**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**
**ім. Ю.М.ПОТЕБНІ**
**КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

# Кваліфікаційна робота

другий магістерський
(рівень вищої освіти)

на тему Розробка проекту інженерних мереж 9-поверхового будинку із вбудованими приміщеннями

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1924-мбг-дн
спеціальності Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Міське будівництво та господарство
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

Бікулов Дамір Тагірович
(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доцент Ільїн С.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)
Рецензент проф, д.т.н. Банах В.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Запоріжжя
2026

2

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра міського будівництва та архітектури
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код та назва)
Освітня програма Міське будівництво та господарство
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
Завідувач кафедри А.В. Банах
«01» 09 2025 року

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

Бікулов Дамір Тагірович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Розробка проекту інженерних мереж 9-поверхового будинку із вбудованими приміщеннями
керівник роботи Ільїн Сергій Віталійович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «19» вересня 2025 року № 1303-с

2 Строк подання студентом роботи 01 лютого 2026 р.

3 Вихідні дані до роботи Тип будівлі – 9-поверховий житловий будинок із вбудованими приміщеннями громадського призначення на першому поверсі. Кількість поверхів – 9. Кількість під'їздів – 2. Кількість квартир – 72 (по 4 квартири на поверсі в кожному під'їзді). Орієнтовна кількість мешканців – 210–230 осіб. Площа забудови – 820 м². Загальна площа будівлі – 7 200 м². Житлова площа – 4 800 м².Площа вбудованих приміщень – 450 м² (офісні/торговельні приміщення). Висота поверху – 2,8 м (від підлоги до підлоги – 3,0 м).

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Енергоефективна стратегія використання паливно-енергетичних ресурсів. Заходи з підвищення енергоефективності зовнішніх огороджувальних

конструкцій будинку. Впровадження системи енергетичного менеджм

Алгоритм розв'язання рівнянь математичної моделі

4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових кре

Графік температури теплоносія в подаючому та зворотному трубопр

огороджуючі конструкції будівлі

5 Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|---|---|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| 1 | **Ільїн С.В.** | | |
| 2 | **Ільїн С.В.** | | |
| 3 | **Ільїн С.В.** | | |
| | | | |

6 Дата видачі завдання 05 травня 2025 р

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|---|
| 1 | **Аналіз шляхів зменшення енергоспоживання** | **05.05.2025** | |
| 2 | **Розробка проекту інженерних мереж 9-поверхового будинку із вбудованими приміщеннями** | **01.08.2025** | |
| 3 | **Охорона праці** | **05.11.2025** | |
| 4 | **Оформлення пояснювальної записки** | **01.12.2025** | |
| 5 | **Підготовка презентації** | **10.12.2025** | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Студент _____ Д.Т. Бікулов
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____ С.В. Ільїн
(підпис) (ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер _____ І.В. Гребенюк
(підпис) (ініціали та прізвище)

# АНОТАЦІЯ

Д.Т. Бікулов. Розробка проекту інженерних мереж 9-поверхового будинку із вбудованими приміщеннями

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник к.т.н., доцент Ільїн С.В. Запорізький національний університет. Кафедра міського будівництва та архітектури, 2026.

У роботі виконано комплексне проєктування систем опалення, вентиляції, електропостачання та газопостачання з урахуванням сучасних нормативних вимог, енергоефективності та експлуатаційної надійності. Проведено розрахунки теплових навантажень будівлі, гідравлічні розрахунки трубопроводів, визначено параметри повітрообміну, підібрано основне інженерне обладнання. Особливу увагу приділено забезпеченню комфортних умов проживання мешканців і функціонування вбудованих приміщень, а також вимогам пожежної безпеки та санітарним нормам. Запропоновані технічні рішення спрямовані на зниження енергоспоживання, підвищення ефективності роботи систем і зменшення експлуатаційних витрат. Результатом роботи є комплект проектної документації та обґрунтування прийнятих інженерних рішень, що можуть бути використані під час нового будівництва або реконструкції багатоповерхових житлових будинків.

Ключові слова: інженерні мережі, багатоповерховий житловий будинок, , опалення і вентиляція.

# ABSTRACT

D.T. Bikulov. Development of a project for engineering networks of a 9-storey building with built-in premises

Qualifying final work for obtaining a master's degree in specialty 192 - Construction and civil engineering, scientific supervisor Ph.D., Associate Professor Ilyin

S.V. Zaporizhia National University. Department of Urban Construction and Architecture, 2026.

The work includes a comprehensive design of heating, ventilation, power supply and gas supply systems taking into account modern regulatory requirements, energy efficiency and operational reliability. Calculations of thermal loads of the building, hydraulic calculations of pipelines, air exchange parameters were determined, and the main engineering equipment was selected. Particular attention was paid to ensuring comfortable living conditions for residents and the functioning of built-in premises, as well as fire safety requirements and sanitary standards. The proposed technical solutions are aimed at reducing energy consumption, increasing the efficiency of systems and reducing operating costs. The result of the work is a set of design documentation and justification of the adopted engineering solutions that can be used during new construction or reconstruction of multi-storey residential buildings.

Keywords: engineering networks, multi-storey residential building, , heating and ventilation.

ЗМІСТ

ВСТУП

1. АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

1.1 Енергоефективна стратегія використання паливно-енергетичних ресурсів

2. РОЗРОБКА ПРОЕКТУ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ 9-ПОВЕРХОВОГО БУДИНКУ ІЗ ВБУДОВАНИМИ ПРИМІЩЕННЯМИ

2.1 Загальна характеристика об’єкту дослідження

2.2 Заходи з підвищення енергоефективності зовнішніх огороджувальних конструкцій будинку

2.3 Впровадження системи енергетичного менеджменту

2.4. Фізичне моделювання процесів теплообміну у ВОК в холодний період року

2.5. Рівняння, що характеризує нагрів повітря біля поверхні ВОК

2.6. Математична модель процесу теплообміну у ВОК в холодний період

2.7. Алгоритм розв’язання рівнянь математичної моделі

2.8. Розв’язання рівнянь математичної моделі

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІЧНА БЕЗПЕКА

3.1 Основні шкідливі і небезпечні фактори при експлуатації чиллерів

3.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів

3.3 Електробезпека

3.4 Виробнича санітарія

3.5 Засоби індивідуального захисту

3.6 Заходи щодо пожежної безпеки

3.7 Розрахунок захисного занулення

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

# ВСТУП

*Актуальність роботи.* Сучасне житлове будівництво в Україні характеризується підвищеними вимогами до надійності, безпеки, енергоефективності та комфорту експлуатації будівель. Особливої уваги потребують багатоповерхові житлові будинки із вбудованими приміщеннями громадського призначення, оскільки поєднання різних функціональних зон обумовлює складність інженерного забезпечення та необхідність комплексного підходу до проєктування.

Інженерні мережі є однією з ключових складових життєзабезпечення будівлі, визначаючи санітарно-гігієнічні умови, енергетичну ефективність, пожежну безпеку та економічність експлуатації. Невірно прийняті проектні рішення можуть призвести до перевитрат ресурсів, зниження комфорту мешканців та підвищення експлуатаційних витрат. Тому розробка обґрунтованого проекту інженерних мереж 9-поверхового будинку із вбудованими приміщеннями є актуальним інженерним завданням.

*Метою роботи є* розробка проекту інженерних мереж 9-поверхового житлового будинку із вбудованими приміщеннями з урахуванням сучасних нормативних вимог, принципів енергоефективності, надійності та економічної доцільності.

*Об'єктом дослідження є* 9-поверховий житловий будинок із вбудованими приміщеннями громадського призначення як комплексна інженерна система.

*Предметом дослідження є* процеси проектування та функціонування систем водопостачання і водовідведення, опалення, вентиляції, електропостачання та інших інженерних мереж будівлі.

*У роботі використано такі методи дослідження:*

- аналіз чинної нормативно-технічної документації;
- інженерні теплотехнічні та гідравлічні розрахунки;
- розрахунок електричних навантажень;
- методи техніко-економічного порівняння варіантів проектних рішень;

— графічне моделювання та розробка проектної документації.

*Особистий внесок набувача* полягає у виконанні розрахунків інженерних систем будівлі, підборі обладнання, розробці схем і креслень, обґрунтуванні прийнятих технічних рішень, а також у формуванні висновків щодо ефективності та надійності запроєктованих інженерних мереж.

*Обсяг і структура роботи.* Робота складається зі вступу, 3 розділів, загальних висновків і списку джерел.

# 1. АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

Житлово-комунальне господарство України (ЖКГ) споживає близько третини усіх паливно-енергетичних ресурсів країни. Важливим чинником, що визначає енергоефективність ЖКГ на всіх етапах ланцюга джерело-мережі-абонент, є енергогенеруючі установки комунальної енергетики. У житлово-комунальному господарстві України споживається 44% енергетичних ресурсів, що становить близько 30% загального споживання палива в Україні. Щорічно галузь споживає електроенергії – 10,0 млрд. Вт· год, природного газу – 14,0 млрд. м³, вугілля – 1,5 млн.т. Значним вкладом до невиправдано великих втрат тепла у житлово-комунальній сфері є недосконаліть існуючих будівельних конструкцій, а також практична відсутність індивідуальних засобів обліку та систем регулювання енергоспоживання. Протягом опалювального періоду внаслідок різниці між температурою внутрішнього повітря будинку і зовнішнього повітря відбуваються втрати тепла: трансмісійні – через зовнішні огороджуючі конструкції; пов'язані з повітрообміном – через підігрів до температури внутрішнього повітря холодного зовнішнього повітря, яке надходить через нещільності або відкриті вікна і двері.

Одним із шляхів підвищення енергоефективності ЖКГ та вирішення проблеми обігріву приміщень є будівництво «пасивних будинків», що складаються з відповідних енергетично обґрунтованих конструкцій.

Підвищення теплового захисту будівель і споруд є важливим завданням державного регулювання в більшості країн світу. Ці вимоги розглядаються також з точки зору охорони навколишнього середовища, раціонального використання невідновлюваних природних ресурсів і зменшення впливу «парникового» ефекту, а також інших шкідливих речовин на атмосферу.

Ці норми стосуються частини загального завдання енергозбереження в спорудах. Одночасно із створенням ефективного теплового захисту вживаються заходи щодо підвищення ефективності інженерного обладнання споруд, зниження втрат енергії при її виробленні й транспортуванні, а також щодо скорочення витрат теплової та електричної енергії.

Енергоефективність – критерій якості функціонування економічної моделі держави. Найбільш гострими в Україні на сучасному етапі її розвитку є проблеми стабільного енергозабезпечення та ефективного використання енергоресурсів, від вирішення яких значною мірою залежить рівень економічного і соціального розвитку суспільства. Саме тому одним із першочергових завдань Стратегії сталого розвитку «Україна – 2020», схваленої Указом Президента України від 12 січня 2015 року № 5/2015, є реалізація програми енергонезалежності, головним завданням якої є забезпечення енергетичної безпеки і перехід до енергоефективного та енергоощадного використання та споживання енергоресурсів із впровадженням інноваційних технологій.

Забезпечення енергетичної безпеки регіону за рахунок підвищення енергоефективності економіки та розвитку альтернативної енергетики – одне з головних завдань Стратегії розвитку Дніпропетровської області на період до 2020 року, затвердженої рішенням Дніпропетровської обласної ради від 26 вересня 2014 року № 561-27/VI, яка є головним планувальним документом Дніпропетровської області на період до 2020 року. Місцеві органи влади мають бути лідерами у становленні сталих енергетичних систем та боротьбі зі змінами клімату, адже саме на місцевому рівні будуть спостерігатися найвідчутніші наслідки цих проблем, а сектор енергетики одним із перших зазнає їх впливу.

Стратегія енергозбереження, енергоефективності та розвитку відновлюваних джерел енергії Дніпропетровської області на 2018–2035 роки – це узгоджена система стратегічних та операційних цілей підвищення енергоефективності та втілення заходів (проектів) раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів у бюджетній сфері, житлово-комунальному господарстві та господарському секторі, а також розвитку відновлювальної енергетики. Стратегія передбачає врахування економічних, соціальних та екологічних пріоритетів енергозбереження, енергоефективності та розвитку енергетичної сфери Дніпропетровської області задля задоволення потреб населення та економіки.

Вирішення зазначеної проблеми може бути удосконалення та розробка шляхом теоретичного й експериментального обґрунтування оптимальних огороджуючих конструкцій будинків.

Отже суттєве підвищення енергоефективності будинків і споруд є одним із першочергових завдань для дослідників. Тому, дисертаційну роботу присвячено розробці й детальному науковому обґрунтуванню конструктивних та енергетичних параметрів огороджуючи конструкцій будівель і споруд.

## 1.1 Енергоефективна стратегія використання паливно-енергетичних ресурсів

Споживання великої кількості паливно-енергетичних ресурсів та висока частка викопного палива в енергетичному балансі області поруч із застарілими і неефективними системами очищення димових газів призводять до високих рівнів забруднення атмосферного повітря у промислових зонах.

Дніпропетровська область має одні з найбільших в Україні показники викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря стаціонарними джерелами забруднення. Основними забруднюючими речовинами є оксид вуглецю, метан, діоксид сірки та діоксид азоту.

Одними з найбільших забруднювачів атмосферного повітря в області є саме підприємства енергетичного комплексу: теплові електростанції та ТЕЦ. Ураховуючи це, в рамках модернізації енергогенеруючих потужностей, крім підвищення енергоефективності та зниження питомого споживання палива на виробництво електроенергії, актуальним є встановлення сучасних систем очищення димових газів, які дозволять суттєво скоротити викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря.

Головною метою Стратегії є гарантування енергетичної безпеки області за рахунок підвищення рівня енергоефективності та втілення заходів (проектів) раціонального використання ПЕР у бюджетній сфері, житлово-комунальному господарстві та промислово – господарському секторі, збільшення частки енергії,

виробленої з альтернативних видів палива та альтернативних джерел енергії в енергетичному балансі області, а також скорочення викидів парникових газів.

Мета Стратегії вимагає суттєвих інвестицій у модернізацію енергетичної інфраструктури, будівництво нових об'єктів альтернативної енергетики, розширення інституційної спроможності органів державної влади і місцевого самоврядування та поліпшення інформованості населення.

Вирішення завдань з енергетичної безпеки можливо за рахунок координації зусиль органів державної влади, органів місцевого самоврядування та їх виконавчих органів, підприємств різних форм власності та населення, залучення бюджетів різних рівнів, залучення інших джерел фінансування, не заборонених чинним законодавством (гранти, позики, механізми державно-приватного партнерства, укладення договорів з енергетичними компаніями тощо). Реалізація Стратегії покликана забезпечити досягнення трьох стратегічних цілей: енергетична безпека, зелена економіка та чисте довкілля.

Стратегічні цілі:

1) Енергетична безпека - посилення енергетичної незалежності через заходи з енергозбереження, підвищення енергоефективності при виробництві та споживанні енергії, а також розвиток місцевих відновлюваних джерел енергії;

2) Зелена економіка - стимулювання економічного зростання та зменшення дисбалансу між темпами економічного розвитку громад області завдяки використанню проектів з відновлюваної енергетики та енергозбереження як точок росту економіки;

3) Чисте довкілля - покращення якості навколишнього середовища та умов життя завдяки зменшенню забруднення атмосферного повітря від об'єктів енергетики та розвитку відновлюваних джерел енергії.

Операційні цілі охоплюють економічні, екологічні та соціальні аспекти сталого розвитку енергетики регіону для досягнення стратегічних цілей та мети Стратегії.

Операційні цілі за напрямом "Енергетична безпека" включають:

зменшення енергоємності валового регіонального продукту;

зменшення питомого споживання палива на виробництво електроенергії на ТЕС;

забезпечення 100 % обов'язкового комерційного обліку споживання енергоресурсів в житловому секторі;

зменшення споживання теплової енергії в житлових будівлях;

запровадження систем енергетичного моніторингу використання енергоресурсів та енергетичного менеджменту у 100% комунальних підприємств та бюджетних будівель;

зменшення споживання теплової енергії в бюджетних будівлях;

збільшення частки відновлюваних джерел енергії у виробництві теплової енергії;

підвищення ефективності використання палива для виробництва теплової енергії за рахунок підвищення ефективності виробництва та зниження втрат в мережах;

зменшення енергоємності послуг з розподілу води підприємствами житлово-комунального господарства;

збільшення частки електроенергії, виробленої з відновлюваних джерел.

Операційні цілі за напрямом “Зелена економіка” включають:

залучення прямих іноземних інвестицій у проекти альтернативної енергетики в області;

створення нових робочих місць у сфері альтернативної енергетики;

збільшення потужності введених в експлуатацію комерційних об’єктів альтернативної енергетики, що працюють за зеленим тарифом;

збільшення потужності сонячних та вітрових електростанцій домогосподарств;

збільшення потужності введених в експлуатацію комерційних об’єктів альтернативної енергетики, що виробляють теплову енергію.

Операційні цілі за напрямом “Чисте довкілля” включають:

Зниження викидів парникових газів;

Скорочення викидів шкідливих речовин у атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення;

Запровадження екологічних навчальних курсів у програмах шкільних та вищих навчальних закладів;

Збільшення частки потужностей у тепловій генерації, що відповідає екологічним вимогам ЄС (викиди SO2, NOx, золи).

Завдання, на виконання яких спрямована Стратегія, передбачають створення сприятливих умов для залучення інвестицій у розвиток альтернативної енергетики та боротьбу зі зміною клімату, а саме:

забезпечити постійний збір даних у сфері сталої енергетики та клімату: даних про рівень споживання енергетичних ресурсів, показники енергоефективності та визначення індикаторів для реалізації програм з енергозбереження, підвищення енергоефективності, скорочення викидів парникових газів та розвитку відновлюваних джерел енергії;

фінансування альтернативної енергетики та енергозбереження: використання коштів місцевих та державних бюджетів для фінансування пілотних проектів у сфері енергозбереження, підвищення енергоефективності, скорочення викидів парникових газів та розвитку відновлюваних джерел енергії;

залучення приватного капіталу: розробка пакету пріоритетних проектів та сприяння в залученні фінансування для їх реалізації;

розвиток інституційної спроможності органів державної влади та місцевого самоврядування області з питань енергозбереження, енергоефективності, розвитку відновлюваної енергетики та запобігання змінам клімату;

інформування населення та освіта: підвищення поінформованості населення області про питання енергозбереження, енергоефективності, розвиток відновлюваної енергетики та запобігання змінам клімату.

Завдання 1. Забезпечити постійний збір даних про споживання енергоресурсів.

Наявність точних та надійних даних щодо споживання енергетичних ресурсів дозволятиме органам місцевої влади відстежувати результативність

політики енергозбереження, енергоефективності, розвитку відновлювальної енергетики та запобігання змінам клімату та продемонструвати її ефективність для громадян, а приватним компаніям - оцінити привабливість інвестиційних проектів.

Система збору даних про споживання енергетичних ресурсів базуватиметься на моніторингу споживання енергетичних ресурсів бюджетними установами, проведенні енергоаудитів будівель спільної комунальної власності територіальних громад та вдосконаленні системи статистичних спостережень.

Завдання 2. Фінансування альтернативної енергетики та енергозбереження.

Досягнення стратегічних цілий вимагатиме значних інвестицій, тому виконання завдання передбачатиме фінансування пілотних проектів з термомодернізації будівель, підвищення енергоефективності підприємств теплопостачання та водопостачання. Органи місцевої влади за підтримки державного бюджету, а також міжнародних фінансових організацій, проектів міжнародної технічної допомоги та інших потенційних донорів на основі пілотних проектів мають продемонструвати технічну та економічну ефективність зазначених проектів.

Завдання 3. Залучення приватного капіталу

Залучення приватного капіталу у проекти у сфері сталої енергетики та зміни клімату дозволить досягнути стратегічних цілей, сприятиме економічному зростанню регіону та покращенню стану навколишнього природного середовища.

Завдання 4. Розвиток інституційної спроможності

Досягнення визначених стратегічних цілей вимагатиме посилення інституційної спроможності органів місцевої влади та місцевого самоврядування щодо планування, імплементації та відстеження результативності державної та регіональної політики у сфері енергоефективності, енергозбереження, розвитку відновлюваної енергетики та запобігання змінам клімату.

Завдання 5. Інформування населення та освіта

Покращення розуміння питань енергоефективності, енергозбереження, розвитку відновлюваної енергетики та запобігання змінам клімату стане важливою запорукою підтримки заходів зі зниження використання енергоресурсів та

розвитку відновлюваних джерел енергії населенням області. Важлива увага приділятиметься комунікації переваг енергоефективності, енергозбереження, розвитку відновлюваної енергетики для економії коштів, створення додаткових джерел фінансових надходжень та покращення якості життя. Підвищений рівень поінформованості забезпечить краще розуміння переваг заходів з енергозбереження та активну участь мешканців області в програмах у сфері енергоефективності, енергозбереження, розвитку відновлюваної енергетики та запобігання змінам клімату. Дніпропетровська область є одним з найбільших споживачів паливно-енергетичних ресурсів серед регіонів України, тому питання сталого розвитку енергетики є вкрай важливим.

# 2. РОЗРОБКА ПРОЕКТУ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ 9-ПОВЕРХОВОГО БУДИНКУ ІЗ ВБУДОВАНИМИ ПРИМІЩЕННЯМИ

## 2.1 Загальна характеристика об’єкту дослідження

Енергоаудит проводиться для визначення ефективності використання паливо-енергетичних ресурсів, реального стану енергоспоживання будівлі, що включає аналіз технічних характеристик огороджувальних конструкцій, характеристик енергоспоживання інженерного обладнання, структури енерговитрат в продовж року, визначення потенціалу зменшення енергоспоживання, обґрунтування заходів із підвищення рівня енергетичної ефективності будинку. Класифікація будинків за енергетичною ефективністю наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Класифікація будинків за енергетичною ефективністю

| Класи енергетичної ефективності будинку за питомою енергопотребою | Різниця в % розрахункового або фактичного значення питомої енергопотреби ЕР від максимального допустимого значення $EP_{max}$, $\{(EP- EP_{vax})/ EP_{max}\}\cdot 100\%$ |
|---|---|
| A | Мінус 50 та менше |
| B | Від мінус 49 до мінус 10 |
| C | Від мінус 9 до мінус 0 |
| D | Від 1 до 25 |
| E | Від 26 до 50 |
| F | Від 51 до 75 |
| G | 76 та більше |

Для зовнішніх огороджувальних конструкцій опалюваних будинків та споруд і внутрішніх конструкцій, що розділяють приміщення, температура повітря в яких відрізняється на 3 °С та більше, обов'язкове виконання умов

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{q\,\min},$$

де $R_{\Sigma пр}$ - приведений опір теплопередачі непрозорої огороджувальної конструкції чи непрозорої частини огороджувальної конструкції (для термічно однорідних огороджувальних конструкцій визначається опір теплопередачі), приведений опір теплопередачі світлопрозорої огороджувальної конструкції, м$^2$·К/Вт;

$R_{q\,\min}$ - мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огороджувальної конструкції чи непрозорої частини огороджувальної конструкції, мінімальне значення опору теплопередачі світлопрозорої огороджувальної конструкції, м$^2$·К/Вт. Геометричні показники будівлі зазначено в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 - Геометричні показники будівлі

| Показники | Позначення та . . | Фактичне значення |
|---|---|---|
| Загальна площа огороджувальних | F∑, м$^2$ | 899,5 |
| - стін | Fнп, м$^2$ | 451,5 |
| - вікон ( склопакет) | Fсп в, м$^2$ | 51,6 |
| -дверей | F д, м$^2$ | 6,7 |
| Площа опалювальних | м$^2$ | 396,4 |
| Опалювальний об’єм | м$^3$ | 1486,5 |
| Коефіцієнт скління | | 0,21 |
| Показник компактності | | 0,53 |

Характеристика зовнішніх огороджуючих конструкцій (стін). Загальна площа стін складає – 451,5 м$^2$, приведений (середньозважений) термічний опір – 0,96 (м$^2$·°С)/Вт. Згідно ДБН В.2.6-31:2016 нормативне значення термічного опору для даного регіону складає – 2,8 (м$^2$·°С)/Вт, отже характеристика огороджуючої

конструкції не відповідає вимогам ДБН. Огороджуюча конструкція складається з наступних шарів: цегла 510 мм, розчин цементно- піщаний товщиною 20 мм (густина - 1600 кг/м3). Додаткова інформація: мають місце незначні пошкодження зовнішнього фасаду, цоколю.

Значну частину будівельних конструкцій займають огороджувальні конструкції. До цих конструкцій пред'являються досить широкий спектр вимог.

Огороджувальні конструкції повинні мати певні теплотехнічні властивості, бути досить енергоефективними і довговічними, водостійкими і морозостійкими. Крім цього вони повинні бути акустично комфортними, мають забезпечувати, через віконні прорізи інсоляцію приміщень, освітленість, комфортність проживання та виробничої діяльності.

Для магістерської роботи було виконано досить великий обсяг робіт з обстеження будівлі, оцінки її технічного стану та аналізу різноманітних огороджувальних будівельних конструкцій з відповідним забезпеченням їх надійності і енергоефективності. Характеристиу стін наведено у таблиці 2.3.

Опір теплопередачі термічно однорідної непрозорої огороджувальної конструкції розраховується за формулою

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \sum_{i=1}^{n} R_{i} + \frac{1}{\alpha_{з}} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_{i}}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_{з}},$$

де $\alpha_в$, $\alpha_з$ – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огороджувальної конструкції, Вт/( м$^2$·К);

$R_i$ - термічний опір *i*-го шару конструкції, м$^2$·К/Вт;

$\lambda_{ip}$ - теплопровідність матеріалу *i*-го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації згідно, Вт/( м$^2$·К);

Таблиця 2.3 – Характеристика стін

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Загальна оцінка існуючого стану | | | | | Задовільний | | | |
| Зовнішня загальна площа, м$^2$ | | | | | 451,5 | | | |
| Товщина стіни, мм | | | | | 535,00 | | | |
| Конструкція стіни | | | | | Сілікатна цегла | | | |
| Наявність теплоізоляції | | | | | відсутня | | | |
| Приведений термічний опір зовнішніх стін (м²·°С)/Вт | | | | | 0,96 | | | |
| Нормативний термічний опір зовнішніх стін згідно | | | | | 2,8 | | | |
| Орієнтація | Пн | Пн-Сх | Сх | Пд-Сх | Пд | Пд-З | З | Пн-З |
| Площа стіни, м$^2$ | 97,8 | - | 127,95 | - | 97,8 | - | 127,95 | - |

Характеристика покрівлі (даху). Загальна площа даху складає – 198,2 м$^2$, приведений (середньозважений) термічний опір – 1,27 (м2·°С)/Вт. Згідно ДБН В.2.6-31:2016 нормативне значення термічного опору для даного регіону становить – 4,5, отже характеристика огороджуючої конструкції не відповідає вимогам ДБН. Загальний стан огорождуючих конструкцій (даху) можна охарактеризувати як прийнятний.

Огороджуюча конструкція складається з наступних елементів: залізобетон товщиною 220мм (густина - 2500 кг/м$^3$), відсів.

Стан горища та покриття будівлі наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4– Стан горища та покриття будівлі

| | |
|---|---|
| Загальна оцінка існуючого стану | задовільний |
| Загальна площа, м² | 198,2 |
| Тип горища | неопалюване |
| Висота горища, м | Від 0 до1,7 |
| Конструкція перекриття між останнім пов. і горищем | Залізо-бетонні панелі з круглими пустотами |
| Конструкція покриття | шифер |
| Тип даху | скатний |
| Система водовідводу | Організований внутрішній |
| Наявність теплоізоляції | відсутня |
| Приведений термічний опір даху (м²·°С)/Вт | 1,27 |
| Нормативний термічний опір даху згідно із зміною №1 до ДБН В.2.6- 31 2016 (м²·°С)/Вт | 4,50 |

Оцінка існуючого стану вікон будівлі занесемо до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Стан вікон

| | |
|---|---|
| Загальна оцінка існуючого стану | задовільний |
| Загальна площа, м² | 51,6 |
| Тип матеріалу | ПВХ |
| Тип рами | металопластик |
| Варіант скління | 4М1-16-4М1 |
| Вологість столярних виробів, % | - |
| Приведений термічний опір вікон (м²°С)/Вт | 0,34 |
| Нормативний термічний опір вікон згідно із зміною №1 до ДБН В.2.6- 31 2016 (м²°С)/Вт | 0,60 |

Характеристика віконних конструкцій та балконних дверей: загальна площа вікон становить – 51,6 м$^2$, приведений (середньозважений) термічний опір складає - 0,34 (м$^2$-°С)/Вт, при коефіцієнті скління – 0,11. Згідно ДБН В.2.6-31:2016 нормативне значення термічного опору для даного регіону складає – 0,6(м$^2$·°С)/Вт.

Фотографія вхідних дверей зображена на рисунку 2.1. Характеристика технічного стану вхідних дверей занесено у таблицю 2.6.



Рисунок 2.1 - Фотографія вхідних дверей

Загальна площа дверей складає – 6,7 м$^2$, приведений (середньозважений) термічний опір - 0,89 (м$^2$·°С)/Вт. Згідно із зміною №1 до ДБН В.2.6-31:2016 нормативне значення термічного опору для даного регіону становить - 0,50 (м$^2$·°С)/Вт. Загальний стан вхідних дверей можна охарактеризувати як прийнятний.

Характеристика цокольної частини будівлі відображена у таблиці 2.7.

Таблиця 2.6 – Стан вхідних дверей

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Загальна оцінка існуючого стану | | | | | задовільний | | | |
| Загальна площа, м$^2$ | | | | | 6,7 | | | |
| Тип матеріалу | | | | | металопластик | | | |
| Площа металевих та деревяних дверей, м$^2$ | | | | | - | | | |
| Площа ПВХ дверей, м$^2$ Варіант скління | | | | | 6,7 | | | |
| Приведений термічний опір дверей (м²·°С)/Вт | | | | | 0,42 | | | |
| Нормативний термічний опір дверей згідно із зміною №1 до ДБН В.2.6- 31 2016 (м²·°С)/Вт | | | | | 0,50 | | | |
| Орієнтація | Пн | Пн-Сх | Сх | Пд-Сх | Пд | Пд-З | З | Пн-З |
| Площа ПВХ дверей, м$^2$ | 1,68 | - | 3,36 | - | 1,68 | - | - | - |

Таблиця 2.7 - Цокольна частина будівлі

| | |
|---|---|
| Загальна оцінка існуючого стану | Задовільний |
| Загальна площа, м$^2$ | 24,08 |
| Середня висота цоколю, м | 0,4 |
| Наявність відмостки | Наявна |
| Ширина відмостки, мм | 0,8-1,4м. |
| Товщина стіни, мм | 535 мм |
| Конструкція стіни | Цегла |
| Наявність теплоізоляції | Відсутня |
| | |

Огороджуюча конструкція складається з наступних шарів: цегла 510 мм, розчин цементно-піщаний товщиною 20 мм. Додаткова інформація: цоколь та відмістка мають незначні пошкодження.

Підлога по грунту є ідеальним варіантом, особливо в малоповерховому будівництві. При цьому слід враховувати те, що влаштування бетонної підлоги по грунту доцільно здійснювати там, де не буває постійних лютих морозів. У Україні підлоги по грунту стали затребуваними відносно недавно, мабуть через брак потрібних матеріалів. Характеристика підлоги відображена у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 - Підлога по грунту

| | |
|---|---|
| Загальна оцінка існуючого стану | задовільне |
| Загальна площа, м$^2$ | 198,2 |
| Конструкція перекриття | Бетон, плитка, леноліум |
| Наявність теплоізоляції | відсутня |
| Вологість стін, % | - |
| Приведений термічний опір полу (м²°С)/Вт | 2,14 |
| Нормативний термічний опір полу згідно із зміною №1 до ДБН В.2.6- 31 2016 (м²°С)/Вт | 3,30 |

Підлоги, які облаштовуються безпосередньо на грунті, мають кілька вагомих переваг, серед яких можна виділити наступні:

– економічність, так як при сухому грунті така конструкція обійдеться набагато дешевше, ніж класична;

– легкість і простота монтажних робіт, адже створення повноцінної чорнової підлоги в приміщенні може зайняти всього лише кілька годин;

– стійкість і високий ступінь міцності такої конструкції підлоги;

– надійний захист від промерзання і холодного повітря;

– зручний варіант, щоб облаштувати теплу підлогу.

Обстеження інженерних систем здійснюється фахівцями з обстеження інженерних систем на замовлення та за рахунок власника (співвласників) будівлі (для багатоквартирних будинків - на замовлення та за рахунок власника (співвласників) будинку, житлово-будівельного кооперативу, об'єднання співвласників багатоквартирного будинку, управителя багатоквартирного будинку):

під час виконання заходів із забезпечення (підвищення рівня) енергетичної ефективності будівлі за рахунок коштів державної підтримки;

за бажанням замовника з метою проведення перевірки технічного стану інженерних систем будівлі.

Обстеження інженерних систем будинку розпочалося з обстеження системи опалення. Була обстежено систему вентиляції. Характеристики системи вентиляції наведено у таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Характеристика системи вентиляції

| | |
|---|---|
| В дії, починаючи з | 1978 |
| Призначення вентиляційної системи | Припливно-витяжна |
| Спосіб спонукання | природне спонукання |
| Стан | задовільний |

Модернізація систем освітлення також відноситься до однієї з найпоширеніших рекомендацій за підсумками енергоаудиту, яка призводить до істотного зниження споживання електроенергії.

Заходи, пропоновані енергоаудиторами, прості: відмовитися у всіх можливих випадках від застосування звичайних ламп на користь

енергозберігаючих, максимально автоматизувати систему освітлення встановленими датчиками, які будуть контролювати роботу освітлювальних приладів, включаючи їх тоді, коли це необхідно. Характеристика системи освітлення сходових клітин наведена у таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Система освітлення сходових клітин

| Освітлювальні прилад | Потужність ламп | К-сть ламп на | Потужн. світ | К-сть сві | Всього (кВт) |
|---|---|---|---|---|---|
| Лампи LED | 6 | 1 | 6 | 34 | 0,204 |
| Лампи люмініс | 12 | 4 | 48 | 8 | 0,384 |
| Всього | | | | | 0,588 |

Приведений опір теплопередачі - середньозважений по площі опір теплопередачі термічно неоднорідної огороджувальної конструкції, в якому враховується двомірне у перерізі конструкції перенесення теплоти і який визначається на підставі розрахунків чи результатів випробувань конструкції. Приведений опір теплопередачі огороджувальних конструкцій та енергетичні показники будинку зведено до таблиці 2.11 та таблиці 2.12.

Таблиця 2.11 – Приведений опір теплопередачі огороджувальних конструкцій

| Приведений опір теплопередачі | Позначення і розмірн | Нормативне значен | Фактичне значен |
|---|---|---|---|
| стін | $R_{\Sigma ПР·НП}$ | 2,80 | 0,96 |
| вікон і балконних | $R_{\Sigma}$ | 0,60 | 0,34 |
| вхідних дверей і | $R_{\Sigma ПР·Д}$ | 0,50 | 0,42 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| горищних перекриттів | $R_{\Sigma ПР·ХГ}$ | 4,50 | 1,27 |
| перекритів над неопалюваними | $R_{\Sigma ПР·Ц2}$ | 3,30 | 2,14 |

На даний момент будівля не відповідає існуючим нормативним вимогам та потребує комплексного підходу в реалізації енергоефективних заходів. Енергоспоживання у 2025 році зведено до таблиці 2.13.

Таблиця 2.12 – Енергетичні показники будівлі

| Показники | Позначення і розмірність показника | Нормативне значення показника | Розрахункове (значення після модернізації) | Фактичне значення показника |
|---|---|---|---|---|
| Розрахункові питомі тепловитрати | $q_{буд}$ , кВт год/(м$^2$·кВт) | - | 55,5 | 104,1 |
| Максимально допустиме значення питомих тепловитрат | $E$max , кВт·год/м$^2$ | 56,00 | - | - |
| Клас енергетичної ефективності | | - | C | G |
| Термін ефективної експлуатації теплоізоляційної оболонки та її | | | 25 | |
| Відповідність проекту будинку нормативним вимогам | | | Так | Ні |

Таблиця 2.13 – Енергоспоживання у 2025 році

| Централізоване теплопостачання | |
|---|---|
| Витрати на опалення, грн. | 50 069 880 |
| Споживання теплової енергії гКал | 27972 |
| Електроенергія | |
| Витрати на енергію, грн. | 122608,8 |
| Енергоспоживання, кВт год | 68116 |
| Холодне водопостачання | |
| Витрати, грн. | 2244 |
| Споживання, $м^3$ | 132 |

2.2 Заходи з підвищення енергоефективності зовнішніх огороджувальних конструкцій будинку

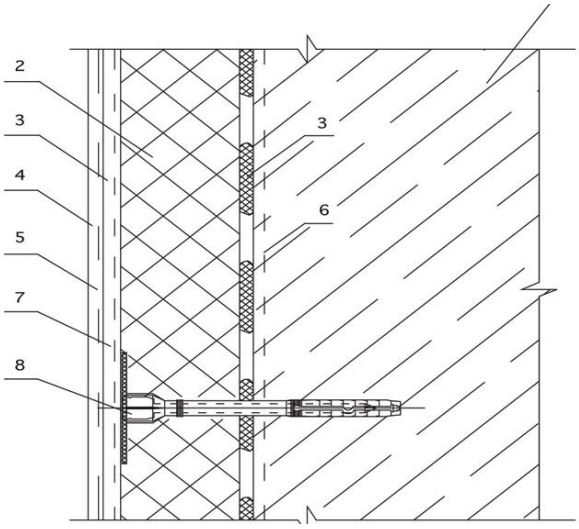
Функціональне призначення систем теплоізоляції — це зниження до мінімуму тепловтрат через огороджувальні стінові конструкції будинків та споруд, забезпечення різноманітності й архітектурно-естетичної виразності фасадів, подовження терміну експлуатації огороджувальних конструкцій, зниження витрат на кондиціонування, а в цілому — забезпечення комфортних умов в будівлі.

Зниження до мінімуму тепловтрат крізь стіни будинків дає змогу на (30...40) % і більше зменшити витрати на опалення, отже, знизити викиди в атмосферу продуктів горіння, що дуже важливо в сучасній непростій екологічній ситуації.

Загальна площа стін які потрібно утеплити складає 451,5 м$^2$. Приведений (середньозважений) термічний опір існуючих стін складає 0,96 (м$^2$·°С)/Вт і не відповідає нормам, пропонується досягти значення – 2,87 (м$^2$·°С)/Вт за допомогою утеплення стін.

Відповідно до чинного законодавства в будівлях даного типу потрібно використовувати негорючі матеріали утеплювача, негорючими матеріалами можуть виступати мінерально ватні утеплювачі негорючого класу. Отже весь фасад буде утеплюватись матеріалами негорючого класу. Ізоляцію стін пропонується виконати за системою зовнішнього утеплення Baumit. Дана система досить проста в реалізації та надійна в експлуатації, також слід зауважити що даний метод являється досить поширеним в Європі. В якості основного утеплювача використовується мінеральна вата ROCKWOOL (FRONTROCK MAX E) товщиною 100 мм, густиною 150 кг/м³ та коефіцієнтом теплопровідності 0,0385 Вт/(м·°С).

Загальна конструктивна схема цього методу представлена на рисунку 2.2.




1 - несуча стіна; 2 - утеплювач; 3 - клейова суміш для приклеювання плит утеплювача; 4 - декоративна штукатурка; 5 - ґрунтовка; 6 - ґрунтовка; 7 - армована склотканина, стійка до дії лугу (осередок 5х5, щільність 160 г/м$^2$); 8 – дюбель.

Рисунок 2.2 - Конструктивна схема монтажу теплоізоляції

При влаштуванні зовнішніх віконних та дверних укосів використовується мінераловатний утеплювач ROCKWOOL FASROCK товщиною 50 мм, густиною 165 кг/м³ та коефіцієнтом теплопровідності 0,0385 Вт/(м·°С). На етапі робочого

проектування слід повторно розглянути варіанти утеплення, та обрати найдоцільніший варіант який відповідатиме сучасним вимогам на час проектування. Вказані ціни на впровадження енергоефективних заходів є орієнтовні, остаточні ціни будуть відомі після складання проекту та погодження його експертизи, після чого слід виконати перерахунок. Вартість утеплювача в сумі з монтажними роботами 600 грн/м$^2$.

Загальна площа даху який потрібно утеплити складає 198,2 м$^2$. Приведений (середньозважений) термічний опір - даху складає 1,27 (м$^2$·°С)/Вт і не відповідає нормам, пропонується досягти значення – 4,5 (м$^2$·°С)/Вт за допомогою утеплення крівлі.

Стислий опис технології наведено нижче. Технологія виконується у два етапи. На першому етапі проводиться пошарове нанесення методом напилювання пінополіуретанових композицій на поверхню даху очищену від сміття, пилу, масляних плям тощо. Напилений пінополіуретан отримують безпосередньо на будівельному майданчику шляхом перемішування двох початкових рідких компонентів (поліолу і поліізоцинату) за допомогою обладнання високого тиску. При цьому компоненти по обігрітих рукавах високого тиску подаються до пістолету, де способом зустрічного вприску утворюється реакційна суміш, яка спінюється за (3...5) с при попаданні на напилювану поверхню, застигає та затвердіває. Напилювання пінополіуретановими композиціями можна виконувати методом термохімічної регенерації, пошарово, загальною кількістю не менше 3 шарів загальною товщиною 30 мм, (при товщині пінополіуретанового покриття не менше 40 мм – 4шара, не менше 50 мм – 5 шарів, не менше 60 мм – 6 шарів, тощо, з товщиною кожного шару (5...15) мм, які визначається температурою навколишнього середовища та поверхні, часом напилення, іншими чинниками). Нанесення шару захисного матеріалу на поверхню напиленого пінополіуретану можна виконувати через 24 години. Роботи по відновленню гідроізоляційних властивостей існуючого покриття за допомогою установки інфрачервоного відновлення з подальшим улаштуванням теплогідроізоляційного покриття із

поліуретанових композицій та шару із захисних матеріалів повинні виконуватись з дотриманням вимог [51].

Наступним, другим, етапом є улаштування захисного покриття - стяжки із цементно-піщаного розчину М100 товщиною 30…40 мм. Стяжку улаштовують по маячним рейкам з оцинкованої сталі із розрізанням на температурні та усадкові шви з картами (2,0х2,0…3,0х3,0) м. Допускається армування стяжки сіткою з Вр-1 діаметром 3 мм з чавунком 100х100 мм.

Переваги технології:

– безшовна теплоізоляція без «містків холоду»;

– хороші гідро і теплоізоляційні властивості: теплопровідність $\lambda$ = 0,023 Вт/(м·К);

– порівняно висока міцність матеріалу - 2,5 кг/см$^2$;

– підвищення протипожежного захисту за рахунок улаштування негорючого захисного покриття;

– невисока ціна в порівнянні з відновленням традиційними методами;

Технологія нанесення пінополіуретанових композицій описана вище застосовується також при новому будівництві об’єктів, зокрема:

– зовні на дахах по поверхні бетону, цементно-піщаної стяжки після їх затвердівання, попередньо оброблених гідроізоляційними бітумно-полімерними матеріалами;

– по поверхні металевих конструкцій або конструкцій дахів із інших матеріалів;

– зсередини дахів будинків або споруд безпосередньо на поверхні азбесто-цементних листів, бетонної, керамічної черепиці, металочерепиці, металевого профнастилу, тощо.

– безпосередньо на поверхні горищного перекриття.

Пінополіуретанове покриття являє собою жорсткий пінополіуретан пористої структури з рівномірно розподіленими порами, на який нанесено шар захисного матеріалу (див. рис. 2.3).




Рисунок 2.3 - Пінополіуретанове покриття

Середнє значення опору теплопередачі R = 2,14 (м²·°С)/Вт, пропонується досягти значення – 4,61 (м$^{2}$·°С)/Вт за допомогою утеплення.

Утеплення виконується зі сторони техпідпілля. При утепленні техпідпілля перекриття рекомендовано використовувати пошарову систему утеплення. Приклад утеплення перекриття зі сторони техпідпілля приведено на рисунку 2.4.

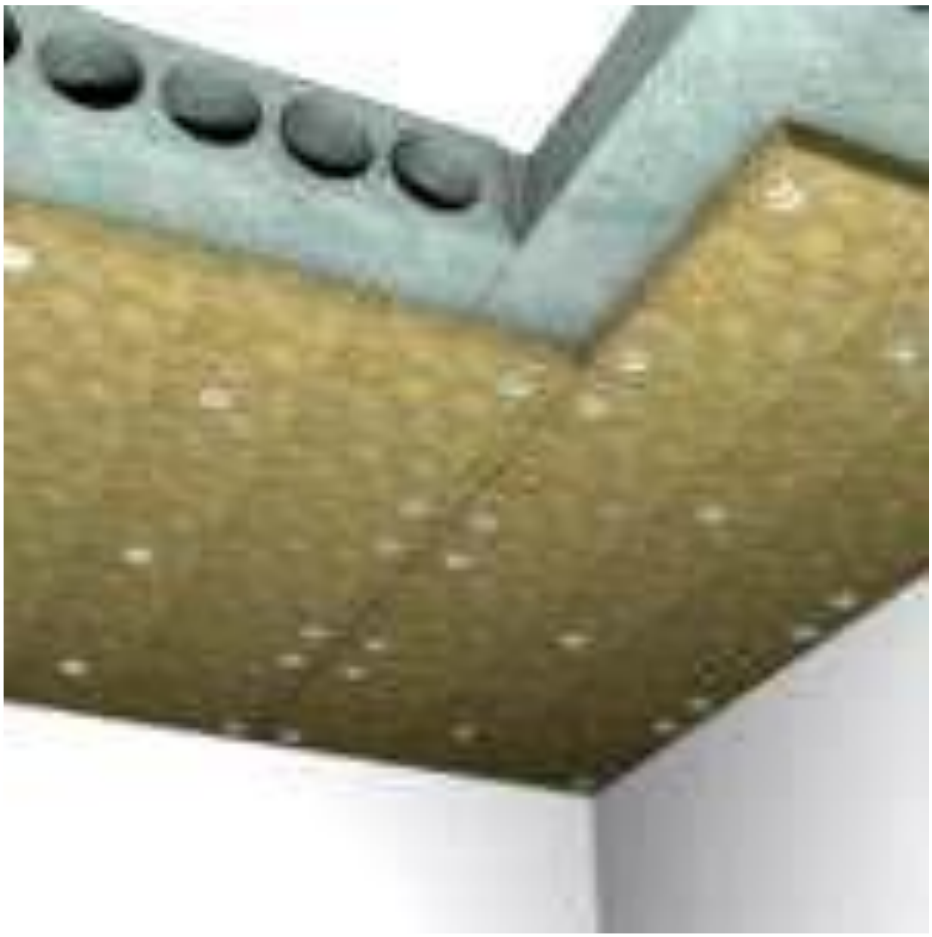


Рисунок 2.4 - Приклад утеплення перекриття зі сторони техпідпілля

Розрахунок ефективності впровадження заходу виконано на прикладі застосування в якості теплоізоляційного матеріалу плит з базальтової мінераловати, товщиною $\delta_{із}$=100 мм, що забезпечить значення опору теплопередачі R=3,4 м²·К/Вт. Загальна площа поверхні, що підлягає утепленню, складає 2292,7 $м^2$.

Вартість реалізації заходу залежить від складності проекту та витрат матеріалів, що більш детально визначається на етапі робочого проектування

## 2.3 Впровадження системи енергетичного менеджменту

Запропоновано впровадити систему енергетичного менеджменту. Енергетичний менеджмент – це діяльність, спрямована на забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів, яка базується на отриманні енерготехнологічної інформації шляхом обліку, проведення типових енерготехнологічних вимірювань та перевірок, аналізі ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та впровадження енергозберігаючих заходів.

Основним інструментом скорочення енергоспоживання і підвищення ефективності використання енергії на підприємстві є енергетичний менеджмент.

Для досягнення головної мети енергоменеджменту необхідно вирішувати такі задачі:

а) складання цільної картини споживання енергоресурсів;

б) впровадження системи обліку і контролю за споживанням енергоресурсів;

в) проведення регулярного аналізу енергоспоживання;

г) обговорення складеного плану з керівництвом для узгодження загальних цілей;

д) впровадження запланованих заходів.

Головною метою запровадження системи енергетичного менеджменту взагалі і на об’єкті дослідження зокрема є забезпечення ефективних шляхів

реалізації стратегії енергозбереження. Для її виконання, перш за все, необхідно чітко усвідомити необхідність і доцільність цього кроку.

Якщо провести зміни всередині організації і розвиток потребує удосконалення в керуванні енерговикористанням, тоді необхідно:

- виділити найбільш важливі проблеми;
- оцінити якість і рівень підтримки;
- зосередитися на теперішньому стані і визначити майбутні кроки.

Перелік рекомендацій:

- комплектація персоналу;
- роз'яснювальні роботи;
- представити дані про можливі шляхи фінансування.

Впровадження системи енергетичного менеджменту є широко поширеною світовою практикою. Так у 2011 році Міжнародна організація зі стандартизації ввела в дію стандарт ISO 50001 Енергетичний менеджмент.

Стандарт призначений для забезпечення організацій, які вирішили зробити енергетичну ефективність частиною своєї системи управління.

Стандарт призначений для виконання наступних дій:

- надання допомоги підприємствам у організації більш ефективного використання існуючих енергоємних активів;

- створення прозорості у використанні енергоресурсів;

- сприяння впровадженню передових методів управління енергоресурсами та посилення ефективних навички управління енергоспоживанням;

- надання допомоги в оцінці об'єктів з точки зору енергетичної ефективності та визначення пріоритетності впровадження нових енергозберігаючих технологій;

- можливість інтеграції з іншими організаційними системами управління, такими як екологічний менеджмент та охорона праці.

ISO 50001 надає основи, які дозволяють організаціям:

- розробити політику в сфері енергозбереження;
- встановити цілі і завдання для досягнення мети політики в сфері енергозбереження;

- використати дані для кращого розуміння енергоспоживання та прийняття рішень з цих питань;
- вимірювати результати підвищення рівня енергоефективності;
- проводити аналіз ефективності впровадження політики в сфері енергозбереження;
- постійно поліпшувати роботу системи енергетичного менеджменту на підприємстві.

Сертифікація на відповідність вимогам стандарту ISO 50001 є значним кроком уперед на шляху до енергоефективного виробництва.

Підвищення рівня обізнаності персоналу з питань енерговикористання та енергозбереження може мати дуже позитивний результат. Виконання програми енергетичного менеджменту буде набагато ефективнішим, якщо керівництво зрозуміє комплексність енергоспоживання і зв'язок економії коштів з підвищенням енергоефективності. Координатори зможуть краще працювати, якщо будуть спроможні визначити пріоритет заходів з енергозбереження і знати про нові технології в галузі. кількість і якість пропозицій працівників щодо ефективного використання енергії значно підвищаться завдяки навчанню.

Звітування - це важливий етап в діяльності енергоменеджера, оскільки вимагає зведення всієї інформації та її аналізу, який інакше неможливо провести.

Порівнюючи дані енергоспоживання і випуску електричної та теплової енергії, можна визначити енергоємність продукції. Це дає можливість контролювати процес споживання енергії, своєчасно помічати перевищення встановленої межі і відображає ефективність застосування енергозберігаючих заходів у закладі.

Впровадження технічного моніторингу та менеджменту будівлі дозволяє визначати недоліки систем та забезпечити допомогу в їх діагностиці.

Звітування інформацією щодо енергоспоживання та зовнішніх параметрів, а також можливість зниження енергоспоживання, за рахунок правильного використання цих даних.

Основний інструмент системи енергомоніторингу – це діаграма «Енергія – Температура» (ЕТ). Кожна будівля має свою унікальну ЕТ-криву (лінія на діаграмі), яку можна установити для енергетичних розрахунків. ЕТ-діаграма праворуч включає ЕТ-криву і дані щотижневих вимірів енергоспоживання при відповідній середній тижневій зовнішній температурі.

ЕТ-крива показує, яке повинно бути споживання енергії (цільове значення) при різній зовнішній температурі. Якщо тижневе споживання відрізняється від цільового ніж на 10 %, то необхідно вживати заходів по виявленню причини відхилення та їх усунення.

## 2.4. Фізичне моделювання процесів теплообміну у ВОК в холодний період року

У даному підрозділі розглянемо процес стаціонарного теплообміну у вертикальних і горизонтальних прозорих та непрозорих огороджуючих конструкціях у холодний період року.

В холодний період року тепловий потік $Q_i$ направлений з приміщення на зовні. Тепловий потік нагріває внутрішню поверхню $p_1$ ВОК. Нагріта внутрішня поверхня в результаті конвективного теплообміну віддає тепло повітрю, яке рухається біля неї. Вона також випромінює тепло до поверхні $p_2$ $(Q_1)$. Оскільки у ВОК рухається зовнішнє повітря, яке має нижчу температуру порівняно з температурами поверхонь, то воно буде нагріватися і біля внутрішньої і біля зовнішньої поверхні. Таким чином теплове випромінювання, яке надходить до зовнішньої поверхні, частково використовується на нагрівання повітря у каналі, і частково виходить до зовнішнього середовища $Q_e$. Фізична модель процесу теплообміну в горизонтальній конструкції показана на рис. 2.5.

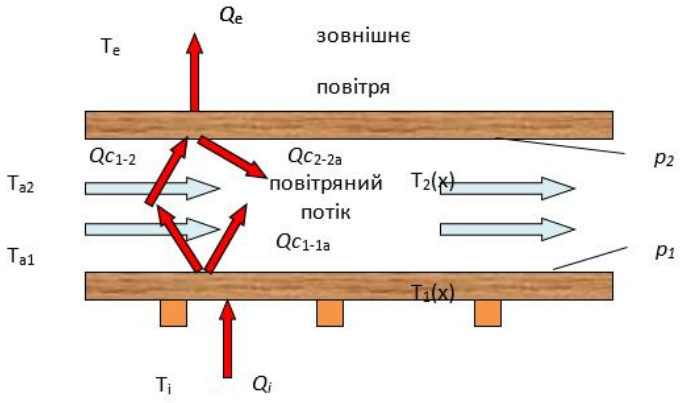



Рисунок 2.5 - Схема розподілу потоку тепла у горизонтальному ВОК

Зауважимо, що процеси, які розглядаються в моделі вважаємо стаціонарними.

2.5. Рівняння, що характеризує нагрів повітря біля поверхні ВОК

Розглянемо процес нагрівання повітря поблизу поверхні. Біля обох поверхонь відбувається конвективний теплообмін з повітрям. Кількість тепла можна визначити за допомогою рівняння Ньютона. Якщо виділити по довжині повітряного прошарку елементарний об'єм довжиною $dx$ (див. рис. 2.3), то для елементарного об´єму повітря шириною 1 м рівняння Ньютона буде:

біля поверхні $p_1$

$$Q_{c_{1-a1}} = hc_1(T_1(x) - Ta_1(x))dx \qquad (2.1)$$

біля поверхні $p_2$

$$Q_{c_{2-a2}} = hc_2(T_2(x) - Ta_2(x))dx \qquad (2.2)$$

де $hc_1, hc_2$ – коефіцієнти конвективного теплообміну відповідно біля поверхні $p_1$ і поверхні $p_2$, (Вт/м$^2$К);

$Ta_1(x), Ta_2(x)$ – температура повітря поблизу поверхні $p_1$ та $p_2$, $^0$С;

$T_1(x), T_2(x)$ – температури поверхонь $p_1$та $p_2$, $^0$С.

В рівняннях (2.1) та (2.2) маємо по дві невідомі функції, функцію зміни температури поверхонь $p_1$ і $p_2$ в залежності від змінної $x$, та функцію зміни температури повітря поблизу цих поверхонь рис. 2.6.

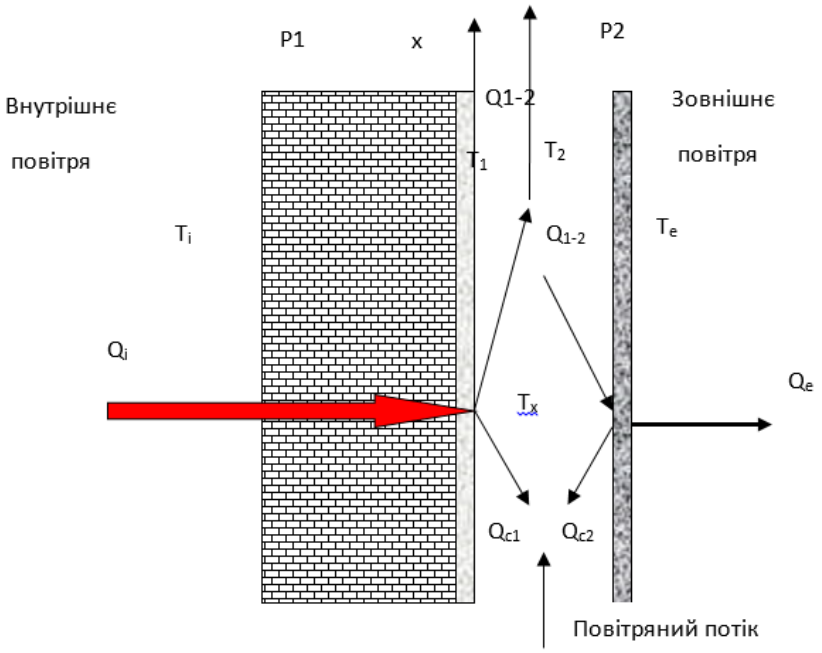



Рисунок 2.6 - Схема розподілу теплового потоку у вертикальній ВОК

Оскільки тепловий потік конвекцією витрачається на нагрівання повітря запишемо рівняння балансу повітря:

що рухається поблизу поверхні $p_1$

$$hc_1\,(T_1(x) - Ta_1(x))dx = cG_{\square}dTa_1, \qquad (2.3)$$

поблизу поверхні $p_2$

$$hc_2\,(T_2(x) - Ta_2(x))dx = cG_{\square}dTa_2, \qquad (2.4)$$

де $dTa_1$, $dTa_2$ – зміна температури повітря на елементарній відстані $dx$ відповідно поблизу поверхні $p_1$ і $p_2$, $^0$C;

$G_{\square}$– витрата повітря поблизу поверхні, м$^3$/год;

$c$ – теплоємність повітря, кДж/(кг·К).

Розглянемо рівняння (2.3), що характеризує тепловий баланс повітря біля поверхні $p_1$. Для інтегрування цього рівняння припустимо, що коефіцієнт конвекції і температура поверхні не залежить від $x$. Тоді після розділення змінних отримаємо

$$\frac{hc_1}{cG}dx = \frac{1}{(T_1 - Ta_1(x))}dTa_1 \qquad (2.5)$$

Позначимо вираз $\frac{hc_1}{cG} = A = const$, а вираз $T_1 - Ta_1(x) = \theta$. Тоді маємо $d\theta = d\big(T_1(x) - Ta_1(x)\big)$, звідки $d\theta = -dTa_1(x)$. Враховуючи *A, θ, dθ* з рівняння (2.5) отримаємо

$$Adx = -\frac{1}{\theta}d\theta \qquad (2.6)$$

Проінтегруємо (2.6) в межах від *0* до $x$ і від $\theta_0$=$T_1 - T_e$ до $\theta_x = T_1 - Ta_1(x)$

$$A\int_0^x dx = -\int_{\theta_0}^{\theta}\frac{1}{\theta}d\theta,$$

$$-Ax = ln\theta_x - ln\theta_0$$

$$-Ax = ln\frac{\theta_x}{\theta_0}.$$

Підставляючи зазначені рівняння отримаємо

$$-\frac{hc_1}{cG}x = ln\frac{T_1 - Ta_1(x)}{T_1 - T_e} \qquad (2.7)$$

Після відповідних математичних перетворень одержимо кінцеве рівняння, що характеризує зміну температури повітря при його русі біля поверхні $p_1$:

$$Ta_1(x) = T_1 - \frac{T_1 - T_e}{e^{\frac{hc_1}{cG}x}} \qquad (2.8)$$

Аналогічно проінтегруємо рівняння (2.4), що характеризує тепловий баланс повітря, яке рухається поблизу поверхні $p_2$. Після інтегрування рівняння (2.4) отримаємо

$$Ta_2(x) = T_2 - \frac{T_2 - T_e}{e^{\frac{hc_2}{cG}x}} \qquad (2.9)$$

Для використання рівняння (2.8) необхідно знати температуру поверхні $p_1$. Аналогічно для рівняння (2.9) маємо знати температуру поверхні $p_2$.

## 2.6. Математична модель процесу теплообміну у ВОК в холодний період

При формулюванні математичної моделі використовуємо рівняння теплового балансу повітря (2.3), (2.4) і вважаємо, що температура поверхні $p_1$ та $p_2$ залежить від змінної *x*. Запишемо рівняння теплового балансу для кожної поверхні на підставі фізичної моделі (рис. 2.6 та рис. 2.7):

рівняння теплового балансу поверхні $p_1$

$$Q_i = Q_{1-2} + Q_{c_1-a_1} \qquad (2.10)$$

рівняння теплового балансу поверхні $p_2$

$$Q_{1-2} = Q_{c_2-a_2} + Q_e \qquad (2.11)$$

Тепловий потік $Q_i$ до внутрішньої поверхні

$$Q_i = k_1(T_i - T_1(x))dx \qquad (2.12)$$

Тепловий потік $Q_e$ від поверхні $p_2$ до зовнішнього повітря:

$$Q_e = k_2(T_2(x) - T_e)dx \qquad (2.13)$$

В рівняннях (2.12), (2.13) $k_1$,$k_2$ – коефіцієнти теплопередачі від внутрішнього повітря приміщення до поверхні $p_1$ і від поверхні $p_2$ до зовнішньої поверхні фасаду (зовнішньої стіни будинку**),** Вт/(м$^2$·°К);

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1}+\sum_{i=1}^{n}\frac{\delta_i}{\lambda_i}}; \quad k_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e}+\sum_{e=1}^{n}\frac{\delta_e}{\lambda_e}}, \qquad (2.13а)$$

де $\alpha_i$, $\alpha_e$ – коефіцієнти тепловіддачі, Вт/(м$^2$*К);

$\sum_{i=1}^{n}\frac{\delta_i}{\lambda_i}$; $\sum_{i=1}^{n}\frac{\delta_e}{\lambda_e}$ – сума теплових опорів для внутрішньої та зовнішньої частин огороджуючих конструкцій, м$^2$·°К/Вт**.**

Тепловий потік випромінюванням між поверхнями можна записати за допомогою рівняння Стефана-Больцмана

$$Q_{1-2} = \varphi_{1-2}\varepsilon_{1-2}c_0\left[\left(\frac{T_1(x)+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2(x)+273}{100}\right)^4\right]dx, \quad (2.14)$$

де $c_0$ – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, $c_0 = 5{,}67$ Вт/м$^2$К$^4$;

$\varphi_{1-2}$ – коефіцієнт конфігурації;

$\varepsilon_{1-2}$ – коефіцієнт поглинання.

Для поверхонь $p_1$ і $p_2$ $\varepsilon_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1}+\frac{1}{\varepsilon_2}-1}$;

Коефіцієнт $\varphi_{1-2} = 1$ [71,74], тобто тепловий потік випромінюванням від більш нагрітої поверхні до менш нагрітої поверхні передається тільки в протилежні поверхні.

З урахуванням рівнянь (2.10) та (2.11), а також (2.1) –(2.4) отримаємо:

рівняння теплового балансу поверхні $p_1$

$$k_1(T_i - T_1(x))dx = \varepsilon_{1-2}c_0\left[\left(\frac{T_1(x)+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2(x)+273}{100}\right)^4\right]dx +$$

$$+hc_1(T_1(x) - Ta_1(x))dx, \qquad (2.15)$$

рівняння теплового балансу поверхні $p_2$

$$\varepsilon_{1-2}c_0\left[\left(\frac{T_1(x)+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2(x)+273}{100}\right)^4\right]dx =$$

$$= hc_2(T_2(x) - Ta_2(x))dx + k_2(T_2(x) - T_e)dx\,. \qquad (2.16)$$

Третім рівнянням, що доповнює рівняння теплових балансів, є рівняння руху повітря у каналі ВОК. Воно представляє собою баланс сумарних втрат тиску і загального тиску.

У випадку вертикальної огороджуючої конструкції загальний тиск дорівнює сумі гравітаційного тиску і тиску вітру

$$\left(\sum\zeta + \lambda_f\frac{h}{D_h}\right)\frac{v_m^2}{2}\rho_m = (n_1 - n_2)\frac{v_w^2}{2}\rho_e + Hg\left(\rho_e - \rho_m\right). \quad (2.17)$$

Для горизонтальної конструкції

$$\left(\sum\zeta + \lambda_f\frac{h}{D_h}\right)\frac{v_m^2}{2}\rho_m = (n_1 - n_2)\frac{v_w^2}{2}\rho_e\,. \qquad (2.18)$$

В рівняннях (2.17) та (2.18) прийняті наступні позначення

$\sum\zeta$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів;

$\lambda_f$ – коефіцієнт опору ($\lambda_f = f(Re)$);

$h$ – товщина повітряного шару, м;

$H$ – відстань між отворами для входу та виходу повітря, м;

$D_h$ – середня ширина повітряного шару, м;

$v_w$ – швидкість повітря, м/с;

$\rho_m$ – середня густина повітря у ВОК, кг/м$^3$;

$\rho_e$ – густина зовнішнього повітря, кг/м$^3$;

$g$ – прискорення, м/с;

$n_1, n_2$ – аеродинамічні коефіцієнти на вході і на виході каналу;

$v_m$ – середня швидкість повітря, м/с.

Якщо вхідний і вихідний отвори для повітря за розмірами відрізняються від перетину повітряного каналу, то місцеві втрати тиску в отворах необхідно віднести до швидкості в отворі $v_0$. в такому разі до лівої частини рівнянь (2.17) та (2.18) додано місцеві втрати тиску в отворах

$$P_{otv} = \sum \zeta_0 \frac{v_0^2}{2} \rho_0,$$

де $\sum \zeta_0$ – сума втрат тиску в отворах;

$v_0$ -швидкість повітря в отворі.

Математична модель процесу теплообміну у ВОК для холодного періоду в загальному вигляді:

$$\begin{cases} k_1(T_i - T_1(x))dx = \varepsilon_{1-2} c_0 \left[ \left( \frac{T_1(x)+273}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2(x)+273}{100} \right)^4 \right] dx + \\ +hc_1(T_1(x) - Ta_1(x))dx, \\ \varepsilon_{1-2} c_0 \left[ \left( \frac{T_1(x)+273}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2(x)+273}{100} \right)^4 \right] dx = \\ = hc_2(T_2(x) - Ta_2(x))dx + k_2(T_2(x) - T_e)dx, \\ hc_1(T_1(x) - Ta_1(x))dx = cG_1 dTa_1, \\ hc_2(T_2(x) - Ta_2(x))dx = cG_2 dTa_2, \\ \left( \sum \zeta + \lambda_f \frac{h}{D_h} \right) \frac{v_m^2}{2} \rho_m = (n_1 - n_2) \frac{v_w^2}{2} \rho_e + Hg(\rho_e - \rho_m) \end{cases}$$

Модель має чотири невідомі функції $T_1(x)$, $T_2(x), Ta_1(x), Ta_2(x)$. Окрім того невідомим параметром є швидкість руху повітря в каналі. Таким чином кількість рівнянь відповідає кількості невідомих. Для спрощення розв´язання рівнянь моделі приймаємо наступні припущення:

температура поверхні не залежить від змінної *x*;

коефіцієнти теплообміну не змінюються по довжині повітряного каналу.

При формулюванні математичної моделі також приймаємо, що потік повітря *G*, що рухається в просторі ВОК умовно поділений на два потоки: перший рухається поблизу внутрішньої поверхні $G_1$, а другий потік повітря рухається поблизу зовнішньої поверхні $G_2$ ($G_1=G_2=G/2$).

$$\begin{cases} k_1(T_i - T_1(x))dx = \varepsilon_{1-2}c_0\left[\left(\frac{T_1(x)+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2(x)+273}{100}\right)^4\right]dx + \\ +hc_1(T_1(x) - Ta_1(x))dx, \\ \varepsilon_{1-2}c_0\left[\left(\frac{T_1(x)+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2(x)+273}{100}\right)^4\right]dx = \\ = hc_2(T_2(x) - Ta_2(x))dx + k_2(T_2(x) - T_e)dx, \\ Ta_1(x) = T_1 - \frac{T_1 - T_e}{e^{\frac{hc_1}{cG}x}}, \\ Ta_2(x) = T_2 - \frac{T_2 - T_e}{e^{\frac{hc_2}{cG}x}}, \\ \left(\sum \zeta + \lambda_f \frac{h}{D_h}\right)\frac{v_m^2}{2}\rho_m = (n_1 - n_2)\frac{v_w^2}{2}\rho_e + Hg(\rho_e - \rho_m). \end{cases}$$

Аналогічну математичну модель можна записати для горизонтальної конструкції ВОК. Тепловий потік випромінюванням можна оцінити за допомогою [74,75].

## 2.7. Алгоритм розв’язання рівнянь математичної моделі

Алгоритм розрахунку базується на методі ітерацій і складається з наступних етапів розрахунку:

1) приймається значення швидкості руху повітря у ВОК та середня густина повітря (густину повітря можна прийняти трохи меншою за густину зовнішнього повітря;

2) розрахунок коефіцієнтів теплообміну;

3) розрахунок температури поверхні і повітря поблизу поверхні на різних відрізках по координаті *x*;

4) використовуючи отримані значення температур визначити середнє значення температури повітря в каналі, коефіцієнт Дарсі і середню температуру повітря;

5) визначити втрати тиску в каналі і кінцевий тиск;

6) порівняти значення тиску з втратами тиску;

7) якщо місцеві втрати тиску більші ніж напір повітря, то необхідно зменшити значення вихідної швидкості руху повітря, а якщо навпаки, то збільшити значення швидкості;

8) повторити виконання пунктів 2) – 8) поки не буде досягнуто балансу тиску.

## 2.8. Розв'язання рівнянь математичної моделі

Розглянемо повітряний шар в якому розмір прошарків буде впливати на кількість розрахунків. У разі застосування методу кінцевих різниць система рівнянь (2.19) має наступний вигляд

$$\begin{cases} k_1(T_i - T_1(x))dx = \varepsilon_{1-2}c_0\left[\left(\frac{T_1(x)+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2(x)+273}{100}\right)^4\right]dx + \\ +hc_1(T_1(x) - Ta_1(x))dx, \\ \varepsilon_{1-2}c_0\left[\left(\frac{T_1(x)+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2(x)+273}{100}\right)^4\right]dx = \\ = hc_2(T_2(x) - Ta_2(x))dx + k_2(T_2(x) - T_e)dx, \\ hc_1(T_1(x) - Ta_1(x))dx = cG_1dTa_1, \\ hc_2(T_2(x) - Ta_2(x))dx = cG_2dTa_2, \\ Ta_{1e} - 2Ta_1 = Ta_{1s}, \\ Ta_{2e} - 2Ta_2 = Ta_{2s}, \\ \left(\sum\zeta + \lambda_f\frac{h}{D_h}\right)\frac{v_m^2}{2}\rho_m = (n_1 - n_2)\frac{v_w^2}{2}\rho_e + Hg(\rho_e - \rho_m). \end{cases}$$

де $T_1, T_2$ – середня температура внутрішньої поверхні $p_1$ та зовнішньої поверхні $p_2$ на відрізку $\Delta x$ див. рис.2.3, $^0$C;

$Ta_1, Ta_2$ – середні температури повітря поблизу внутрішньої та зовнішньої поверхні на відрізку $\Delta x$, $^0$C;

$Ta_{1s}, Ta_{2s}$ – температури повітря поблизу внутрішньої та зовнішньої поверхні на початку відрізку $\Delta x$, $^0$C;

$Ta_{1e}, Ta_{2e}$ – температури повітря поблизу внутрішньої та зовнішньої поверхні наприкінці відрізку $\Delta x$, $^0$C.

Розрахунки виконуються для кожного відрізка від першого у напрямку руху повітря за допомогою програми MachCAD за наведеним вище алгоритмом.

значення швидкості та густини повітря завдаються для кожного відрізку від першого до останього. Температура повітря наприкінці відрізка одночасно є початковою для наступного відрізка. Результати розрахунку наведено в табл. 2.13.

Таблиця 2.13 - Результати теплових розрахунків ВОК

| Довжина відрізку $\Delta x$, *м* | Середня температура повітря поблизу поверхні $p_1$ на відрізку $\Delta x$, $Ta_{1e}$ [$^0$C] | Середня температура повітря поблизу поверхні $p_2$ на відрізку $\Delta x$, $Ta_{2e}$ [$^0$C] | Конвективний потік тепла від поверхні $p_1$ на відрізку $\Delta x$ до повітря, $Qc_1$, [Вт] | Конвективний потік тепла від поверхні $p_2$ на відрізку $\Delta x$ до повітря, $Qc_2$, [Вт] |
|---|---|---|---|---|
| 0-0,5 | -14,54 | -14,98 | 2,48 | 0,128 |
| 0,5-1 | -14,11 | -14,95 | 2,31 | 0,123 |
| 1-1,5 | -13,71 | -14,93 | 2,15 | 0,119 |
| 1,5-2 | -13,34 | -14,91 | 2,00 | 0,114 |
| 2-2,5 | -13,00 | -14,89 | 1,86 | 0,108 |
| 2,5-3 | -12,68 | -14,87 | 1,73 | 0,103 |
| 3-3,5 | -12,38 | -14,85 | 1,61 | 0,097 |
| 3,5-4 | -12,10 | -14,84 | 1,50 | 0,092 |
| 4-4,5 | -11,84 | -14,82 | 1,39 | 0,087 |
| 4,5-5 | -11,60 | -14,80 | 1,29 | 0,081 |
| 5-5,5 | -11,38 | -14,79 | 1,20 | 0,077 |
| 5,5-6 | -11,17 | -14,78 | 1,12 | 0,072 |
| 6-6,5 | -10,98 | -14,76 | 1,04 | 0,067 |
| 6,5-7 | -10,80 | -14,75 | 0,97 | 0,063 |
| 7-7,5 | -10,64 | -14,74 | 0,9 | 0,059 |
| 7,5-8 | -10,48 | -14,73 | 0,84 | 0,055 |
| 8-8,5 | -10,34 | -14,72 | 0,78 | 0,051 |

Швидкість руху повітря у каналі $v_m = 0{,}132$ м/с, густина повітря $\rho_m = 1{,}358$ кг/м$^3$. Середня температура повітря по довжині каналу $T_m = -13{,}665$ $^0$C. Кількість тепла, що витрачається на нагрів повітря дорівнює сумі конвективних теплових потоків від поверхонь $Q_a = \sum Qc_1 + \sum Qc_2 = 27{,}18 + 1{,}631 = 28{,}811$, Вт на 1 м$^2$ поверхні (середнє значення для поверхні ВОК).

З іншого боку кількість тепла також можемо визначити з наступного рівняння

$$Q_a = cG\Delta T = cG(Ta_{x=10} - T_e) = \left(\frac{cG(Ta_1 + Ta_2)}{2} - T_e\right) =$$

$$= 1005\ 0.0107\left(\frac{-9.96 - 14.70}{2} - (-15)\right) = 28.712 \text{ Вт.}$$

Як видно тепловий баланс виконується з похибкою 0,3%. З цього випливає те, що при інтегруванні рівнянь прийняте припущення про ізотермічність повітря не вносить суттєвої похибки в результати розрахунків.

# 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІЧНА БЕЗПЕКА

Для запобігання аварій та нещасних випадків, пов’язаних з експлуатацією устаткування, потрібне систематичне проведення комплексних заходів технічного і організаційного характеру.

## 3.1 Основні шкідливі і небезпечні фактори при експлуатації чиллерів

У системі чиллерів знаходиться теплообмінник, який слугує для передачі теплоти від одного теплоносія к іншому. Сучасні кожухотрубні теплообмінники, оснащені трубками, профільованими таким чином, щоб зростання гідравлічного опору ненабагато перевищувало зростання тепловіддачі внаслідок застосування турбулізаторів потоку. Це досягається накаткою на зовнішній поверхні труби кільцевих або гвинтоподібних канавок, внаслідок утворення яких на внутрішній поверхні труби утворюються плавно окреслені виступи невеликої висоти, інтенсифікують тепловіддачу в трубах.

Серйозною проблемою є корозія теплообмінників, яка забруднює водопровідну воду, що користуються споживачі та може нанести непоправну шкоду організму людини. Для захисту від корозії застосовується газотермічне напилення трубних дощок, труб пароперегрівачів. Це відноситься тільки до кожухотрубних теплообмінників, виготовлених з вуглецевої сталі.

Електрокотел, який працює під напругою 250-380 В є резервним джерелом у системі. Єлектричний струм та напруга під якою він знаходиться можуть служити небезпечним та шкідливим фактором для життя людини. Тому для попередження шкоди організму людини треба дотримуватись правил користування електричним устаткуванням.

У випарнику ТН циркулює хладогент (фреон) R12. Це безбарвний газ без запаху. Застосовується в холодильних установках і агрегатах промислового і побутового призначення та промислових кондиціонерах. Також використовується як газовий діелектрик, пропілент (в суміші з фтортріхлорметаном), пароутворювач при отриманні пінопластів, розчинник, середа для хімічних процесів, реагент для

хімічних синтезів, індикатор витоків при перевірці герметичності обладнання. Клас небезпеки 4. При зіткненні з полум'ям і гарячими поверхнями розкладається з утворенням високотоксичних продуктів. Негорючий газ. Флегматизує горіння вуглеводнів. Мінімальна горюча об'ємна концентрація при горінні вуглеводнів в повітрі 14.9%. Термічне розкладання при часі контакту 1-10с починається: в трубі зі сталі 12Х18Н10Т при 520 ° С, з нікелю Н-1 при 580 ° С; при часі контакту 4доби в присутності сталі, міді і масла ХФ12-18 при 120 ° С.

Не дивлячись на ефективну теплоізоляцію бака-акумулятора, трубопроводів гарячої води в приміщенні виділяється тепло ( >23 Вт/м$^3$), що створює в теплий період роки в залі котельні підвищену температуру до (28÷30 $^0$С), що заважає віддачі тепла людським тілом при фізичній роботі в даному приміщенні.

## 3.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів

Щоб уникнути виникнення аварійної ситуації при роботі, систему сонячних колекторів та гарячого водопостачання оснащують приладами контролю, захисту, сигналізації і блокувань. Для запобігання витоку фреону R12 через зварні і болтові з'єднання і запірну арматуру газопровід в зборі проходить випробування на відповідність вимогам правил безпеки в газовому господарстві України.

Трубопроводи гарячої води підлягають гідравлічним випробуванням в зібраному вигляді під тиском $1{,}25P_{рабоч.} = 1{,}25 \cdot 0{,}7 = 0{,}87$ МПа.

Шум, що створюється при роботі бака-акумулятората і допоміжного устаткування електрокотла , класифікується:

- за характером спектру – широкосмуговий, тобто що має безперервний спектр шириною більше 1 октави;

- за тимчасовими характеристиками – постійний.

Гранично - допустимий рівень шуму при обслуговуванні обладнання складає 80 дБА.

Для захисту персоналу від поразки електричним струмом в мережі трифазної напруги застосовується захисне заземлення, опір якого не більше 4 Ом.

Всі струмоведучі частини і дроти ізольовані. Опір ізоляції на ділянці не менше 500 кОм. Ізоляція устаткування (нового або встановленого після ремонту) перевіряється перед пуском. Приймається захисне блокування, тобто відключення електроланцюга при аварійній ситуації з повним часом спрацьовування 0,2 секунди.

Для зменшення дії надмірних тепловиділень на людей, що працюють в котельному залі, особливо в теплу пору року, в приміщенні котельні застосовується загальнообмінна механічна припливна вентиляція по схемі «знизу-вгору», продуктивністю 7 об'ємів на годину.

## 3.3 Електробезпека

Як засоби індивідуального захисту від поразки електричним струмом в електромережах з напругою до 1000 В використовують: діелектричні рукавички, інструмент з ізольованими рукоятками, покажчики напруги, діелектричні калоші, гумові килимки, ізольовані підставки. Для захисту людини від поразки електричним струмом використовують захисне заземлення. Котельна відноситься до 1 категорії по надійності електропостачання.Обладнання , яке може бути небезпечним для життя людини при неправильному його використанні - це електрокотел, що є резервним джерелом для підігріву води у ГВП, підпиточний, циркуляційний насос, який прокачує рідину по системі.Також небезпечним джерелом можуть бути металеві труби, що з’єднують систему СК, які знаходяться на даху будинку.

Захист устаткування від короткого замикання здійснюється за допомогою автоматів, а від перенавантаження – тепловими реле. Система зовнішнього і внутрішнього освітлення живиться від внутрішніх мереж електропостачання.

По ступеню небезпеки поразки людей електричним струмом технічне приміщення, де встановлений електрокотел, відноситься до приміщень з підвищеною небезпечністю.

Воно характеризується наявністю в ньому умов, що створюють підвищену небезпеку: можливість одночасного дотику людини до металоконструкцій, що мають з'єднання із землею, технологічних апаратів, механізмів, з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування – з іншого.

Безпека електроустаткування забезпечується:

- ізоляцією струмоведучих частин і їх закриттям;

- блокуванням апаратів для запобігання помилкових операцій за допомогою автоматичних вимикачів АЕ 2000, заземленням корпусів електрообладнання і елементів установок, які можуть знаходитися під напругою.

Всі металеві частини електрообладнання, що не знаходяться під напругою, приєднуються до заземлюючого контуру. Як внутрішній контур заземлення використовуються металеві майданчики і сходи. Заземлення електроприймачів виконується сталевими трубами електропроводки, опір заземляючого пристрою не повинен перевищувати 4 Ом. На проводах комутаційних апаратів повинні бути чітко вказані положення «включено» і «відключено».

Спеціаліст, який обслуговує електроустановки, повинен мати кваліфікаційну групу не нижче 3-ої.

Йому слід чітко пам'ятати, що після зникнення напруги з обслуговуваної ними електроустановки, воно може бути подане знов без попередження, як в умовах нормальної експлуатації, так і в аварійних умовах. На місці роботи повинні бути відключені струмоведучі частини, на яких проводяться роботи, а також і ті, які можуть бути доступні дотику при виконанні роботи. Доступні дотику струмоведучі частини можна не відключати лише в тому випадку, якщо вони будуть захищені ізолюючими накладками. Відключення повинне проводитися так, щоб виділені для виконання роботи частини електроустановки були з усіх боків відокремлені від струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, комутаційними апаратами або зняттям запобіжників. З фасадного і заднього боку щита шафи станції управління і шафи сигналізації повинні бути діелектричні гумові доріжки. Забороняється застосовувати невипробувані захисні засоби, термін чергового випробування яких закінчився.

На електроприводах, що мають автоматичне або дистанційне включення, повинен бути напис «Увага – включається автоматично!», «Увага – включається дистанційно!».

## 3.4 Виробнича санітарія

Гігієнічні вимоги до виробничого освітлення, засновані на психофізичних особливостях сприйняття світла і його впливу на організм людини, можуть міститися в наступному:

- спектральний склад світла, яке створене штучно повинен наближатися до сонячного;

- рівень освітленості повинен бути достатнім і відповідати гігієнічним нормам, які враховують умови зорової роботи;

- повинні бути забезпечені рівномірність і стійкість рівня освітленості в приміщенні, щоб запобігти частій переадаптації і втоми очей.

Природне освітлення в цеху здійснюється через віконні отвори. У світлий час доби одночасно використовують природне і штучне світло, таким чином, в приміщенні передбачають поєднане освітлення.

Види електроосвітлення:

- у приміщеннях розподільних пристроїв і ГВП – робоче і переносне;

- на майданчиках обслуговування електрокотла – робоче, переносне;

Напруга мережі освітлення ~ 220 В, переносного ~ 12 В ~ 36 В.

Освітленість робочих поверхонь при штучному освітленні складає 200 лк. Як джерела світла при штучному освітленні використані наступні світильники:

- з лампами розжарювання марок Б 215-225-100, НСП11×100-23443;

- з люмінесцентними лампами марок ПСПО2-2×40 и ЛБ- 40-1.

Передбачено аварійне освітлення, яке включається у разі аварії і живиться від автономної електростанції потужністю 4 кВт. Під час обслуговування обладнання, яке знаходиться в окремому приміщенні, необхідно пильно слідкувати за дотриманням технологічних параметрів роботи установки. Розряд

зорової роботи для цих умов приймаємо 4. Нормоване значення коефіцієнта природної освітленості з урахуванням характеру зорової роботи і світлового клімату в районі розташування будівлі визначається по формулі %

$$E_н = e \cdot m \cdot c = 1 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}95 = 0{,}855 \approx 0{,}9\%,$$

де e – коефіцієнт природної освітленості (к.е.о.), e=1%;

m – коефіцієнт світлового клімату (без урахування прямого сонячного світла), визначається залежно від району розташування будівлі,m=0,9;

c – коефіцієнт сонячності клімату (з урахуванням прямого сонячного світла), С=0,95.

Роботи, що проводяться обслуговуючим персоналом в окремому приміщенні по енерговитратам можна віднести до другої категорії робіт, тобто фізична робота середньої тяжкості – пов'язана з ходьбою, така, що не вимагає перенесення тяжкості, або перенесенням невеликої тяжкості (до10кг).

У приміщеннях з надлишками явного тепла температура повітря допускається не більше ніж на 3 $^0$С вище за середню зовнішню температуру найжаркішого місяця, але не більше 28 $^0$С.

За допомогою вентиляції усувається шкідлива дія надмірного тепла на організм людини. Застосовується змішана (природна і механічна) загальнообмінна припливна вентиляція.

## 3.5 Засоби індивідуального захисту

Засоби захисту для інженерного технічного персоналу і робочих, що займаються експлуатацією і ремонтом тепловикористовуючих установок і теплових мереж наступні:

- захисні окуляри типу ЗП (закриті захисні окуляри з прямою вентиляцією), брезентові рукавиці типу Ми, Мп, Тп 100, протигази промислові, запобіжні пояси, страхуючі канати;

- тимчасові огорожі, попереджувальні плакати;

- гумові діелектричні рукавички (ТУ 38-10659-79), боти (ГОСТ 12.4.065-79), калоші, килимки, що ізолюють підставки.

Захисні засоби, що знаходяться в експлуатації і в запасі, зберігаються в умовах, що забезпечують їх справність і придатність до використання без попереднього відновного ремонту, тому захисні засоби повинні бути захищені від зволоження, забруднення і механічних пошкоджень.

## 3.6 Заходи щодо пожежної безпеки

Технічне приміщення, де встановлений електрокотел, відноситься до категорії Г – непожежобезпечне. Причиною пожежі можуть бути недоліки в будівельних конструкціях, плануванні комунікацій і приміщень; дефекти обладнання; порушення режимів технологічних процесів; неправильне проведення роботи; необережність і недбалість персоналу.

Комплекс протипожежних заходів включає:

- обмеження розповсюдження вогню при виникненні пожежі;
- попередження виникнення пожеж;
- евакуація людей з будівлі, що горить;
- забезпечення умов для швидкого гасіння пожеж.

У разі потреби евакуації людей з будівлі, що горить, передбачено 2 евакуаційних виходи. У разі виникнення пожежі для зовнішнього пожежогасіння використовується пожежний гідрант, а для внутрішнього – вогнегасники. В окремому приміщенні,де встановлений електрокотел, є один щит в комплексі з: пожежним рукавом, багрою, відром і вогнегасником типу ОУ-5. В операторській технічного приміщення є один вогнегасник типу ОПС-10 і один типу ОУ-5. Крім того, є по одному вогнегаснику типу ОУ-5 в кабінеті начальника технічного приміщення. Вогнегасники типу ОУ-5 застосовуються при гасінні електроустаткування під напругою; ОПС-10 – у будь-якому випадку.

Також у технічному приміщенні існує система пожежної сигналізації і автоматики. Для пожежної сигналізації використовують теплові датчики.

Умови, що сприяють виникненню пожежонебезпечних ситуацій на об'єкті.

Завдання працівників охорони щодо їх профілактики.

1. Причини пожеж:

а) наявність у запобіжних пристроях електричних установок завищеного перетину;

б) експлуатація електричних нагрівальних приладів, встановлених поблизу горючих матеріалів.

Застосування електричних нагрівальних приладів заборонено: у складських приміщеннях; у невстановлених місцях.

2. Куріння, розпалювання вогнищ, спалювання сміття і відходів виробництва:

а) спалювання сміття, сухої трави, відходів виробництва на території бази відпочинку та у виробничих приміщеннях не дозволяється.

Їх слід вивозити в певні місця утилізації.

Куріння заборонено (крім відведених місць) на території бази відпочинку та у виробничих приміщеннях.

При курінні в кабінетах і службових приміщеннях для збору недопалків необхідно мати попільнички або урни з негорючих матеріалів.

Застосування паяльних ламп і смолоскипів для відігрівання замерзлих трубопроводів в пожежонебезпечних приміщеннях і в будівлях зі спалимими конструкціями, в період знижених температур не дозволяється.Зварювальні і газорізальні роботи в пожежонебезпечних місцях повинні проводитися після очищення робочих місць від горючих матеріалів у радіусі 5 метрів від зварювання; наявність первинних засобів пожежогасіння та наряду - допуску встановленого зразка. Після закінчення робіт за місцем їх ведення має бути встановлено спостереження.

Пожежна сигналізація буває автономного характеру або з виводом на пункт центрального спостереження. Як правило, датчики виявлення загорянь реагують на

підвищення температури в захищеному приміщенні. При спрацьовуванні датчика звуко-світлове табло видає звукові або світлові сигнали. Почувши сигнал, потрібно з'ясувати причину його появи. Якщо він з'явився в результаті спалаху, то необхідно підняти тривогу, зателефонувати в пожежну охорону по телефону 101 і начальнику охорони. До прибуття пожежних підрозділів необхідно стримувати розвиток пожежі наявними засобами пожежогасіння - вогнегасниками, піском, відрами з водою та ін.

Будівля окремого технічного приміщення має захист від блискавки.

Дипломним проектом передбачено автоматичне відключення всіх систем при виникненні пожежі.

Витрата води на внутрішнє пожежегасіння прийнята два струмені по 2,5 л/с кожна.

Біля кожного пожежного щита слід встановити ящик з піском ємкістю не менше 0,5 м$^3$.

## 3.7 Розрахунок захисного занулення

Людина доторкнулася до фазного проводу трифазної мережі 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю

Треба визначити струм $I_h$, який проходить через людину.

Вихідні дані

Дано: $r_o = 4$ [Ом]

$R_h = 1000$ [Ом]

$r_{зм.} = 50$ [Ом]

Розрахунок струму,що проходить через людину

Струм $I_h$, мА, який проходить через людину визначаємо по формулі

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r_o} = \frac{220}{1000 + 4} = 220$$

Струм, що проходить через людину, доторкується до фази трифазної мережі з глухозаземленою нейтраллю в період нормальної її роботи, практично не змінюється зі зміною опору ізоляції та ємності проводів відносно землі, якщо зберігається умова, що повні провідності проводів відносно землі дуже малі в порівнянні з провідністю заземлення нейтралі.

При аварійному режимі, струм, що проходить через людину визначаємо за формулою

$$I_h = 220 \cdot \frac{50 + 4\sqrt{3}}{50 \cdot 4 + 1000 \cdot (50 + 4)} = 232$$

При опорі землі, який дорівнює 50 Ом, струм буде дорівнює 232 мА. При цьому опорі, струм, що проходить через людину, перевищує допустиме значення 100 мА і є смертельним.

Дотик людини до справного фазного проводу мережі з глухозаземленою нейтраллю в аварійний період більш небезпечно, ніж при нормальному режимі.

Щорічно в багатьох країнах збитки від попадання блискавки у будівлі і споруди становить сотні мільйонів євро. Тільки високопрофесійній монтаж систем блискавкозахистом у відповідності з усіма технічними нормами зможе забезпечити повну надійність і безпеку. Основним завдання систем блискавкозахисту є уловлювання всіх потрапляючих у будівлю блискавок. Роботу цієї системи можна розділити на три основні етапи: уловлювання блискавки в місці попадання, токовідведення у грунт і заземлення. При цьому дуже важливим є уникнення теплових механічніх або електричних побічніх ефектів, тому що це може привести до пошкоджень конструкції об'єкта, що захищається від виникнення небезпечності для життя людей.

Система блискавкозахисту складається з:

1.Зовнішнього блискавкозахисту.

- Блискавкоприймач.

- Струмовідвід.

2. Заземлення внутрішнього блискавкозахисту:

- Вирівнювач потенціалів у системі блискавкозахисту.

- Найменша допустима відстань.

Якщо значення струму однофазного короткого замикання, I кз задовольняє значенню

$$I_{кз} \geq K \cdot I_{ном}$$

Для дійсного значення струму короткого замикання (Ікз), в якому дійсні значення опорів трансформатора і петлі фаза-нуль Zт і Zn складається арифметично

$$I_{ф} = \frac{U_{ф}}{Z_T / 3 + Zn}$$

Опір петлі фаза-нуль Zn складається з ряду послідовно включених опорів і дорівнює

$$Zn = \sqrt{(R_{ф} + R_{нз})^2 + (X_{ф} + X_{нз} + X_{п})^2}$$

Розрахункова формула має вигляд

$$кI_{ном} \leq \frac{U_{ф}}{\frac{Z_T}{3} + \sqrt{(R_{ф} + R_{нз})^2 + (X_{ф} + X_{нз} + X_{п})^2}}$$

Потужність трансформатора дорівнює 1000 [кВА]. Номінальна напруга обмоток вищої напруги дорівнює 10 [кВ]. По таблиці (Додаток № 2) [3] знаходимо для смуги перетином 50х4,

при $\delta$ = 2,0 $\left[\frac{А}{мм^2}\right]$,

$$r_{\omega} = 1{,}24 \left[\frac{Ом}{км}\right],$$

$$X_{\omega} = 0{,}74 \left[\frac{Ом}{км}\right],$$

де $r_{\omega}$ - активний опір сталевих провідників.Тоді, активний опір смуги $R_{из.}$, $Ом$.

$$R_{из.} = r_{\omega} \cdot l = 1{,}24 \cdot 0{,}2 = 0{,}248$$

Лінія 380/220В з мідними проводами 3х90 [мм$^2$] харчується від трансформатора, потужністю 1000 [кВ А].

Визначимо опір фазного і нульового захисного провідників Rф, Хф, Rн.з, Хн.з., Хп на ділянці лінії l = 200 [м]

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}$$

Для міді $\rho$ = 0,018 [Ом мм$^2$ / м]

$$R_{ф} = 0{,}018 \frac{200}{90} = 0{,}04$$

Оскільки фазний провід мідний, приймаємо Хф = 0

$$X_{н.з.} = X_{\omega} \cdot l = 0.74 \cdot 0.2 = 0{,}148,$$

де $X_{н.з.}$ - внутрішній індуктивний опір смуги

Зовнішній індуктивний опір 1 км петлі фаза-нуль приймаємо Хп = 0,6 [Ом / км], значить, Хп = 0,6 х 0,2 = 0,12 [Ом].

Знаходимо дійсні значення струму однофазного короткого замикання, $I_{к.з.}$, А, що проходить по петлі фаза-нуль при замиканні фази на корпус трансформатора

$$I_{к.з.} = \frac{220}{\frac{0,081}{3} + \sqrt{(0,04 + 0,248)^2 + (0 + 0,148 + 0,12)^2}} = \frac{220}{0,027 + 0,387} = \frac{220}{0,414} = 531$$

Оскільки дійсне (обчислене) значення струму однофазного КЗ (531 [А]) перевищує найменший допустимий за умовами спрацьовування захисту ток (400 [А]) нульовий захисний провідник обраний правильно, тобто вимикаюча здатність системи занулення забезпечена.

# ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломної роботи на тему «Розробка проекту інженерних мереж 9-поверхового будинку із вбудованими приміщеннями» досягнуто поставленої мети та вирішено комплекс інженерно-практичних завдань.

Проаналізовано вихідні дані щодо об’ємно-планувальних рішень будівлі, її функціонального призначення та нормативних вимог до проектування інженерних систем. Встановлено основні фактори, що впливають на вибір технічних рішень для житлової частини та вбудованих приміщень.

Проведено теплотехнічні розрахунки та визначено теплові навантаження будівлі, на підставі чого запроєктовано систему опалення з урахуванням енергоефективності та забезпечення нормативних параметрів мікроклімату.

Розроблено систему вентиляції з урахуванням кратності повітрообміну для житлових і вбудованих приміщень, що забезпечує санітарно-гігієнічні вимоги та комфортні умови експлуатації.

Запропоновані проектні рішення відповідають чинним будівельним нормам і спрямовані на підвищення надійності, безпеки та економічності експлуатації будівлі.

Отже, розроблений проект інженерних мереж забезпечує комплексне функціонування 9-поверхового житлового будинку із вбудованими приміщеннями, створює належні умови проживання та роботи, а також може бути використаний як основа для реалізації об’єкта нового будівництва або адаптації аналогічних проектних рішень.

# ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ : Мінрегіон України, 2013. 149 с.

2. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація. Київ : Мінрегіон України, 2012. 135 с.

3. ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електрообладнання об’єктів цивільного призначення. Київ : Мінрегіон України, 2010. 187 с.

4. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об’єктів будівництва. Київ : Мінрегіон України, 2016. 92 с.

5. ДБН В.2.2-15:2019. Житлові будинки. Основні положення. Київ : Мінрегіон України, 2019. 43 с.

6. ДСТУ Б EN 12831-1:2017. Енергетичні характеристики будівель. Метод розрахунку проектного теплового навантаження. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. 120 с.

7. ДСТУ Б EN ISO 6946:2018. Будівельні компоненти та елементи. Тепловий опір і коефіцієнт теплопередачі. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. 36 с.

8. ДСТУ EN 62305-1:2012. Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи. Київ : Мінекономрозвитку України, 2013. 82 с.

9. Про регулювання містобудівної діяльності : Закон України від 17.02.2011 № 3038-VI. Київ : Верховна Рада України, 2011. 44 с.

10. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII. Київ : Верховна Рада України, 2017. 32 с.

11. ASHRAE Handbook. Fundamentals. Atlanta : ASHRAE, 2021. 992 p.

12. ASHRAE Handbook. HVAC Systems and Equipment. Atlanta : ASHRAE, 2020. 1040 p.

13. CIBSE Guide A. Environmental Design. London : CIBSE, 2015. 365 p.

14. CIBSE Guide B. Heating, Ventilating, Air Conditioning and Refrigeration. London : CIBSE, 2016. 410 p.

15. EN 806-1:2000. Specifications for installations inside buildings conveying water for human consumption. Brussels : CEN, 2000. 28 p.

16. EN 12056-2:2000. Gravity drainage systems inside buildings. Brussels : CEN, 2000. 52 p.

17. ISO 7730:2005. Ergonomics of the thermal environment. Geneva : ISO, 2005. 52 p.

18. ISO 50001:2018. Energy management systems – Requirements with guidance for use. Geneva : ISO, 2018. 32 p.

19. Hens H. Building Physics – Heat, Air and Moisture Transfer in Highly Insulated Buildings. Berlin : Ernst & Sohn, 2012. 276 p.

20. McMullan R. Environmental Science in Building. London : Palgrave Macmillan, 2012. 448 p.

21. Olesen B. W. Thermal Comfort in Buildings. Copenhagen : Technical University of Denmark, 2012. 48 p.

22. Szokolay S. Introduction to Architectural Science. London : Routledge, 2014. 328 p.

23. Kalogirou S. Solar Energy Engineering. London : Academic Press, 2014. 760 p.

24. Duffie J. A., Beckman W. A. Solar Engineering of Thermal Processes. Hoboken : Wiley, 2013. 928 p.

25. Boyle G. Renewable Energy. Oxford : Oxford University Press, 2012. 584 p.

26. Hinrichs R., Kleinbach M. Energy: Its Use and the Environment. Boston : Cengage Learning, 2018. 640 p.

27. Allard F. Natural Ventilation in Buildings. London : James & James, 1998. 372 p.

28. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. Brussels : European Union, 2010. 35 p.

29. International Energy Agency. Energy Efficiency 2022. Paris : IEA, 2022. 187 p.

30. UNEP. Global Status Report for Buildings and Construction 2022. Nairobi : United Nations Environment Programme, 2022. 96 p.

31. EN 12845:2015. Fixed firefighting systems – Automatic sprinkler systems – Design, installation and maintenance. Brussels : CEN, 2015. 180 p.

32. NFPA 13. Standard for the Installation of Sprinkler Systems. Quincy : National Fire Protection Association, 2019. 500 p.

33. IEC 60364-5-52:2009. Electrical installations of buildings. Geneva : IEC, 2009. 140 p.

34. IEC 62305-3:2010. Protection against lightning. Geneva : IEC, 2010. 102 p.

35. REHVA Guidebook No. 13. Indoor Climate and Energy Performance in Buildings. Brussels : REHVA, 2011. 124 p.

36. Straube J. High Performance Enclosures. Somerville : Building Science Press, 2012. 320 p.

37. Cabeza L. F. Advances in Thermal Energy Storage Systems. Cambridge : Woodhead Publishing, 2015. 632 p.

38. World Bank. Energy Efficiency in Public Buildings. Washington : World Bank, 2019. 140 p.

39. OECD. Energy Efficiency Policy Toolkit. Paris : OECD Publishing, 2017. 212 p.

40. European Environment Agency. Greenhouse Gas Emissions in Europe. Copenhagen : EEA, 2022. 110 p.

41. United Nations. The Sustainable Development Goals Report 2023. New York : United Nations, 2023. 64 p.

42. Buildings Performance Institute Europe. Europe’s Buildings under the Microscope. Brussels : BPIE, 2011. 124 p.

43. Passive House Institute. Criteria for Passive Houses. Darmstadt : PHI, 2018. 32 p.

44. CIBSE. TM54: Evaluating Operational Energy Performance of Buildings at the Design Stage. London : CIBSE, 2013. 78 p.

45. U.S. Department of Energy. EnergyPlus Engineering Reference. Washington : DOE, 2022. 1480 p.

46. EN 16798-1:2019. Energy performance of buildings – Indoor environmental input parameters. Brussels : CEN, 2019. 68 p.

47. EN 14336:2004. Heating systems in buildings – Installation and commissioning of water-based heating systems. Brussels : CEN, 2004. 30 p.

48. EN 12464-1:2021. Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places. Brussels : CEN, 2021. 80 p.

49. International Renewable Energy Agency. Renewable Energy in Buildings. Abu Dhabi : IRENA, 2020. 90 p.

50. European Commission. Renovation Wave for Europe – Greening our buildings, creating jobs, improving lives. Brussels : European Union, 2020. 23 p.