,53	31748,81	26329,31	19647,66	24674,76	8512,38	139105,09
4	P^m_{on} , кВт	5,98	7,88	11,85	9,83	7,84	9,21	6,56	-

Таблиця 2.6 - Таблиця максимальних температур за період необхідного охолодження

Параметри	Місяці						
	з 16 Квітня	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	по 14 Жовтень
$t_{\text{макс}}^{\text{нс}}, \text{ }^{\circ}\text{C}$	19,63	27,04	32,05	32,26	31,04	24,05	21,43

На основі температурних показників, табл. 2.6, проводиться розрахунок теплових навантажень для кожного місяця, за формулою (1.1), для спрощення розуміння отриманих параметрів видозміним формулу.

$$P_{\text{нс}}^m = q_o \times V_{\text{буд}} \times (t_{\text{нс}} - t_{\text{вс}}) \times 10^{-3}, \text{кВт} \quad (1.6)$$

Розрахунок максимального навантаження системи для забезпечення охолодження для липня місяця, відповідно температурі навколишнього середовища:

$$P_{\text{нс}}^m = 0,43 \times 732,96 \times (32,26 - 18) \times 10^{-3} = 4,49 \text{ кВт}$$

В подальшому розрахунку потрібно врахувати додаткові теплові навантаження, які утворюються під впливом сонячної радіації на загороджувальних конструкцій, зважаючи на особливості розташування приміщень відразу під дахом будівлі, потрібно врахувати теплові притоки від нагріву сонячною радіацією.

Для покрівлі площею 359 м² значення теплового притоку складає 8,97 кВт, при провідності утепленої покрівлі 25 Вт/м².

Так як це значення є змінним в залежності від інтенсивності сонячної радіації для визначення потреб в компенсації теплової енергії приймаємо середнє значення надходження теплової енергії від даху $P_{\text{д}}^m = 4,48$ кВт. для кожного місяця

$$P_{\text{тп}}^m = P_{\text{нс}}^m + P_{\text{д}}^m, \text{кВт} \quad (1.7)$$

$$P_{\text{тп}}^m = 4,49 + 4,48 = 8,97, \text{кВт}$$

Таблиця 2.7 - Результати розрахунку теплових навантажень VRF-системи в період необхідного охолодження

№	Параметри	Місяці							Сума
		з 16 Квітня	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	по 14 Жовтень	182 дні
1	$t_{н}^{нс}$, °C	19,63	27,04	32,05	32,26	31,04	24,05	21,43	-
2	$Q^{\circ}_{холод}$, МДж	431,13	632,44	768,96	775	741,31	551,23	456,19	-
3	$Q^m_{холод}$, МДж	6467,04	19605,88	23068,8	24025,24	22980,67	16536,96	14141,95	126826,54
4	P^m , кВт	4,99	7,32	8,9	8,97	8,58	6,38	5,28	-

Проводимо розрахунок для кожного з місяців, та вносимо отримані дані в табл. 2.7.

Визначення максимальних добових потреб потужності охолодження , для липня місяця, за спрощеною формулою 1.4 для суми теплових притоків:

$$Q_{\text{холод}}^{\partial} = 86,4 \times P_{\text{тп}}^m, \text{МДж}$$

$$Q_{\text{холод}}^{\partial} = 86,4 \times 8,97 = 775 \text{ МДж}$$

Проводимо розрахунок для кожного з місяців, та вносимо отримані дані в табл. 2.7.

Місячне теплове навантаження розраховуємо для липня місяця, за формулою 1.5

$$Q_{\text{холод}}^m = (Q_{\text{оп}}^{\partial} \times n_m), \text{МДж}$$

$$Q_{\text{холод}}^m = (775 \times 31) = 24025,24 \text{ МДж}$$

Проводимо розрахунок для кожного з місяців, та вносимо отримані дані в табл. 2.7.

Для визначення необхідної потужності мультизональної VRF-системи, що забезпечує оптимальний тепловий режим приміщення протягом року, було проведено детальний розрахунок теплових навантажень. Отримані дані зафіксовані в табл. 2.5 та 2.7.

Згідно з результатами розрахунків, пікова потреба в тепловій енергії для опалювального періоду становить 11,85 кВт. Водночас, для забезпечення комфортної температури в приміщеннях під час пікових навантажень в літній період необхідно відвести 8,97 кВт теплової енергії.

З метою врахування додаткових, нестабільних теплопритоків, до розрахункового значення холодильної потужності потрібно ввести поправку у вигляді 40% від початкового значення, що складає 12,55 кВт холодопродуктивності. Це дозволяє забезпечити резерв потужності системи та гарантувати ефективне функціонування в умовах змінних зовнішніх впливів.

Необхідні параметри для досліджуваного об'єкту може задовільнити мультizonальна VRF-система GREE GMV-Y120WL/A-E на 14 кВт теплової енергії і 12,1 кВт холодогенерації, відповідно номінальним паспортним, рис. 2.6.

На основі параметрів мультizonальної VRF-системи сезонного коефіцієнта перетворення (SCOP), який характеризує ефективність перетворення електричної енергії в теплову та холодильну. Коефіцієнт SCOP являє собою відношення корисної теплової (або холодової) потужності до споживаної електричної потужності за опалювальний сезон та сезон охолодження.

Значення SCOP VRF-системи:

Коефіцієнт перетворення для режиму охолодження (SCOP - охолодження) становить - 6,28 (к) . Це означає, що система віддає в навколишнє середовище 6,28 кВт холоду на кожен 1 кВт споживаної електричної енергії.

Model		GMV-Y120WL/A-E	
Cooling capacity	kW	12.1	
Heating capacity	kW	14	
Circulating air volume	m ³ /h	3300	
Noise	dB(A)	62	
Refrigerant charge volume	kg	3.3	
Energy efficiency level	Level	1	
Power supply		220-240V ~ 50Hz	
Rated power input	Cooling	kW	3.45
	Heating	kW	3.55

Рисунок 2.6 - Характеристики GMV-Y120WL/A-E мультizonальної VRF-системи

Коефіцієнт перетворення для сезону опалення (SCOP - опалення) дорівнює 4,34 (к). Тобто, система віддає в приміщення 4,34 кВт тепла на кожен 1 кВт споживаної електричної енергії.

Отримавши перетворювальні коефіцієнти проведемо розрахунок споживаної електричної енергії для опалювального сезону та періоду необхідного охолодження.

Для розрахунку переведемо необхідну місячну енергію Q^M МДж в кВт*год., за формулою:

$$P_{сп}^M = Q^M \div 3,6, \text{ кВт*год.} \quad (1.8)$$

Отриману потужність $P_{сп}^M$ переводимо в споживану потужність VRF-системи використовуючи коефіцієнт перетворення:

$$P_{сп.с}^M = P_{сп}^M \div k, \text{ кВт*год.} \quad (1.9)$$

Розрахунок для опалювального сезону, а саме січня місяця:

$$P_{сп}^M = 26329,31 \div 3,6 = 7313,69 \text{ кВт*год.}$$

$$P_{сп.с}^M = 7313,69 \div 4,34 = 1685,18 \text{ кВт*год.}$$

Проводимо розрахунок для кожного з місяців, та вносим отримані данні в табл. 2.8

Розрахунок для охолоджуваного періоду, а саме липня місяця:

$$P_{сп}^M = 24025,24 \div 3,6 = 6673,61 \text{ кВт*год.}$$

$$P_{сп.с}^M = 6673,61 \div 6,28 = 1062,67 \text{ кВт*год.}$$

Проводимо розрахунок для кожного з місяців, та вносим отримані данні в табл. 2.9.

Таблиця 2.8 - Результати розрахунку споживання VRF-системи в опалювальний сезон

Параметри	Місяці							Сума
	з 15 жовтня	Листопад	Грудень	Січень	Лютий	Березень	По 15 квітня	183 дні
$P_{сп.с}^M$ кВт*год.	496,20	1308,21	2032,05	1685,18	1257,53	1579,28	544,82	8903,29

Таблиця 2.9 - Результати розрахунку споживання VRF-системи в період охолодження

Параметри	Місяці							Сума
	з 16 Квітня	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	по 14 Жовтень	182 дні
$P_{сп.с}^M$ кВт*год.	286,05	867,20	1020,38	1062,67	1016,48	731,46	625,52	5609,80

3 РОЗРОБКА ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

3.1 Опис теплохолодогоенеруючої частини VRF-системи з інтегрованими сонячними модулями

Системи кондиціонування з змінним потоком холодоагенту (Variable Refrigerant Flow, VRF) є сучасними, енергоефективними та гнучкими рішеннями для забезпечення комфортного мікроклімату в будівлях різного призначення. Ці системи дозволяють індивідуально регулювати температуру в кожному приміщенні, забезпечуючи високий рівень комфорту та знижуючи енергоспоживання.

3.1.1 Технологічний процес роботи, структура та види систем

Для розуміння як влаштована установка необхідно розглянути більш детально процес робочого циклу при охолодженні та обігріву.

Робочий цикл відбувається таким чином:

- Стискання холодоагент. Це перший і один з етапів термодинамічного циклу. Саме завдяки цьому процесу холодоагент переходить з газоподібного стану в перегріту пару, що має високий тиск і температуру. Процес стискання в компресорі є адіабатним, тобто відбувається без теплообміну з навколишнім середовищем. Це означає, що вся робота, витрачена на стискання холодоагенту, перетворюється на внутрішню енергію пари, що призводить до підвищення її температури.
- Конденсація - це процес перетворення пароподібної речовини (в нашому випадку, холодоагенту) на рідину внаслідок відведення від неї теплової енергії. Коли стиснутий і перегрітий холодоагент під високим тиском надходить до конденсатора, він контактує з поверхнею теплообмінника. Ця поверхня зазвичай охолоджується або повітрям (для зовнішніх блоків), або водою (для систем з водяним охолодженням). Процес

конденсації є одним з найважливіших етапів термодинамічного циклу в VRF-системах. Саме завдяки конденсації холодоагент готується до наступного циклу і забезпечується ефективне відведення тепла з приміщень.

- Дроселювання. Відбувається процес різкого зниження тиску рідкого холодоагенту при його проходженні через дросель. Цей етап є одним з ключових у циклі і має важливе значення для забезпечення охолодження. Рідкий холодоагент під високим тиском проходить через дросель (капілярну трубку або терморегулюючий вентиль), де його тиск різко знижується. Це призводить до випаровування частини холодоагенту і зниження його температури, тим самим створюючи умови для подальшого випаровування у випарнику внутрішнього блоку.
- Випаровування. Після того, як холодоагент пройшов через дросель і його тиск та температура знизилися, він потрапляє до випарника внутрішнього блоку в двофазному стані (рідина і пара). Тут він повністю випаровується, поглинаючи тепло від повітря в приміщенні. Це призводить до зниження температури повітря.
- Повернення до компресора: Пароподібний холодоагент повертається до компресора, і цикл повторюється.

При режимі роботи на обігрів все відбувається навпаки, система забирає низькопотенційне тепло з зовнішнього середовища і віддає його в приміщення. Цей процес відбувається завдяки тому, що змінюється напрямок руху холодоагенту в системі. Ключовий елемент, який відповідає за зміну режиму роботи, – це чотириходовий клапан. Саме він змінює напрямок руху холодоагенту в системі, перемикаючи її з режиму охолодження на обігрів і навпаки.

VRF-система - це досить складна інженерна конструкція, яка складається з кількох взаємопов'язаних елементів. Кожен з цих елементів




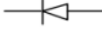






відіграє свою важливу роль у забезпеченні комфортного мікроклімату в приміщенні. Загалом існує два основних види мультизональних систем.

Перший і найбільш поширений, є двох трубна система, яка має змогу підключення великої кількості внутрішніх блоків до одного зовнішнього. Така система може працювати тільки в режимі охолодження або обігріву.

Основні компоненти двотрубною VRF-системи:

1. Зовнішній блок: Це серце системи. У ньому розташований компресор, конденсатор і вентилятори. Компресор стискає холодоагент, підвищуючи його тиск і температуру. Конденсатор віддає тепло від стиснутого холодоагенту в навколишнє середовище (повітря або воду). Вентилятори забезпечують примусову вентиляцію, прискорюючи процес теплообміну.
2. Внутрішні блоки: Це ті самі кондиціонери, які ми бачимо в приміщенні. Вони бувають різних типів: настінні, касетні, каналні, підлогово-стельові. Внутрішні блоки містять випарник, через який циркулює холодоагент. Випарник поглинає тепло з повітря в приміщенні, викликаючи його охолодження.
3. Трубопроводи: З'єднують зовнішній і внутрішні блоки. По цих трубах циркулює холодоагент. Для різних типів систем використовуються різні діаметри труб і різні матеріали.
4. Дросель: Це пристрій, який знижує тиск холодоагенту після компресора. Зазвичай це капілярна трубка або терморегулюючий вентиль.
5. Чотириходовий клапан: Цей елемент відповідає за зміну напрямку руху холодоагенту в системі, перемикаючи її з режиму охолодження на обігрів і навпаки.
6. Система управління: Це може бути як простий пульт дистанційного керування, так і центральний пульт управління, який дозволяє контролювати роботу всієї системи в цілому.

Для більш детального розгляду будови і всіх елементів, можна ознайомитись з рис. 3.1.

Name	Compressor	4-way valve	Cut-off valve	One-way valve	Capillary tube
Symbol					
Name	Gas-liquid separator	Pressure switch	Pressure sensor	Axial-flow finned heat exchanger	Electronic expansion valve
Symbol					

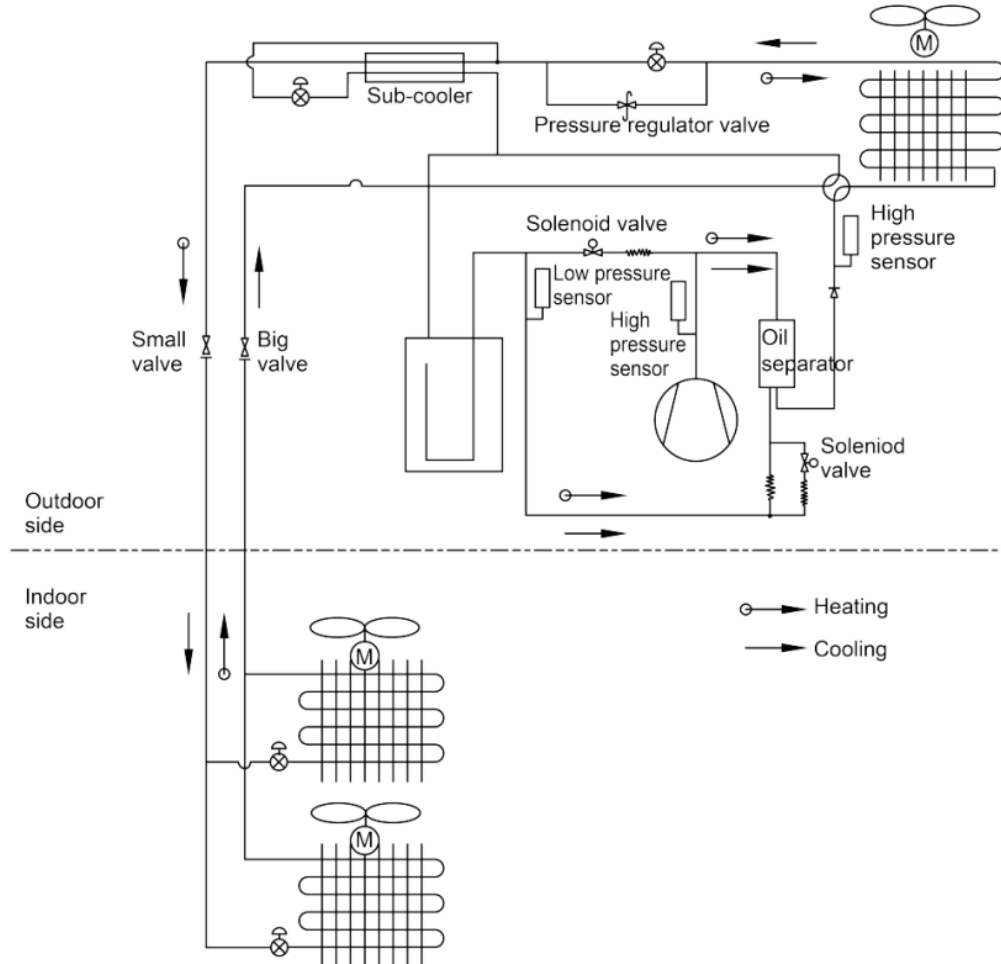


Рисунок 3.1 - Структурна схема двотрубної VRF-системи

Основні компоненти системи, що зображені на рис. 2.1:

- Компресор (Compressor);
- 4-ходовий клапан (4-way valve): Перемикає систему між режимами охолодження та обігріву;
- Запірний клапан (Cut-off valve): Слугує для ізоляції окремих ділянок системи;

- Односторонній клапан (One-way valve): Забезпечує однонаправлений рух холодоагенту;
- Капілярна трубка (Capillary tube): Знижує тиск холодоагенту;
- Газорідинний сепаратор (Довикіпач) (Gas-liquid separator): Відділяє рідкий холодоагент від газоподібного, де переходить в газоподібний стан;
- Датчик тиску (Pressure switch): Вимірює тиск холодоагенту;
- Теплообмінник (Axial-flow finned heat exchanger): Обмінюється теплом з навколишнім середовищем;
- Електронний регулюючий клапан (Electronic expansion valve): Дозує кількість холодоагенту;
- Регулятор тиску (Pressure regulator valve): Стабілізує тиск.
- Соленоїдний клапан (Solenoid valve): Керує потоком холодоагенту.
- Масляний сепаратор (Oil separator): Відділяє масло від холодоагенту.

Додаткові елементи:

- Внутрішні блоки (Indoor units): Забезпечують обмін теплом з приміщенням.
- Трубопроводи (Pipelines): З'єднують зовнішній блок з внутрішніми блоками системи.

Комутація внутрішніх та зовнішнього блоків у двотрубній системі кондиціонування є складним інженерним процесом, який передбачає створення єдиної функціональної системи, що забезпечує теплообмін між внутрішнім та зовнішнім середовищем. Серце цієї системи – фреонова магістраль, мережа мідних труб, яка пронизує будівлю і з'єднує всі компоненти системи.

Фреонова магістраль слугує шляхом для циркуляції холодоагенту (фреону), робочої речовини, яка зазнає фазових переходів, поглинаючи тепло в одному місці (випарник внутрішнього блоку) та віддаючи його в іншому (конденсатор зовнішнього блоку), тобто процес, що було описано вище. Для забезпечення ефективної роботи системи, фреонова магістраль повинна бути

герметичною та бути ретельно термоізолюваною для мінімізації теплових втрат.

Процес комутації включає в себе кілька етапів: проектування оптимальної схеми прокладки магістралі, монтаж труб, їхню ізоляцію, підключення внутрішніх блоків, вакуумування системи для видалення повітря та вологи, заправку холодоагентом та, нарешті, пусконаладжувальні роботи.

Важливу роль у системі відіграє запірна арматура, яка дозволяє відключати окремі ділянки магістралі для проведення ремонтних робіт або технічного обслуговування.

Відгалуження до внутрішніх блоків здійснюється за допомогою спеціальних відгалужувачів Y-типу, які забезпечують рівномірний розподіл холодоагенту між всіма підключеними блоками. Правильно спроектована та виконана система комутації гарантує ефективну роботу мультизональної VRF-системи, створюючи комфортний мікроклімат у приміщеннях.

Для більш детально розуміння розглянемо структурну схему фреонової магістралі (рис. 3.2), та структуру розгалужувача Y-типу (рис. 3.3) та ознайомимось з його описом.

На рис. 3.2, зображено схему типової мультизональної системи кондиціонування. Вона складається з одного зовнішнього блоку, який під'єднаний до кількох внутрішніх блоків через спільну фреонову магістраль. Фреонова магістраль розгалужується на окремі лінії для кожного внутрішнього блоку, дозволяючи індивідуально регулювати температуру в різних приміщеннях. Така схема дозволяє підключати до однієї зовнішньої установки декілька внутрішніх блоків, забезпечуючи індивідуальне регулювання температури в різних приміщеннях.

Основні елементи та їх призначення:

- Inlet (Вхід): Це точка підключення фреонової магістралі до зовнішнього блоку кондиціонера. Саме звідси холодоагент (фреон) починає свій цикл руху по системі.

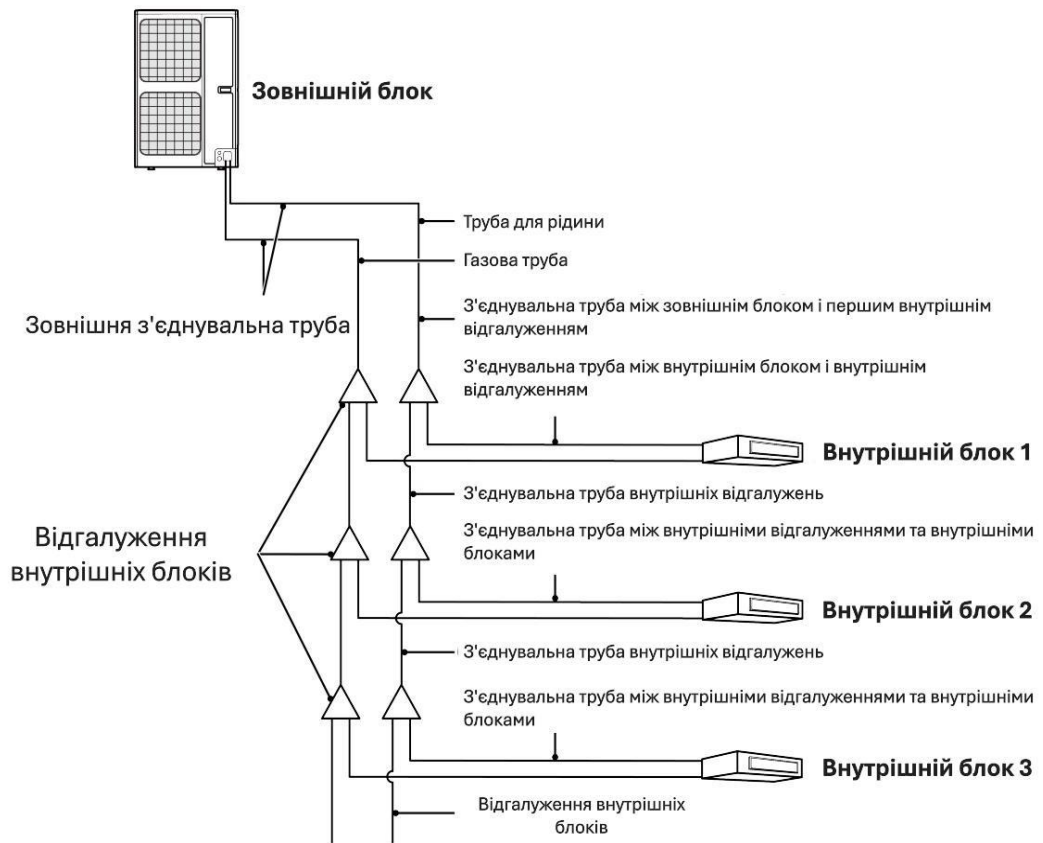


Рисунок 3.2 - Структурна схема підключення та розгалуження фреонової магістралі двотрубної VRF-системи

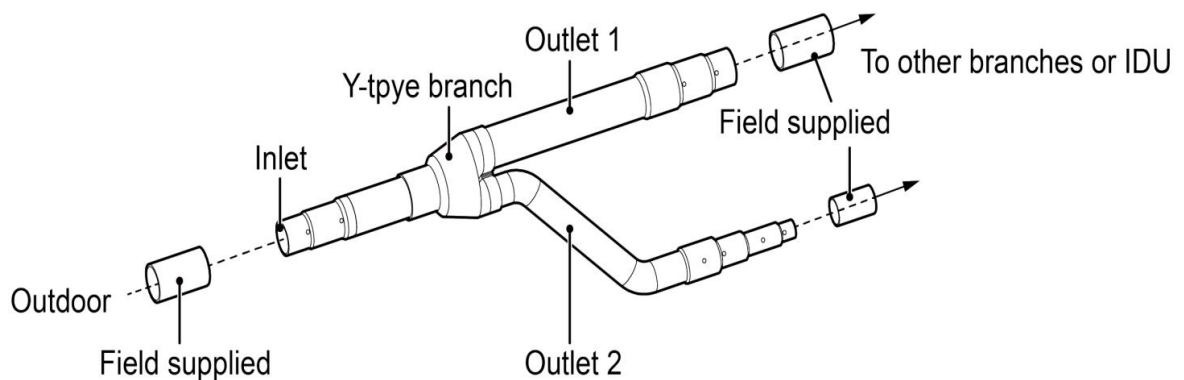


Рисунок 3.3 - Структура розгалужувача Y-типу (Y-type branch)

- Y-type branch (Y-подібне відгалуження): Це спеціальний фітинг, який дозволяє розділити потік холодоагенту на два окремих потоки. Зазвичай використовується для підключення декількох внутрішніх блоків до однієї фреонової магістралі.

- Outlet 1, Outlet 2 (Вихід 1, Вихід 2): Це точки відгалуження, від яких фреон рухається до різних внутрішніх блоків системи кондиціонування.
- To other branches or IDU (До інших відгалужень або внутрішніх блоків): Напис вказує на те, що від виходів фреонової магістралі можуть відходити додаткові гілки, які підключаються до інших внутрішніх блоків.
- Field supplied (Подається на об'єкт): Цей напис означає, що всі необхідні матеріали та компоненти для підключення системи (фреонові труби, ізоляція, фітинги) мають бути надані замовником або монтажною організацією.
- Outdoor (Зовнішній): Позначає зовнішній блок кондиціонера, від якого починається фреонова магістраль.

Двотрубні системи є базовим варіантом мультизональних систем кондиціонування, де холодоагент циркулює по двох трубах: одна для подачі теплоносія, інша - для його повернення. Такі системи забезпечують або охолодження, або обігрів приміщення, але не дозволяють одночасно виконувати обидві функції в різних зонах.

Трьохтрубні системи є значно складнішими за своєю конструкцією та функціональністю. Вони мають додаткову трубу, яка забезпечує подачу холодоагенту для одночасного охолодження та обігріву різних зон. Це дозволяє створювати оптимальний мікроклімат у кожному окремому приміщенні, незалежно від зовнішніх температурних умов.

Принцип роботи тритрубною системи є складнішим, наприклад, де зовнішній блок, як і в двотрубних системах, виконує одну роль. Однак, у тритрубних системах він має більш складну конструкцію, що дозволяє одночасно виробляти холод і тепло. Фреонова магістраль складається з трьох труб для подачі теплого, холодного холодоагенту та для його повернення.

Внутрішні блоки можуть працювати в режимах охолодження і обігріву, а також виконувати функцію рекуперації.

Дуже цікавою особливістю, це, режим рекуперації в тритрубною системі кондиціонування є однією з її найважливіших функцій. Він дозволяє

ефективно використовувати теплову енергію, яка виділяється під час охолодження одного приміщення, для обігріву іншого. Це досягається за рахунок особливої конструкції системи та роботи розподільчих модулів.

Як працює режим рекуперації:

1. Виділення тепла: Коли внутрішній блок працює в режимі охолодження, тепло, що відводиться від приміщення, передається холодоагенту.
2. Перенос тепла: Теплий холодоагент рухається по фреоновій магістралі до розподільчого модуля.
3. Розподіл тепла: Розподільчий модуль направляє теплий холодоагент до внутрішніх блоків, які працюють в режимі обігріву.
4. Передача тепла приміщенню: Внутрішні блоки, що працюють в режимі обігріву, передають тепло від холодоагенту повітрю в приміщенні.

Ключовим елементом системи є розподільчий модуль, рис. 3.4. Його основна функція полягає в розподілі холодоагенту різної температури (холодного та гарячого) по різних гілках фреоновій магістралі, забезпечуючи таким чином індивідуальне регулювання температури в кожному приміщенні.

Розподільчий модуль зазвичай складається з наступних основних компонентів:

- Трійники: Служать для розгалуження фреоновій магістралі на окремі гілки, кожна з яких підводить холодоагент до одного або декількох внутрішніх блоків.
- Термостатичні клапани: Автоматично регулюють потік холодоагенту в кожній гілці відповідно до заданої температури в приміщенні.
- Датчики температури: Вимірюють температуру холодоагенту, що надходить до модуля, та температуру в кожній гілці.
- Електронний блок управління: Збирає інформацію від датчиків, аналізує її і віддає команди термостатичним клапанам для регулювання потоку холодоагенту.

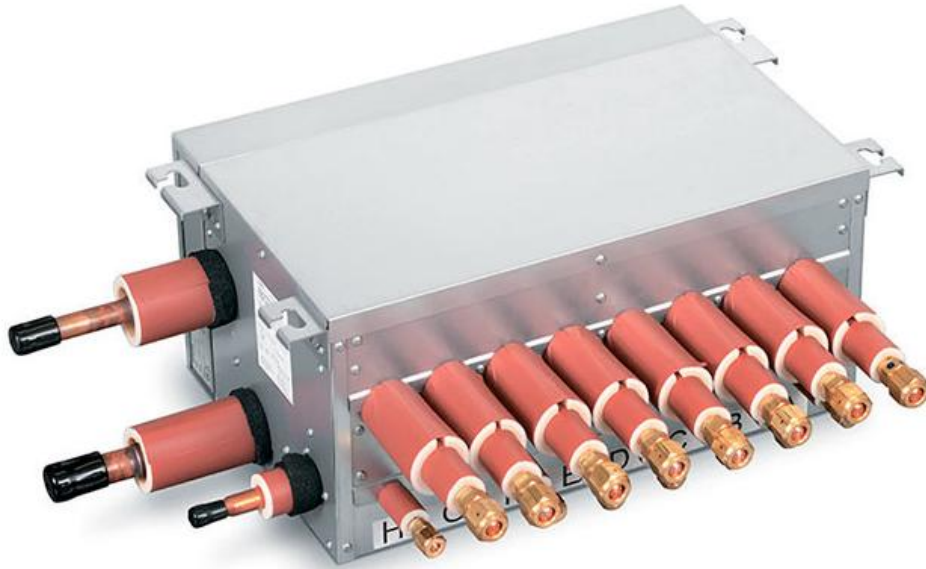


Рисунок 3.4 - Зображення розподільчого модуля тритрубної фреонової магістралі

Принцип роботи розподільчого модуля полягає в наступному:

1. Холодоагент різної температури (холодний та гарячий) надходить до модуля по відповідних трубах.
2. Датчики температури вимірюють температуру холодоагенту та передають дані в електронний блок управління.
3. Електронний блок аналізує отриману інформацію і порівнює її із заданими значеннями температури в кожному приміщенні.
4. На основі результатів аналізу електронний блок віддає команди термостатичним клапанам, які відкриваються або закриваються для регулювання потоку холодоагенту в кожній гілці.
5. Таким чином, до кожного внутрішнього блоку подається холодоагент необхідної температури для забезпечення заданого температурного режиму в приміщенні.

Ключовою перевагою розглядуваної установки є її універсальність, що проявляється у здатності забезпечувати як режими охолодження, так і обігріву. Така гнучкість значно розширює сферу застосування даного обладнання. Воно

доцільно для використання як у комерційних об'єктах (готелях, офісних будівлях, промислових підприємствах), так і в приватних домоволодіннях. Завдяки здатності адаптуватися до мінливих кліматичних умов, установка забезпечує оптимальний мікроклімат та теплу воду протягом усього року.

Отож розглянемо схематичне зображення всіх можливих режимів роботи мультизональної установки, що зображені на рис. 3.5.

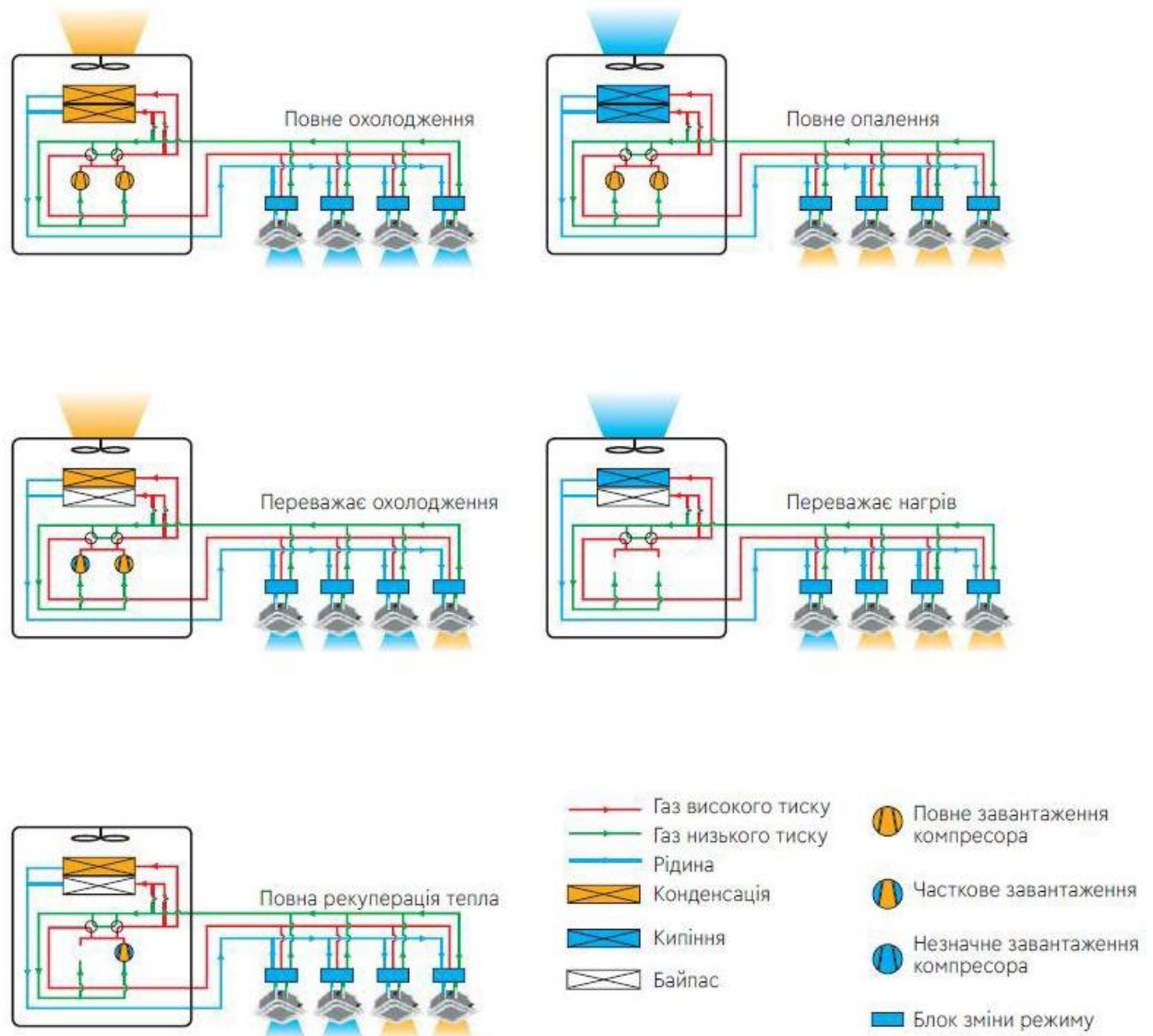


Рисунок 3.5 - Схематичне зображення режимів роботи тритрубною VRF-системи

Наведені схеми наочно демонструють різні режими роботи тритрубною VRF-системи та відповідно до них – рівні завантаження зовнішнього блоку.

Для більш детального ознайомлення з схемою процесу роботи тритрубною VRF-системи можна ознайомитись в додатках з 1-го по 4-й включно.

Отож, розглянемо детальніше кожен з режимів:

Режим 1: Повне охолодження (схема Додаток 1);

- Завантаження компресора: Максимальне.
- Опис: У цьому режимі всі внутрішні блоки працюють на охолодження, що вимагає від компресора максимальної продуктивності для забезпечення відведення тепла від усіх охолоджуваних приміщень.

Режим 2: Повне опалення (схема Додаток 2);

- Завантаження компресора: Максимальне.
- Опис: Аналогічно попередньому режиму, але всі внутрішні блоки працюють на обігрів. Компресор працює з максимальною потужністю, забезпечуючи подачу теплого холодоагенту в систему.

Режим 3: Переважання охолодження (схема Додаток 3);

- Завантаження компресора: Високе, але менше, ніж у режимі повного охолодження.
- Опис: В цьому режимі більшість внутрішніх блоків працюють на охолодження, а деякі – на обігрів. Завантаження компресора залежить від співвідношення кількості блоків, що працюють в різних режимах.

Режим 4: Переважання нагріву (схема Додаток 4);

- Завантаження компресора: Високе, але менше, ніж у режимі повного опалення.
- Опис: Ситуація протилежна до попереднього режиму. Більшість блоків працюють на обігрів, а деякі – на охолодження. Завантаження компресора також залежить від співвідношення режимів роботи блоків.

Режим 5: Повна рекуперація тепла;

- Завантаження компресора: Низьке або середнє.
- Опис: Цей режим передбачає одночасну роботу блоків на охолодження та обігрів, причому тепло, відведене від охолоджуваних приміщень,

використовується для обігріву інших. Завдяки рекуперації тепла, потреба в додатковій роботі компресора знижується, що призводить до зменшення його завантаження.

Завантаження компресора безпосередньо залежить від кількості внутрішніх блоків, що працюють в даний момент, та від їхніх режимів роботи. Режим повної рекуперації тепла є найбільш енергоефективним, оскільки дозволяє знизити навантаження на компресор. У режимах повного охолодження та повного опалення компресор працює з максимальною потужністю. У режимах переважання охолодження або нагріву завантаження компресора є проміжним між максимальним і мінімальним.

Важливо зазначити реальне завантаження компресора може відрізнитися від теоретичного в залежності від багатьох факторів, таких як температура зовнішнього повітря, теплові навантаження на приміщення, ефективність теплообмінників та ін. Сучасні VRF-системи оснащені інтелектуальними системами управління, які автоматично регулюють роботу компресора в залежності від поточних умов.

Інтеграція гідромодуля VRF в систему опалення та гарячого водопостачання

Гідромодуль – це спеціалізований теплообмінник, який підключається до фреонової магістралі VRF-системи, рис. 3.6. Його основна функція полягає в передачі теплової енергії від фреону до теплоносія (води), що циркулює в системі опалення та гарячого водопостачання.

Переваги використання гідромодуля:

- Поліпшення енергоефективності: За рахунок використання тепла, що виділяється під час роботи кондиціонера, знижуються витрати на опалення та гаряче водопостачання.



Рисунок 3.6 - Гідромодуль для VRF-системи

- Розширення функціоналу VRF-систем: Крім кондиціювання, система може забезпечувати опалення та гаряче водопостачання, що робить її універсальним рішенням для будь-якої пори року.
- Збільшення терміну служби VRF-системи: Рівномірне навантаження на систему протягом року сприяє збільшенню її ресурсу.
- Екологічність: Зменшення споживання енергоресурсів сприяє збереженню навколишнього середовища.

Принцип роботи:

Фреон, циркулюючи по контуру VRF-системи, віддає тепло гідромодулю. Теплоносій (вода), проходячи через теплообмінник гідромодуля, нагрівається і направляється в систему опалення або накопичувальний бак для гарячого водопостачання.

3.2 Впровадження мультизональних VRF систем в об'єкт дослідження

Впровадження мультизональної VRF-системи в лабораторії Відновлювальних джерел енергії є цікавим рішенням, що диктується як технічними, так і освітніми потребами.

По-перше, старий фонд будівлі лабораторії потребує сучасних, енергоефективних та гнучких рішень для забезпечення комфортного температурного режиму. Мультизональні VRF-системи ідеально підходять для таких об'єктів завдяки своїй модульній конструкції та можливості індивідуального регулювання температури в кожному приміщенні. Це дозволяє створити оптимальні умови для проведення наукових досліджень та навчального процесу, оскільки різні лабораторні зони можуть вимагати різних температурних режимів.

По-друге, розташування навчальних аудиторій на другому поверсі будівлі, де в літній період спостерігається значний перегрів, є додатковим аргументом на користь вибору VRF-системи. Її висока холодопродуктивність та можливість швидкого охолодження великих об'ємів повітря дозволять ефективно боротися з перегрівом приміщень, забезпечуючи комфортні умови для навчання.

Крім того, мультизональні VRF-системи мають значний навчальний потенціал. Студенти зможуть на практиці ознайомитися з принципами роботи сучасних систем кондиціонування, їхньою будовою та особливостями експлуатації. Це сприятиме підвищенню рівня їхньої професійної підготовки та формуванню навичок роботи з енергоефективним обладнанням.

Таким чином, впровадження мультизональної VRF-системи в лабораторії Відновлювальних джерел енергії є виправданим рішенням, яке дозволить:

- Забезпечити комфортний мікроклімат у всіх приміщеннях лабораторії, незалежно від їх функціонального призначення.
- Знизити енергоспоживання завдяки високій ефективності та індивідуальному регулюванню температури.
- Створити навчальну платформу для підготовки фахівців у галузі енергоефективності.

- Продемонструвати на практиці можливості сучасних систем кондиціонування.

Не менш важливо зазначити те, що у зв'язку з особливостями місця розташування, відсутності централізованого опалення від університету та неможливості встановлення альтернативних джерел тепла (газовий котел, твердопаливний котел тощо) встановлення VRF-системи є вирішення проблеми опалення та охолодження

Варто зазначити перевагу встановлення системи з інтегрованими сонячними модулями, що в подальшому дасть змогу не тільки зменшити витрату електроенергії на її роботу, а й частково забезпечувати енергією обладнання що необхідне для проведення навчального процесу, наприклад, освітлення, інтернет, комп'ютерну техніку та мультимедійну периферію.

3.2.1 Розміщення та вибір обладнання для забезпечення кліматичних умов

Для забезпечення оптимального мікроклімату в навчальних приміщеннях лабораторії пропонується встановити двотрубну мультizonaльну VRF-систему GREE GMV-Y120WL/A-E. Цей вибір обумовлений високою ефективністю, надійністю та гнучкістю даної системи, що дозволяє забезпечити індивідуальний температурний режим у кожному приміщенні.

Основні характеристики обраної VRF-системи:

- Номінальна теплова потужність: 14 кВт
- Номінальна холодопродуктивність: 12,1 кВт

Для забезпечення ефективного розподілу повітряного потоку та створення комфортного мікроклімату в приміщеннях лабораторії пропонується наступна схема розташування внутрішніх блоків, рис. 3.7:

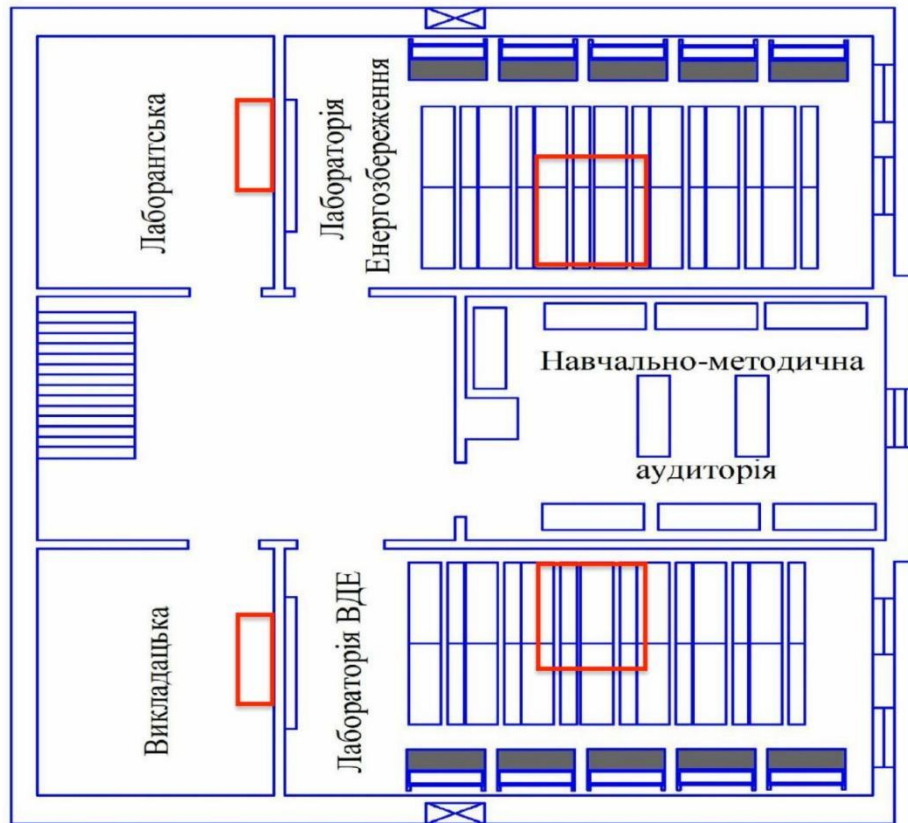


Рисунок 3.7 - Схема розташування внутрішніх блоків

Лабораторія відновлювальних джерел енергії та навчально-методична аудиторія. У цих приміщеннях рекомендується встановити по одному 4-потоківому касетному внутрішньому блоку (Рис. 3.8). Такий тип блоку забезпечує рівномірний розподіл повітря по всьому приміщенню, що особливо важливо для лабораторій, де необхідний високий рівень комфорту.



Рисунок 3.8 - 4-х потоковий касетний внутрішній блок VRF-системи

Викладацька та лаборантська. Для цих приміщень рекомендується встановити по одному настінному внутрішньому блоку (Рис. 3.8). Настінні блоки компактні, легко монтуються та забезпечують спрямований потік повітря, що дозволяє створити комфортні умови на робочому місці.



Рисунок 3.9 - Настінний внутрішній блок VRF- системи

Переваги обраного рішення:

- Індивідуальний контроль клімату: Кожен внутрішній блок може працювати в автономному режимі, що дозволяє створювати різні температурні умови в різних приміщеннях.
- Енергоефективність: VRF-системи відрізняються високою енергоефективністю, що дозволяє знизити витрати на електроенергію.
- Тиха робота: Внутрішні блоки працюють практично безшумно, що забезпечує комфортні умови для роботи та навчання.
- Естетичний зовнішній вигляд: Сучасний дизайн внутрішніх блоків дозволяє гармонійно вписати їх в інтер'єр будь-якого приміщення.

Пропонована схема розташування внутрішніх блоків VRF-системи GREE GMV-Y120WL/A-E є оптимальним рішенням для забезпечення комфортного мікроклімату в навчальних приміщеннях лабораторії. Використання 4-потоківих касетних та настінних блоків дозволить створити сприятливі умови для роботи та навчання, підвищити продуктивність праці та забезпечити високий рівень комфорту.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Аналіз виробничих небезпек під час експлуатації мультизональної VRF-системи

VRF-системи, незважаючи на свою високу ефективність та зручність у використанні, потребують дотримання суворих правил безпеки під час експлуатації. Це пов'язано з особливостями їх конструкції та функціонування, зокрема, з використанням робочих речовин під високим тиском, а також з необхідністю виконання електромонтажних робіт.

Одним з найважливіших аспектів безпечної експлуатації VRF-систем є кваліфікація персоналу. До виконання будь-яких робіт з системою допускаються лише спеціалісти, які пройшли відповідне навчання та мають допуск до виконання електромонтажних робіт. Вони повинні бути детально ознайомлені з інструкцією з експлуатації конкретної моделі системи та чітко дотримуватися всіх зазначених у ній вимог.

Важливим елементом забезпечення безпеки є використання засобів індивідуального захисту. Під час виконання будь-яких робіт з VRF-системою необхідно використовувати діелектричні рукавички, окуляри, ізолюючі килимки та інші засоби захисту залежно від виду виконуваних робіт. Особливу увагу слід приділяти безпеці при роботі з фреоном, оскільки він є токсичною та горючою речовиною. При роботі з фреоном обов'язково використовувати спеціальний захисний одяг та респіратор.

Електробезпека є одним з найважливіших аспектів безпечної експлуатації VRF-систем. Перед початком будь-яких робіт необхідно обов'язково відключити електроживлення системи. Роботи з електричними компонентами системи повинні виконуватися тільки кваліфікованим

персоналом з допуском до електромонтажних робіт. Категорично забороняється працювати з мокрими руками або стоячи на вологому підлозі.

Робота з фреоном вимагає особливої обережності. Всі роботи з фреоном повинні виконуватися відповідно до вимог виробника обладнання та чинного законодавства. При виявленні витіку фреону необхідно негайно припинити роботу системи, провітрити приміщення та викликати спеціаліста для усунення несправності. Самостійно ремонтувати або заправляти систему фреоном категорично заборонено.

Для забезпечення безпечної та безперебійної роботи VRF-системи необхідно проводити регулярні технічні огляди та обслуговування. Перед початком опалювального сезону та перед початком літнього періоду рекомендується проводити профілактичні огляди системи.

Важливим аспектом безпеки є дотримання правил пожежної безпеки. Не допускається розміщувати поблизу зовнішнього блоку легкозаймисті матеріали. Забороняється використовувати відкритий вогонь поблизу системи.

При виявленні будь-яких несправностей або аварійних ситуацій необхідно негайно відключити систему та викликати сервісну службу. Самостійно усувати несправності категорично заборонено.

Дотримання вищезазначених правил дозволить забезпечити безпечну експлуатацію VRF-системи, продовжити термін її служби та уникнути нещасних випадків.

Охорона праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском, є надзвичайно важливим аспектом забезпечення безпеки виробничих процесів. Цей вид обладнання широко застосовується в різних галузях промисловості, і його несправність може призвести до серйозних аварій, травмування працівників та значних матеріальних збитків. Тому дотримання вимог безпеки при роботі з таким обладнанням є обов'язковим для всіх суб'єктів господарювання.

Основними небезпечними факторами при експлуатації обладнання під тиском є підвищений тиск робочого середовища, можливість виникнення витоків шкідливих речовин, а також ризик вибуху. Для мінімізації цих ризиків необхідно забезпечити належний технічний стан обладнання, проводити регулярні огляди та випробування, а також організувати навчання персоналу правилам безпечної експлуатації.

Важливу роль відіграє правильний вибір матеріалів, з яких виготовляється обладнання під тиском. Матеріали повинні бути стійкими до корозії, високих температур та тиску, а також мати необхідну міцність. Крім того, велике значення має якість зварних швів, оскільки саме в них найчастіше виникають дефекти, які можуть призвести до аварій.

Перед введенням в експлуатацію обладнання під тиском повинно пройти первинне технічне огляд, під час якого перевіряється відповідність обладнання проектній документації, відсутність дефектів та правильність монтажу. Після введення в експлуатацію обладнання підлягає періодичним технічним оглядам та випробуванням згідно з встановленим графіком.

Персонал, який працює з обладнанням під тиском, повинен пройти спеціальне навчання та інструктаж з питань охорони праці. Працівники повинні знати правила безпечної експлуатації обладнання, вміти виявляти ознаки несправностей та вживати необхідних заходів для їх усунення.

Роботодавець зобов'язаний забезпечити працівників необхідними засобами індивідуального захисту, такими як рукавички, окуляри, захисні каски тощо. Крім того, робоче місце повинно бути обладнане необхідними приладами контролю та сигналізації, які дозволяють своєчасно виявити відхилення від нормальних режимів роботи обладнання.

Дотримання вимог охорони праці під час експлуатації обладнання під тиском є запорукою безпеки виробничих процесів та збереження життя і здоров'я працівників.

4.2 Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм під час експлуатації VRF-систем

Методикою оцінки рівня небезпеки VRF-систем передбачено пошук об'єктивного критерію (показника) ризику виникнення небажаних подій. Для того, щоб оцінити ризик виникнення збою в роботі конкретної VRF-системи, необхідний простий і доступний метод обчислення ймовірностей будь-якої випадкової відмови компонента. Основні принципи даного методу полягають у тому, що на основі аналізу схеми системи виявляють потенційні точки збою та ситуації, які можуть призвести до небажаних наслідків. При оцінці ситуації визначають події, які можуть стати головною подією при побудові логіко-імітаційної моделі. Після цього будують модель ("дерево відмов"), яка дозволяє візуалізувати послідовність подій, що призводять до відмови системи. При цьому важливе значення має правильний вибір головної випадкової події. Головна випадкова подія в даному випадку – відмова системи, модель якої побудована на (рис. 4.1) Для побудови даної моделі відмови використовують оператори "І" та "АБО", після чого виконують набір ситуацій, які призвели до цієї події, яку вибрано як головну, після визначення ситуації, що привела до відмови системи, визначаємо інші такі події, що входять до кожної такої ситуації. Процес побудови моделі триває поки не будуть здійснені усі базові події, що визначають межу моделі. Науковцями доведено, що стан компонентів VRF-системи впливає не тільки на ефективність її роботи, але й на загальний комфорт в приміщенні. Такі чинники, як відсутність регулярного технічного обслуговування, використання неякісних компонентів, несприятливі умови експлуатації можуть бути причиною передчасного зносу та відмови системи.

Після обчислення ймовірностей всіх подій, починаючи з лівої нижньої гілки "дерева відмов", позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли

до даної моделі. Потім модель представляємо до математичного виконання ймовірностей випадкових подій, застосовуючи формули:

1. Базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора "І" входять у наступну третю подію. Тоді ймовірність виникнення цієї події P_3 можна визначити так:

$$P_3 = P_1 \cdot P_2. \quad (4.1)$$

Таблиця 4.1 – Ймовірності подій

Шифр	Назва події	Ймовірність
P ₁	Відсутність захисного заземлення	0,02
P ₂	Пошкодження захисного заземлення	0,04
P ₃	Спрацювання складових установки	0,1
P ₄	Неправильна експлуатація обладнання	0,02
P ₅	Відсутність профілактичних заходів	0,2
P ₆	Відсутність захисного щита	0,12
P ₇	Недотримання правил вибору взуття	0,15
P ₈	Незнання правил техніки безпеки	0,1
P ₉	Відсутність засобів індивідуального захисту	0,2
P ₁₀	Халатність	0,15

2. За допомогою оператора "І" три події з ймовірностями P_1 , P_2 і P_3 формують четверту випадкову подію. Тоді ймовірність цієї події P_4 обчислюють так:

$$P_4 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3. \quad (4.2)$$

3. Оператор "І" об'єднує n події з ймовірностями $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ тоді ймовірність вихідної події P буде

$$P = P_1 \cdot P_2 \dots P_n. \quad (4.3)$$

4. Дві базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора "АБО" входять до третьої події. Тоді ймовірність P_3 буде

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2. \quad (4.4)$$

5. Оператор "АБО" об'єднує три базові події з ймовірностями P_1, P_2, P_3 , які за допомогою цього оператора входять у наступні події з ймовірністю P_4 . Тоді ймовірність цієї події можна визначити за формулою

$$P_4 = P_1 + P_2 + P_3 - P_1 \cdot P_2 - P_1 \cdot P_3 - P_2 \cdot P_3 + P_1 \cdot P_2 \cdot P_3. \quad (4.5)$$

6. Якщо до оператора "АБО" входять чотири і більше випадкових базових події з відомими значеннями ймовірностей, то для спрощення обчислень їх згруповують по дві або по три події і застосовують наведені формули. Після визначення ймовірностей вихідних подій кожної з таких груп, їх знову необхідно згрупувати і провести аналогічні обчислення, аж поки не залишаться дві або три події, над якими необхідно провести ті ж операції. Так поступово обчислюючи ймовірність вихідних подій кожного окремого розгалуження, наближаємось до головної події і обчислюємо ймовірність її виникнення.

Для проведення обчислень ймовірності травми використовуємо логіко-імітаційну модель процесу її формування (рис. 4.1).

Підставивши дані ймовірностей базових подій у формулу (4.4), одержимо ймовірність події 13:

$$P_{13} = 0,2 + 0,4 - 0,2 \cdot 0,4 = 0,0592.$$

Аналогічно обчислюємо ймовірність інших подій залежно від їх номера:

$$P_{11} = P_4 + P_5 - P_4 \cdot P_5 = 0,3 + 0,4 - 0,3 \cdot 0,4 = 0,118;$$

$$P_{12} = P_6 + P_7 - P_6 \cdot P_7 = 0,3 + 0,5 - 0,3 \cdot 0,5 = 0,252;$$

$$P_{16} = P_9 + P_{10} - P_9 \cdot P_{10} = 0,2 + 0,15 - 0,2 \cdot 0,15 = 0,264;$$

$$P_{14} = P_{11} \cdot P_5 = 0,118 \cdot 0,2 = 0,0236;$$

$$P_{15} = P_{12} \cdot P_8 = 0,252 \cdot 0,1 = 0,0252;$$

$$P_{17} = P_{13} + P_{14} - P_{13} \cdot P_{14} = 0,0592 + 0,0236 - 0,0592 \cdot 0,0236 = 0,0814;$$

$$P_{18} = P_{15} \cdot P_{16} = 0,0252 \cdot 0,264 = 0,0065;$$

$$P_{19} = P_{17} + P_{18} - P_{17} \cdot P_{18} = 0,0065 + 0,0814 - 0,0065 \cdot 0,0814 = 0,0873.$$

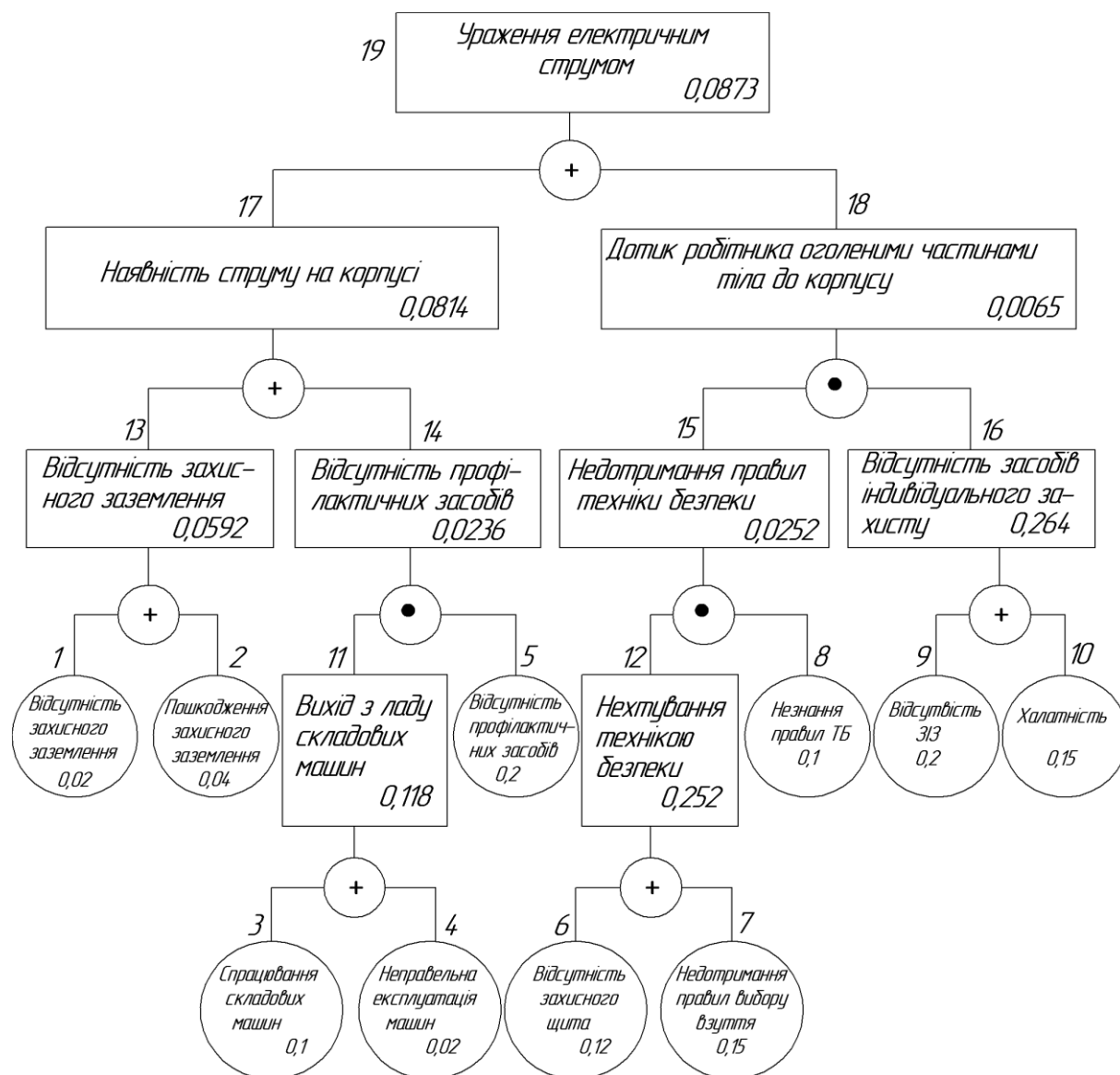


Рисунок 4.1 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травм при експлуатації електрообладнання

Таким чином на під час роботи електрообладнання мультизональної кліматичної установки при наявності тих недоліків з охорони праці, які відображені у базових подіях на 100 таких місць, можна очікувати 8,73 травми. Якщо зазначені недоліки негайно усунути (підвищити професійний рівень працюючих, поліпшити контроль та виготовити необхідну кількість ЗІЗ, профілактичних засобів за всіма вимогами безпеки), то можна побачити на моделі шляхом повторного розрахунку, що рівень небезпеки буде наближатися до 0, а рівень безпеки – до 1.

4.3. Розробка заходів запобігання травм і аварій під час експлуатації сонячних фотоелектричних установок

До заходів щодо покращення умов праці належать всі види діяльності, спрямовані на попередження, нейтралізацію або зменшення негативної дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів на працівників.

Рівень умов праці оцінюють порівнянням фактичним і нормативних значень узагальнених (групових) показників.

Заходи щодо поліпшення умов праці здійснюють з метою створення безпечних умов праці шляхом: доведення до нормативного рівня показників виробничого середовища за елементами умов праці; захисту працівників від дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

До показників ефективності заходів щодо поліпшення умов праці належать: зміни стану умов праці: зміна кількості засобів виробництва, приведених у відповідність до вимог стандартів безпеки праці; покращання санітарно-гігієнічних показників; покращання психофізичних показників, зменшення фізичних і нервово-психічних навантажень, в т. ч. монотонних умов праці; покращання естетичних показників, раціональне компонування робочих місць і впорядкування робочих приміщень; соціальні результати заходів: збільшення кількості робочих місць, що відповідають нормативним вимогам; зниження рівня виробничого травматизму; зменшення кількості випадків професійних захворювань; зменшення плинності кадрів через незадовільні умови праці; престиж та задоволення працею.

Економічні результати заходів щодо поліпшення умов праці виражаються у вигляді економії за рахунок зменшення збитків внаслідок аварій, нещасних випадків і професійних захворювань у економіці в цілому та на кожному підприємстві зокрема.

При експлуатації електрогенеруючого обладнання, таких як сонячна фотоелектрична установка необхідно керуватися "Інструкцією з експлуатації

сонячної фотоелектричної установки" та "Правилами технічної експлуатації електрогенерувальних установок".

Обслуговуючий персонал установки бути ознайомлений з інструкцією по експлуатації даного виду обладнання. Кожен працюючий з сонячною фотоелектричною установкою, і особливо при роботі з вітроелектричною установкою повинен бути проінструктований з техніки безпеки. Осіб, які не досягли 18 років не допускати до обслуговування установки. Забороняється допускати сторонніх осіб до робочого місця. Підтримувати робоче місце в чистоті. Забороняється доторкатися до електричних з'єднань вітроустановки вологими руками. При роботі з електрообладнанням сонячної установки, яке знаходиться під напругою необхідно працювати на ізоляційному килимку.

Ремонтні роботи та роботи по обслуговуванню сонячної фотоелектричної установки, проводяться тільки коли вони вимкнені.

При порушенні вимог даної інструкції з техніки безпеки робітники несуть відповідальність згідно з важкістю наслідків і заподіяної ним шкоди. Порушення інструкції розглядається як невикористання правил внутрішнього трудового розпорядку.

4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Забезпечення захисту населення та територій від надзвичайних ситуацій є одним із пріоритетних завдань сучасних держав. Актуальність цієї проблеми посилюється зростанням антропогенного навантаження на довкілля, підвищенням ризику виникнення небезпечних природних явищ та техногенних аварій, а також у зв'язку з повномасштабною збройною агресією РФ проти України.

Система захисту населення передбачає комплекс заходів, що реалізуються на державному, регіональному та місцевому рівнях. До них належать організаційні, інженерно-технічні, санітарно-гігієнічні та

протиепідемічні заходи, спрямовані на запобігання, локалізацію та ліквідацію наслідків надзвичайних ситуацій. Особлива увага в умовах воєнного стану приділяється захисту від загроз, пов'язаних із збройними конфліктами, таких як ракетні удари, авіаційні бомбардування, мінування територій та застосування зброї масового ураження.

Загрози життєдіяльності населення та держави поділяються на зовнішні та внутрішні. До зовнішніх загроз, крім традиційних, додаються військові дії, окупація територій та інші види агресії. Внутрішні загрози, крім природних катаклізмів, техногенних аварій та терористичних актів, включають також ризики, пов'язані з порушенням роботи критичної інфраструктури внаслідок бойових дій.

Для захисту населення та зменшення збитків у разі виникнення надзвичайних ситуацій в умовах воєнного стану передбачається проведення комплексу заходів, що включають:

Моніторинг та контроль: Створення та підтримка в готовності систем спостереження за довкіллям, продуктами харчування та водою для своєчасного виявлення небезпечних речовин та явищ, а також виявлення та нейтралізації вибухонебезпечних предметів.

Евакуація: Організація евакуації населення з небезпечних зон у безпечні місця, із забезпеченням тимчасового житла, харчування та медичного обслуговування евакуйованих осіб.

Медичний захист: Надання медичної допомоги постраждалим, включаючи поранених внаслідок бойових дій, проведення протиепідемічних заходів для запобігання поширенню інфекційних захворювань, зокрема, інфекційних хвороб, що можуть загостритися в умовах воєнних конфліктів.

Радіаційний, хімічний та біологічний захист: Виявлення та оцінка рівня радіаційного, хімічного та біологічного забруднення, забезпечення засобами індивідуального захисту населення, проведення спеціальної обробки територій та об'єктів.

Цивільна оборона: Організація сил і засобів цивільної оборони для виконання завдань щодо захисту населення і територій, ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та відновлення життєдіяльності.

Інформаційне забезпечення: Своєчасне доведення до населення інформації про загрози, правила поведінки в надзвичайних ситуаціях, місця укриття та евакуації.

Ефективність системи захисту населення в умовах воєнного стану залежить від рівня готовності держави та суспільства, координації дій усіх залучених сил і засобів, а також від свідомості та відповідальності кожного громадянина.

Постійне вдосконалення системи захисту населення є одним із пріоритетних завдань держави, оскільки це дозволяє мінімізувати наслідки надзвичайних ситуацій, забезпечити безпеку життєдіяльності населення та сприяти швидкому відновленню після воєнних дій.

5 ОБГУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

У цьому розділі проведемо економічну оцінку використання мультizonальної VRF-системи, виходячи з отриманих даних теплових навантажень, порівнюючи енергоефективність з іншими джерелами теплової енергії, встановлення яких можливе на об'єкті дослідження.

Визначаємо економічну ефективність скориставшись результатами розрахунків в розділі 2, табл. 2.8, де взявши суму споживання за весь опалювальний сезон

Для розрахунку вартості враховується ціна електроенергії та газу, як для комерційних споживачів.

При врахуванні параметрів споживання та теплогенерації VRF-системи в режимі опалення, таблиця 2.8, визначаємо споживання з врахованим коефіцієнт перетворення (SCOP) - 4,34. Виходячи з цього можемо порахувати витрату електроенергії в опалювальний сезон, що складає - 8903,29 кВт*год.

При вартості електроенергії 10 гривень за кВт*год, сума за опалювальний сезон буде складати - 89 032 гривень 95 копійки.

Також порівняємо VRF-систему з альтернативним джерелом теплової енергії, наприклад газовим котлом потужністю якого при споживанні 1 куб. = 31.8 МДж, для нашого об'єкту потрібно в опалювальний сезон використати 4374,37 куб. газу, при вартості 21 гривень 30 копійок загальна сума за сезон буде складати 93 174 гривень 16 копійок.

Отримані результати внесемо в табл. 5.1, де проведемо порівняння витрат за опалювальний сезон.

Таблиця 5.1 - Розрахована вартість опалювального сезону для комерції

№	Джерело тепла	Вартість
2.	Газовий котел	93 174 гривень 8 копійок
3.	VRF-система	89 032 гривень 95 копійки

Проведений аналіз демонструє, що мультизональна VRF-система є перспективним рішенням для опалення об'єкта дослідження. Вона відрізняється високою енергоефективністю та може бути економічно вигідною в довгостроковій перспективі.

Визначаємо економічну ефективність скориставшись результатами розрахунків в розділі 2, табл. 2.9, де взявши суму споживання за весь період необхідного охолодження

Дотримуючись того ж принципу, при врахуванні параметрів споживання для холодогенерації VRF-системи в режимі опалення, табл. 2.9, визначаємо споживання з врахованим коефіцієнт перетворення (SCOP) - 6,28. Виходячи з цього можемо порахувати витрату електроенергії для охолодження приміщень, що складає - 5609,80 кВт*год.

При вартості електроенергії 10 за кВт/год, сума за опалювальний сезон буде складати - 56098 гривень

Для повного розуміння енергоефективності VRF-системи порівняємо вартість споживання для населення, вартість електроенергії для населення складає - 4 гривень 23 копійки кВт*год, вартість 1 куб. газу для населення складає - 10 гривень 22 копійки з врахуванням вартості транспортування 2 гривень 2 копійки

Отримані результати внесемо в табл. 5.2, де проведемо порівняння витрат за опалювальний сезон.

Таблиця 5.1 – Розрахована вартість опалювального сезону для населення

№	Джерело тепла	Вартість
2.	Газовий котел	44 706 гривень 6 копійок
3.	VRF-система	37 660 гривень 94 копійки

Витрату електроенергії на охолодження приміщень для населення складають 23 729 гривень 45 копійок.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

В комплексній кваліфікаційній роботі було проведено дослідження мультизональної VRF-системи з інтегрованими сонячними модулями, а саме з її тепло і холодогенеруючою частиною.

Проведене дослідження було присвячене комплексному аналізу та опису принципів функціонування VRF-систем. В рамках роботи було детально розглянуто структурну схему системи, що дозволило виявити взаємозв'язки між окремими компонентами та зрозуміти загальний механізм її функціонування. Було наведено схему принципу роботи, яка візуалізувала послідовність виконання операцій.

Важливим аспектом дослідження було виявлення різновидів мультизональних VRF-систем та аналіз їхніх відмінностей. Це дозволило визначити оптимальний тип системи для вирішення поставленого завдання.

Наведена аргументація використання таких систем в будівлях різного призначення, зокрема в будівлі навчальної лабораторії Відновлювальних джерел енергії Львівського національного університету природокористування, на основі якої було проведено розрахунок енергетичних параметрів необхідних для забезпечення комфортних навчальних умов.

Проведено економічний розрахунок використання порівняно з традиційними джерелами тепла

Результати дослідження підтверджують, що використання VRF-систем у навчальних закладах є не лише економічно вигідним, але й екологічно доцільним рішенням. Завдяки високій ефективності та можливості інтеграції з відновлюваними джерелами енергії, VRF-системи сприяють зменшенню викидів шкідливих речовин в атмосферу та збереженню природних ресурсів. Враховуючи сучасні тенденції до енергозбереження та екологічної відповідальності, застосування VRF-систем у навчальних закладах є перспективним напрямком розвитку інженерних систем будівель

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Гальчак В. П., Боярчук В. М. Альтернативні джерела енергії. Енергія Сонця. Львів: Вид-во ЛНАУ, 2008. 135 с.
2. Гальчак В. П., Дмитрів Г. М. Розрахунок енергетичних параметрів гібридної системи теплопостачання фермерського будинку. Метод. вказівки до виконання курсового проекту. Львів, ЛДАУ, 2005. 36 с.
3. Дудюк Д. Л., Мазепа С. С., Гнатишин Я. М. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі: Навч. посіб. Львів: "Магнолія 2006", 2008. 188 с.
4. Жуковський С. С., Лабай В. Й. Системи енергопостачання і забезпечення мікроклімату будинків та споруд: Навч. пос. для ВЗО. Львів: Астрономо-геодезичне товариство, 2000. 259 с.
5. Маляренко В. А. Основи теплофізики будівель та енергозбереження. Підручник. 2-е видання. Х.: Видавництво САГА, 2010. 484 с.
6. Маляренко В.А. Енергетичні установки. Загальний курс. Х.: В-во САГША, 2008. 320 с.
7. Саницький М. А., Позняк О. Р., Марущак У. Д. Енергозберігаючі технології в будівництві: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 236 с.
8. Tytko R. Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej. Wydanie piąte uzupełnione. Krakow: Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, 2014. 671 s.
9. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. посіб. К. : НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.
10. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: підруч. К. : НТУУ "КПІ", 2012. 492 с.

11. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль : Підручники і посібники, 2001. 984 с.
12. Серіков Я. О. Основи охорони праці: Навчальний посібник для студентів вищих закладів освіти. Харків : ХНАМГ, 2007. 227с.
13. Сегеда М. С., Олійник М. Й., Дудурич О. Б. Нетрадиційні та відновлювані джерела електроенергії. Навч. посіб. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2019. 204 с.
14. <https://cooperandhunter.ua/ua/product/hb6-16nk-hb6-30nk>
15. https://cooperhunteraircon.com/?gclid=Cj0KCQjw7aqkBhDPARIsAKGa0oLWwriPnZqdYFkAdTEGwILGKZiUW6zYhudeqKqlb11QuAZmcjiDyL0aAqmIEALw_wcB

