

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра Архітектури та інженерних вишукувань**

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри
Архітектури та інженерних
вишукувань
_____ Бородай Д. С.

«___»_____2025р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження альтернативної системи опалення на прикладі ліцею в
м. Охтирка»

Виконав (ла)

О. В. Фесенко

(підпис)

(Прізвище, ініціали)

Група

ЗПЦБ 2401м

(Науковий)
керівник

Д. С. Бородай

(підпис)

(Прізвище, ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: Архітектури та інженерних вишукувань
Спеціальність: 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Фесенко Олександр Володимирович

Тема роботи: Дослідження альтернативної системи опалення
на прикладі ліцею в м. Охтирка

Затверджено наказом по університету № 40/ОС від 07 " 01 2025р.
Строк здачі студентом закінченої роботи: 10 " 12 2025 р.

Вихідні дані до роботи:

Дані інженерно-геологічних вишукувань, типові проекти, завдання проектування

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці)

Розділ 1. Загальна характеристика роботи, Розділ 2. Бібліографічний огляд досліджень, 2.1 Опис технології теплої підлоги, 2.2 Класифікація теплої підлоги, Розділ 3. Дослідження альтернативної системи опалення, 3.1 Дослідження системи теплої підлоги, 3.2 Техніко-економічні показники системи, Розділ 4. Опис архітектурно-планувального рішення будівлі, 4.1 Ситуаційний план, 4.2 Об'ємно-планувальне рішення, 4.3 Архітектурно-конструктивне рішення, Список використаних джерел

5. Перелік графічного та або мультимедійного матеріалу (з вказівкою обов'язкових креслень)

17 слайдів мультимедійного матеріалу

Керівник :		Д. С. Бородай
	(підпис)	(Прізвище, ініціали)
Консультант		Д. С. Бородай
	(підпис)	(Прізвище, ініціали)
Завдання прийняв до виконання:		
Здобувач		О. В. Фесенко
	(підпис)	(Прізвище, ініціали)

Анотація

Фесенко Олександр Володимирович «Дослідження альтернативної системи опалення на прикладі ліцею в м. Охтирка» – Кваліфікаційна робота магістра на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

Робота складається із змісту, загальної характеристики роботи та її кваліфікаційних ознак, огляду досліджень за обраною темою, розділів основної частини, висновків за результатами МКР (українською та англійською мовами).

Сформульовано мету, задачі, об'єкт та предмет дослідження, методи наукового дослідження.

Дослідження зосереджується на застосуванні водяної теплої підлоги в навчальних закладах, з конкретним прикладом ліцею. Дослідження підкреслює актуальність низькотемпературних підлогових систем як сучасного підходу до досягнення рівномірного теплового комфорту та енергоефективної експлуатації. Традиційні рішення з опалення часто призводять до нерівномірного розподілу температури, дискомфорту та збільшення споживання енергії, тоді як підлогове опалення забезпечує оптимальний мікроклімат.

У роботі використовуються такі методи, як теплове та гідравлічне моделювання, оцінка енергоефективності та порівняльна оцінка різних підходів до опалення. У дослідженні розглядається взаємодія конструкції підлоги, ізоляції та розподілу тепла для забезпечення оптимальної роботи різних типів приміщень, включаючи класи, коридори, санітарні приміщення та великі зали.

Наукова та технічна новизна роботи полягає в детальному дослідженні теплої підлоги як основного джерела тепла в навчальних закладах. Було виявлено, що низькотемпературні системи можуть підтримувати стабільні умови в приміщенні, рівномірно розподіляти тепло по приміщеннях та адаптуватися до різних моделей, одночасно зменшуючи вплив на навколишнє середовище порівняно з традиційними рішеннями. Результати дослідження є основою для

практичних рекомендацій щодо впровадження водяної теплої підлоги в подібних громадських та навчальних закладах.

Ключові слова: опалення, водяна тепла підлога, навчальний заклад.

Список публікацій та/або виступів на конференціях студента:

1. Фесенко О.В. Дослідження альтернативної системи опалення на прикладі ліцею в м. Охтирка// Матеріали 87-ї Міжнародної наукової конференції студентів університету, 7–11 квіт. 2025 р. Харків, 2025.

В додатках наведено тези конференції, альбом слайдів мультимедійної презентації.

Структура роботи.

Робота складається з основного тексту на 42 сторінках, у тому числі 2 таблиці та 12 рисунків. Текст роботи містить загальну характеристику роботи, 4 розділи, висновки і рекомендації за результатами роботи, список з 21 використаного джерела. Графічна частина складається з 17 слайдів мультимедійної презентації.

Abstracts

Fesenko Oleksandr “Research on an alternative heating system using the example of a lyceum in Okhtyrka.” Master's thesis in manuscript form.

Master's thesis in the specialty 192 “Construction and Civil Engineering.” – Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

The thesis consists of a table of contents, a general description of the work and its qualifying characteristics, a review of research on the chosen topic, sections of the main part, and conclusions based on the results of the MCR (in Ukrainian and English).

The purpose, objectives, object, and subject of the research, as well as the methods of scientific research, are formulated.

The research focuses on the use of water-heated floors in educational institutions, with a specific example of a lyceum. The research emphasizes the relevance of low-temperature floor systems as a modern approach to achieving uniform thermal comfort and energy-efficient operation. Traditional heating solutions often lead to uneven temperature distribution, discomfort, and increased energy consumption, while underfloor heating provides an optimal microclimate.

The study uses methods such as thermal and hydraulic modeling, energy efficiency assessment, and comparative evaluation of different approaches to heating. The study examines the interaction of floor construction, insulation, and heat distribution to ensure optimal performance in various types of rooms, including classrooms, corridors, sanitary facilities, and large halls.

The scientific and technical novelty of the work lies in the detailed study of underfloor heating as the main source of heat in educational institutions. It was found that low-temperature systems can maintain stable conditions in the room, distribute heat evenly throughout the premises, and adapt to different models, while reducing the impact on the environment compared to traditional solutions. The results of the study form the basis for practical recommendations for the implementation of water underfloor heating in similar public and educational institutions.

Keywords: heating, water underfloor heating, educational institution.

List of student publications and/or conference presentations:

1. Fesenko O. Research on an alternative heating system using the example of a lyceum in Okhtyrka// Materials of the 87th International Scientific Conference of University Students, April 7–11, 2025. Kharkiv, 2025.

The appendices contain the conference abstracts and a slide album of the multimedia presentation.

Structure of the work.

The work consists of the main text on 42 pages, including 2 tables and 12 figures. The text of the work contains a general description of the work, 4 sections, conclusions and recommendations based on the results of the work, and a list of 21 sources used. The graphic part consists of 17 slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

Розділ 1. Загальна характеристика роботи.....	9
Розділ 2. Бібліографічний огляд досліджень.....	12
2.1 Опис технології теплої підлоги.....	12
2.2 Класифікація теплої підлоги.....	15
Розділ 3. Дослідження альтернативної системи опалення.....	20
3.1 Дослідження системи теплої підлоги.....	20
3.2 Техніко-економічні показники системи.....	28
Розділ 4. Опис архітектурно-планувального рішення будівлі.....	32
4.1 Ситуаційний план.....	32
4.2 Об'ємно-планувальне рішення.....	32
4.3 Архітектурно-конструктивне рішення.....	33
Список використаних джерел.....	41

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми: Тема систем теплої підлоги є дуже актуальною через зростаючий попит на енергоефективні та екологічно стійкі рішення для опалення в навчальних та громадських будівлях. Традиційні системи на основі радіаторів часто призводять до нерівномірного розподілу температури, вищого енергоспоживання та збільшення експлуатаційних витрат. Низькотемпературні підлогові системи забезпечують рівномірний розподіл тепла, покращений тепловий комфорт та зменшення тепловтрат. Це особливо важливо в навчальних закладах, де підтримка стабільного мікроклімату безпосередньо впливає на комфорт, концентрацію та самопочуття учнів і персоналу.

Мета і завдання дослідження: Метою дослідження є оцінка технічної здійсненності, енергоефективності та екологічних переваг теплої підлоги в навчальному приміщенні. Завдання включають розробку конструктивного та гідравлічного проекту, придатного для навчальних закладів, розрахунок теплових навантажень, теплових потоків та параметрів потоку для оптимальної роботи, оцінку енергоефективності та стабільності мікроклімату в приміщенні за допомогою технічного аналізу, а також порівняння ефективності системи з традиційним радіаторним опаленням з точки зору енергоспоживання, теплового комфорту та впливу на навколишнє середовище.

Об'єкт дослідження: Ліцей в місті Охтирка.

Предмет дослідження: Використання теплої підлоги як альтернативної системи опалення.

Методи дослідження: У дослідженні було використано комбінацію методів теплового, гідравлічного та технічного аналізу. Теплові розрахунки визначили тепловтрати через стіни, вікна та дах, а також теплові потоки поверхні підлоги за допомогою стандартних рівнянь теплопередачі. Гідравлічне моделювання проаналізувало витрати, перепади тиску та балансування контурів у трубопроводній мережі. Оцінка енергоефективності визначила річне

споживання енергії та ефективність системи. Порівняльна оцінка була зосереджена на тепловому комфорті в приміщенні, рівномірності розподілу тепла та впливі на навколишнє середовище порівняно з традиційними радіаторними системами. Технічний аналіз системи включав вивчення конфігурації контурів, загальної довжини труб та теплових потоків поверхні підлоги.

Наукова та технічна новизна одержаних результатів: Наукова та технічна новизна цього дослідження полягає в детальному проектуванні та аналізі продуктивності системи теплої підлоги для ліцею. Було визначено оптимальне розташування труб з відстанню 150 мм у класах та 200 мм у коридорах. Гідравлічна конструкція забезпечує загальний витрату 7,5 м³/год і падіння тиску в контурі 15–20 кПа, забезпечуючи стабільну роботу з мінімальними втратами енергії. Система досягає рівномірного теплового потоку по поверхні підлоги в діапазоні від 50 до 80 Вт/м² з максимальним відхиленням температури ±1,5 °С. Вона підтримує стабільну температуру в приміщенні 20–22 °С при низькій температурі подачі 45 °С, сумісній з конденсаційними котлами або тепловими насосами.

Система демонструє зниження річного споживання енергії на 22–23 % порівняно з традиційними радіаторними системами, мінімізуючи при цьому втрати при розподілі та вплив на навколишнє середовище. Висока теплова інерція забезпечує поступову реакцію на зовнішні коливання температури, підтримуючи стабільний мікроклімат у приміщенні, придатний для тривалого використання в освітніх цілях. Ці результати підтверджують технічну здійсненність, енергоефективність та екологічні переваги системи теплої підлоги в освітніх закладах, надаючи обґрунтовану основу для його впровадження в подібних будівлях.

Практична новизна одержаних результатів: Практична новизна полягає у впровадженні водяної системи теплої підлоги як основного джерела тепла в навчальному закладі з урахуванням специфіки режиму експлуатації, графіків відвідування та вимог до комфорту в приміщеннях таких будівель. На основі

проведених аналізів було розроблено оптимізовану конструкцію підлоги для різних категорій приміщень, що забезпечує стабільний розподіл тепла, покращений тепловий комфорт та зменшення експлуатаційних навантажень. Запропонована система підвищує ефективність подачі тепла, мінімізує втрати енергії та підтримує рівномірну температуру в приміщенні без надмірного навантаження на обладнання. Результати можуть бути безпосередньо застосовані при проектуванні та модернізації систем опалення в навчальних закладах, забезпечуючи вищу енергоефективність, покращений комфорт мешканців та підвищену довговічність інженерних рішень.

Апробація та публікація результатів роботи: 1. Фесенко О.В. Дослідження альтернативної системи опалення на прикладі ліцею в м. Охтирка// Матеріали 87-ї Міжнародної наукової конференції студентів університету, 7–11 квіт. 2025 р. Харків, 2025.

РОЗДІЛ 2

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Опис технології теплої підлоги

Сучасні системи опалення в навчальних та громадських будівлях все частіше базуються на низькотемпературних радіаційних технологіях, які забезпечують рівномірний розподіл тепла, стабільний мікроклімат та енергоефективність. Традиційні системи на основі радіаторів працюють з температурою подачі 70–90 °С і температурою повернення близько 50–70 °С, створюючи великі температурні градієнти та значний конвективний рух повітря. На відміну від цього, вбудована в поверхню система опалення працює в значно нижчому діапазоні температур: температура води на подачі становить 35–45 °С, а температура на звороті — близько 30–35 °С. Така конфігурація дозволяє генерувати тепло за допомогою вискоефективних джерел, таких як конденсаційні котли або теплові насоси, коефіцієнт корисної дії яких може досягати 3,5–5,0 в таких низькотемпературних умовах[21].

Основний принцип роботи теплої підлоги базується на радіаційному теплообміні між великою площею нагрітої поверхні та приміщенням. Приблизно 50–60 % теплової енергії передається за допомогою випромінювання, а решта за допомогою природної конвекції. Цей баланс створює вертикальний градієнт температури повітря не більше 1–2 °С між рівнем підлоги та рівнем стелі, на відміну від радіаторних систем, де градієнт може перевищувати 5 °С. В результаті тепловий комфорт досягається при температурі повітря в приміщенні 19–20 °С замість 22–23 °С, що зменшує загальне споживання енергії на 10–15 %. Відповідна теплова потужність системи становить від 35 до 75 Вт/м² залежно від конструкції підлоги, оздоблювальних матеріалів та проектної температури в приміщенні.

Фізична модель теплопередачі через систему підлоги враховує теплопровідність через плиту або стяжку, поверхнєве випромінювання та конвективну складову до повітря в приміщенні. У типовій конструкції тепловий

опір шарів підлоги становить від 0,10 до 0,15 м²·К/Вт, залежно від товщини та теплопровідності оздоблювальних матеріалів. Тепловий потік через підлогу описується співвідношенням $q=\lambda \cdot (T_f-T_a)/\delta$, де λ представляє ефективну теплопровідність (приблизно 1,4 Вт/м·К для цементно-піщаної стяжки), T_f — середня температура поверхні, а δ — товщина плити (0,05–0,07 м для звичайних установок). За номінальних умов експлуатації з температурою подачі 40 °С і середньою температурою поверхні 27 °С, випромінюваний тепловий потік становить близько 55 Вт/м², що достатньо для підтримки температури повітря 20 °С в класі зі стандартною теплоізоляцією (коефіцієнт теплопередачі $\approx 0,25$ Вт/м²·К).

Історично концепція опалення шляхом нагрівання великої поверхні під підлогою виникла тисячі років тому. Стародавні римські гіпокаусти працювали за рахунок циркуляції гарячих димових газів під піднятими кам'яними підлогами, що підтримувалися невеликими стовпчиками; такі системи могли досягати температури поверхні 35–40 °С у громадських лазнях і були здатні забезпечувати теплову потужність до 100 Вт/м², хоча і з низькою ефективністю та високим споживанням палива. У Східній Азії корейські системи опалення ондоль базувалися на подібних принципах теплопровідності та накопичення теплової енергії в кам'яних або глиняних підлогах, що нагрівалися за допомогою температури згоряння. Незважаючи на свою примітивну конструкцію, ці ранні системи продемонстрували переваги радіаційного підлогового опалення: тепловий комфорт, зменшення руху повітря та тривале вивільнення тепла завдяки великій тепловій масі підлоги[8].

Сучасні системи теплої підлоги, розроблені в 20 столітті, замінили димові гази циркулюючою теплою водою в вбудованих трубопровідних мережах. Перехід від металевих труб до полімерних матеріалів, таких як зшитий поліетилен (PEX-a, PEX-b) і поліетилен з підвищеною термостійкістю (PE-RT), забезпечив гнучкість монтажу і довгострокову надійність. Теплопровідність PEX становить близько 0,35 Вт/м·К, що достатньо для підтримки низького

гідравлічного опору і рівномірного розподілу температури по контурах довжиною до 90–100 м. Розрахункова витрата становить 0,2–0,3 л/с на контур, що забезпечує перепад температур (ΔT) 5–10 °С між подачею і поверненням. Гідравлічні характеристики системи підтримуються циркуляційними насосами з напором 3–6 м і питомою потужністю споживання нижче 60 Вт.

Широке впровадження водяної теплої підлоги почалося в Європі після 1970-х років, коли енергетична криза підкреслила необхідність будівництва енергоефективних будівель. До 2010-х років понад 70 % нових житлових будівель у північній і центральній Європі мали системи радіаційного опалення підлоги як основний або допоміжний метод опалення. У скандинавських країнах підлогове опалення використовується в понад 80 % нових будинків і 40 % громадських будівель. У навчальних закладах такі системи виявилися особливо ефективними завдяки вимогам до безшумної роботи, поліпшенню гігієни (відсутність циркуляції пилу) та захисту від випадкових опіків, які трапляються при використанні відкритих радіаторів. У кліматичних зонах з проектною температурою зовнішнього повітря від –10 °С до –25 °С дане опалення може підтримувати температуру в приміщенні на рівні 20–22 °С при середній температурі води, що подається, не вище 45 °С, за умови, що оболонка будівлі відповідає сучасним стандартам теплоізоляції (коефіцієнт теплопередачі 0,20–0,30 Вт/м²·К для зовнішніх стін і 0,15–0,20 Вт/м²·К для дахів).

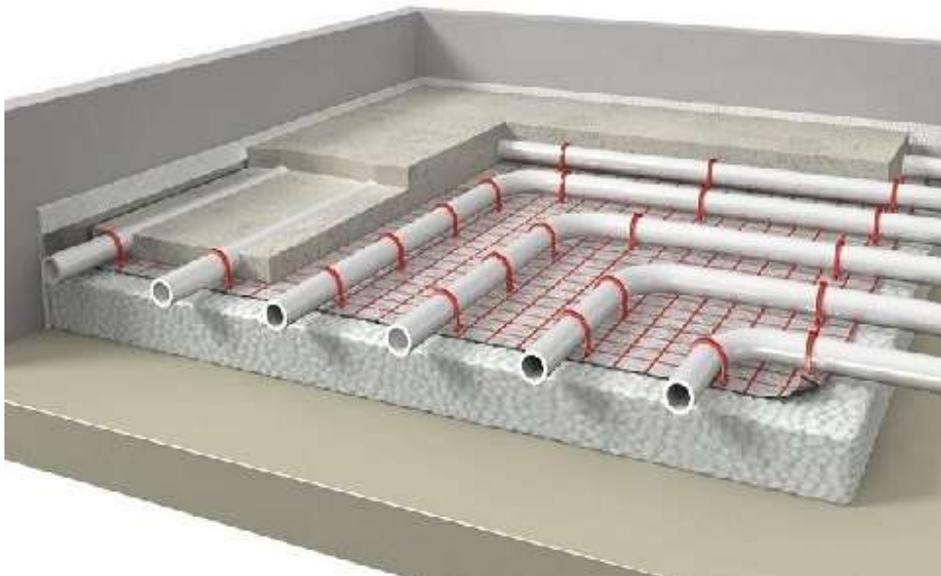


Рис. 2.1 Тепла підлога

2.2 Класифікація теплої підлоги

Технологія теплої підлоги охоплює кілька типів систем, які відрізняються за джерелом тепла, способом передачі енергії, конструктивним виконанням і сферою застосування. Загальна класифікація виділяє три основні категорії: водяні системи, системи з електричним опором і інфрачервоні системи. Кожна з них працює в межах певних температурних і потужностних параметрів і вимагає окремих конструктивних шарів і методів управління.

У водяній системі підігріву підлоги тепло передається шляхом циркуляції низькотемпературної рідини — води або суміші води та гліколю — через закриту мережу труб, вбудованих у стяжку підлоги або поверхневі панелі. Типова температура подачі становить від 35 до 45 °С, температура повернення — від 28 до 35 °С, а система забезпечує середню теплову потужність 40–80 Вт/м² залежно від теплової оболонки будівлі. Циркуляція забезпечується невеликими насосами, які підтримують швидкість потоку 0,2–0,3 л/с на контур при тиску 2–4 бари[21].

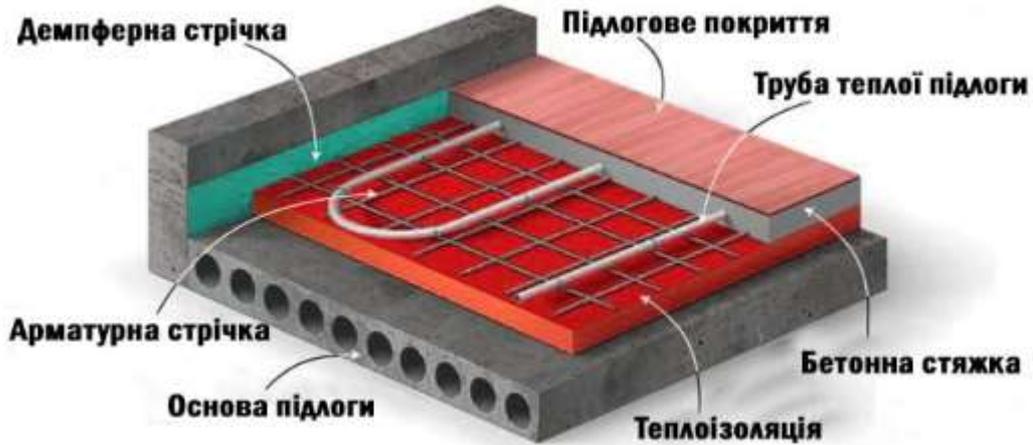


Рис. 2.2 Схема влаштування водяної теплої підлоги

Електрична система генерує тепло за допомогою резистивних кабелів або матів, встановлених всередині або під фінішним шаром. Коли струм проходить через резистивний провідник, він перетворює електричну енергію в тепло, яке проводиться вгору через підлогу. Лінійна теплова щільність кабелю становить 10–20 Вт/м, що забезпечує площинну щільність потужності 120–200 Вт/м² у режимі прямого опалення та 80–130 Вт/м² у звичайному режимі використання. Напруга живлення становить 230 В, а регулювання потужності здійснюється за допомогою термостатів і датчиків підлоги, що підтримують температуру поверхні в межах 25–30 °С.



Рис. 2.3 Схема влаштування електричної теплої підлоги

Інфрачервоні підлоги використовують полімерні вуглецеві або графітові випромінювачі, ламіновані між двома діелектричними плівками. При подачі

напруги вони випромінюють довгохвильове інфрачервоне тепло в діапазоні 8–12 мкм, яке безпосередньо нагріває тверді поверхні, а не навколишнє повітря. Їх робоча напруга становить 230 В для систем змінного струму і 24–48 В для низьковольтних варіантів постійного струму. Потужність таких плівок коливається від 130 до 220 Вт/м², а межі температури поверхні контролюються електронно для підтримки діапазону роботи 26–32 °С.

За способом монтажу підлоги з підігрівом поділяються на мокрі системи, де нагрівальні елементи вбудовані в цементно-піщану стяжку, і сухі системи, де нагрівальні елементи встановлюються в збірних панелях або модульних плитах. У мокрих системах товщина стяжки становить 50–70 мм для систем на водній основі та 30–50 мм для електричних систем. Стяжка діє як тепловий акумулятор з об'ємною теплоємністю близько 2,1 МДж/м³·К, забезпечуючи рівномірний розподіл температури та уповільнене охолодження. Теплопровідність цементних матеріалів ($\lambda \approx 1,2\text{--}1,4$ Вт/м·К) забезпечує ефективний висхідний тепловий потік, а ізоляційні шари з екструдованого полістиролу ($\lambda \approx 0,033$ Вт/м·К, товщина 30–50 мм) зменшують втрати вниз до менше ніж 5 %[21].

У сухих модульних системах нагрівальні елементи розміщуються в алюмінієвих тепловідвідних пластинах або під гіпсоволокнистими плитами. Загальна висота системи становить 25–35 мм, що зменшує вагу і дозволяє встановлювати її в будівлях з обмеженою несучою здатністю конструкцій або там, де обмежені умови роботи. Через меншу теплову інерцію сухі системи швидше реагують на сигнали управління, але забезпечують менше теплового накопичення.

Теплова потужність системи теплої підлоги залежить від різниці температур між поверхнею підлоги та повітрям у приміщенні. За нормальних умов (поверхня 27 °С, приміщення 20 °С) система забезпечує 50–60 Вт/м² тепла. Збільшення температури поверхні до 29 °С підвищує потужність до 70 Вт/м², а кожен додатковий градус збільшує її приблизно на 10 %. Час теплової реакції значно відрізняється залежно від типу системи. Для товстої стяжки після

увімкнення живлення поверхня досягає стаціонарної температури протягом 2-3 годин. Інфрачервоні плівкові системи мають майже миттєву реакцію (3–5 хвилин), тоді як системи з панелями досягають робочої температури за 20–30 хвилин. Період збереження тепла після вимкнення також варіюється: системи на основі бетону зберігають тепло протягом 3–6 годин завдяки високій тепловій інерції, тоді як плівкові системи охолоджуються протягом 15–20 хвилин.

Ефективність перетворення енергії електричних та інфрачервоних систем наближається до 98–100 %, оскільки електрична енергія безпосередньо перетворюється на тепло в місці використання.

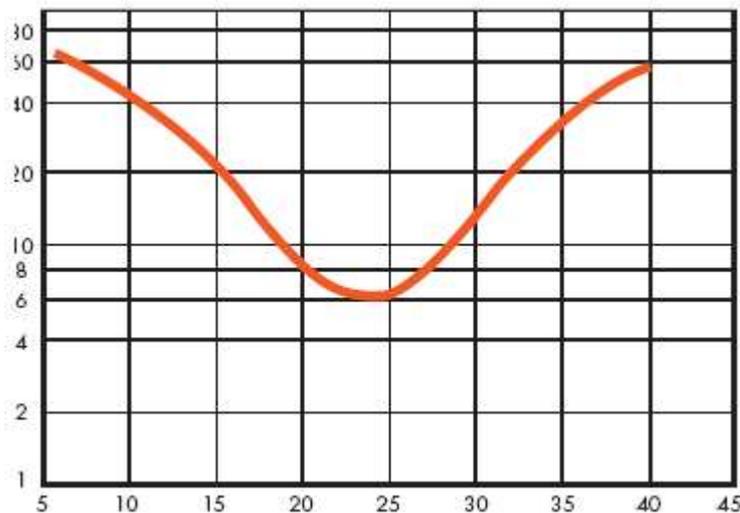


Рис. 2.4 Енергоефективність теплої підлоги

Однак, якщо розглядати повний енергетичний ланцюг, водяні системи базуються на використанні первинної енергії, що призводить до зниження експлуатаційних витрат. На відміну від цього, системи прямого електричного опалення залежать від тарифів на електроенергію і частіше використовуються як додаткове або зональне опалення[8].

Тепла підлога має ряд переваг, що виходять за межі простих енергетичних показників. Вона забезпечує рівномірний вертикальний розподіл температури, що зменшує конвективну циркуляцію пилу на 80 %. Відсутність відкритих радіаторів покращує гнучкість дизайну інтер'єру та мінімізує ризик травмування в громадських приміщеннях. Індекси теплового комфорту підтверджують, що

підлогове опалення підтримує нейтральний діапазон комфорту при нижчих температурах повітря в порівнянні з конвективними системами, що призводить до значної економії енергії. Крім того, температура поверхні нижче 30 °С виключає ризик теплового дискомфорту або опіків, а низькі градієнти вологості зберігають якість повітря в приміщенні. Рівень шуму для систем теплої підлоги нижче 20 дБ(А). Термін експлуатації водяних та електричних систем перевищує 40 років при встановленні відповідно до стандартів із середніми інтервалами технічного обслуговування 5–7 років. Інфрачервоні плівкові системи мають коротший очікуваний термін експлуатації 15–20 років через деградацію полімеру під впливом тривалого нагрівання.

Незважаючи на свої переваги, системи теплої підлоги мають кілька технічних обмежень. Їхня теплова інерція може призвести до повільнішого регулювання температури в приміщенні, що робить їх менш придатними для будівель з періодичним заселенням, якщо не впроваджено автоматизовані стратегії управління. Для електричних систем висока миттєва потреба в потужності — до 150 Вт/м² — може спричинити значне навантаження на електричні мережі. Інфрачервоні плівкові системи, хоча і прості в установці, обмежені допустимою температурою поверхні оздоблювальних матеріалів, таких як ламінат або вініл, яка не повинна перевищувати 28–29 °С. Водяні системи вимагають ретельного гідравлічного балансування і точного контролю температури подачі.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ

3.1 Дослідження системи теплої підлоги

Проектування системи опалення для новозбудованого ліцею базується на принципі низькотемпературного радіаційного опалення з використанням водяної системи підігріву підлоги, яка є основним джерелом тепла в усьому приміщенні. Це рішення було обрано завдяки його здатності підтримувати стабільний і рівномірний тепловий режим, сумісності з енергоефективними будівельними оболонками та відповідності санітарним і акустичним вимогам, що висуваються до навчальних закладів. Використання водяного опалення забезпечує дотримання критеріїв теплового комфорту в класах, коридорах та адміністративних зонах, одночасно зменшуючи загальне споживання енергії та експлуатаційні витрати.

Водяна система теплої підлоги працює за принципом передачі тепла від циркулюючого теплоносія — води з невеликою добавкою антифризу — через закриту мережу труб, вбудованих у конструкцію підлоги. Вода нагрівається в центральному теплообміннику, підключеному до головної котельні будівлі, а потім розподіляється через систему колекторів по декількох паралельних контурах. Температура води, що подається в контури, підтримується на рівні 40–45 °С, а температура зворотного потоку коливається в діапазоні від 30 до 35 °С, що забезпечує середню температуру поверхні готової підлоги, яка не перевищує 29 °С, відповідно до ергономічних стандартів комфорту для навчальних будівель. Такий температурний режим дозволяє системі забезпечувати стабільну тепловіддачу 60–90 Вт/м² залежно від тепловтрат приміщення та його теплоізоляційних характеристик[21].

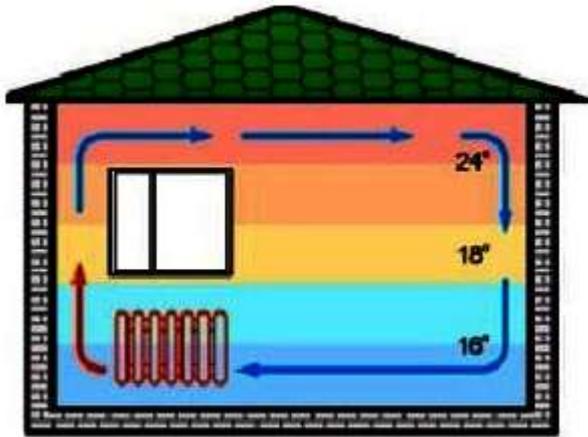


Рис. 3.1 Схема циркуляції тепла при використанні радіаторного опалення

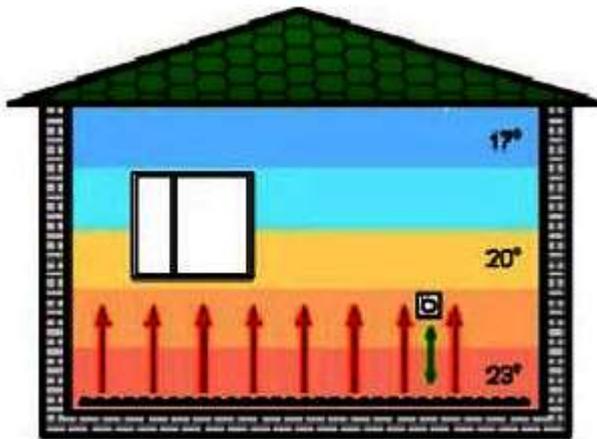


Рис. 3.2 Схема циркуляції тепла при використанні теплої підлоги

Конструкція системи базується на принципі радіаційно-конвективного розподілу тепла, при якому 60 % загального тепла передається за рахунок випромінювання від поверхні підлоги до навколишніх стін, меблів і людей, що знаходяться в приміщенні, а решта 40 % розподіляється за рахунок природної конвекції через повітря. Цей баланс забезпечує рівномірні вертикальні температурні градієнти — різниця між рівнем підлоги та висотою 1,8 м не перевищує 1,5–2,0 °С — і запобігає локальному перегріванню, що особливо важливо в класах з великою кількістю учнів. Оптимальна температура повітря в приміщенні підтримується на рівні 20–22 °С в класах, 18–20 °С в коридорах і господарських приміщеннях та 24 °С у ванних кімнатах і роздягальнях, тоді як

температура поверхні підлоги залишається в комфортному діапазоні 26–29 °С залежно від функціональної зони[20].

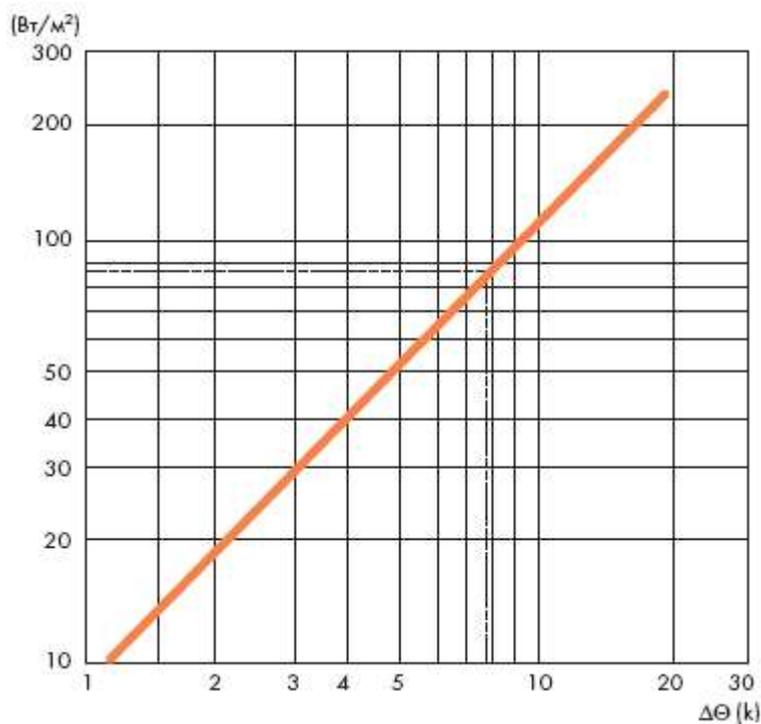


Рис. 3.3 Характеристика ефективності теплої підлоги

Водяна система складається з низки контурів, підключених до розподільних колекторів, розташованих у кожній секції будівлі. Середня площа, що обслуговується одним колектором, становить 120–150 м², з 8–12 контурами на колектор. Кожен контур охоплює площу 15–20 м² з довжиною труби 80–100 м, забезпечуючи рівномірний гідравлічний опір і збалансований розподіл потоку. Робочий тиск в системі підтримується в межах 2–4 бар, а загальна витрата води для однієї групи колекторів становить 0,2–0,3 л/с. Кожен контур оснащений витратомірами, балансувальними клапанами та термостатичними приводами, що керуються центральною системою автоматизації, яка регулює температуру відповідно до даних датчиків у приміщенні та зовнішніх кліматичних умов.

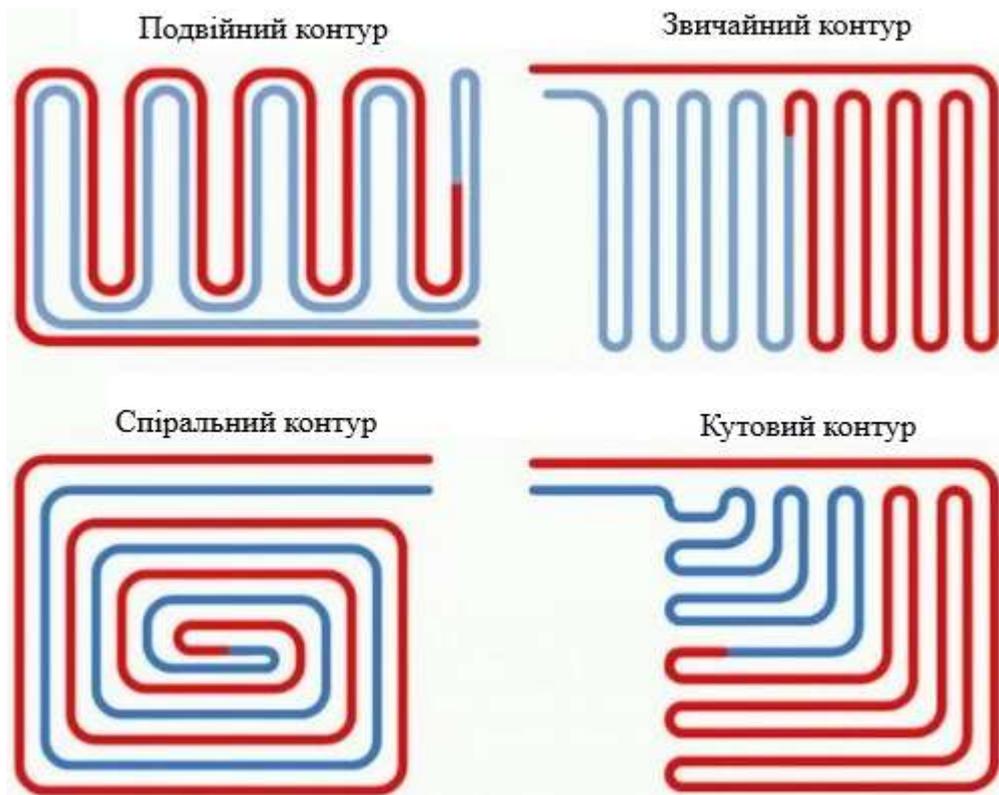


Рис. 3.4 Способи укладання гідравлічних контурів

Гідравлічні контури виготовлені з труб із зшитого поліетилену (PEX-a) із зовнішнім діаметром 16 мм і товщиною стінки 2 мм, що характеризуються високою гнучкістю, термічною стабільністю до 95 °С і максимальним робочим тиском 6 бар. Теплопровідність матеріалу труб ($\lambda = 0,38 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) забезпечує мінімальний опір теплопередачі, а вбудований у стінку труби бар'єр для дифузії кисню запобігає корозії металевих компонентів системи. Крок укладання труб вибирається залежно від теплового навантаження зони: 100 мм у периметральних зонах з вищими тепловтратами біля зовнішніх стін і 150–200 мм у внутрішніх зонах з помірним навантаженням. В результаті середня тепловіддача підлоги коливається від 70 до 85 Вт/м² в режимі стаціонарної роботи з перепадом температур 10 К між подачею і поверненням.

При проектуванні системи теплих підлог для ліцею також враховуються акустичні та гігієнічні норми для навчальних будівель. Низькотемпературний характер тепловіддачі виключає локальну конвекцію повітря і підйом пилу, покращуючи якість повітря в приміщенні і зменшуючи поширення алергенів.

Крім того, система працює безшумно, створюючи рівень шуму нижче 20 дБ(А), що відповідає акустичним вимогам до класів і бібліотек[8].

Енергоефективність досягається за рахунок інтеграції системи підігріву підлоги з конденсаційним котлом і блоком управління з компенсацією погоди. Завдяки підтримці низьких температур повернення (30–32 °С) система підвищує ефективність котла до 106 % у режимі конденсації та дозволяє повною мірою використовувати тепло, відновлене з димових газів. Коефіцієнт корисної дії всієї опалювальної установки в середньому становить 1,2–1,3 порівняно з традиційними радіаторними системами завдяки зменшенню тепловтрат через вентиляцію та інфільтрацію оболонки. Крім того, можливість підтримувати комфортну температуру в приміщенні при зниженні температури повітря на 1–2 °С забезпечує економію енергії до 10–12 % на рік.

Проектний термін експлуатації гідравлічної системи опалення в ліцеї перевищує 40 років при нормальній експлуатації, при цьому технічне обслуговування зводиться до періодичного гідравлічного балансування та перевірки розподільних колекторів. Інтеграція датчиків температури, термостатичних клапанів і програмованих контролерів забезпечує роботу системи в автоматичному режимі, регулюючи теплову потужність відповідно до графіка занять у класах. Поєднання тривалого терміну експлуатації, низького рівня шуму, високого теплового комфорту та енергоефективності робить гідравлічну систему опалення найбільш раціональним і стійким рішенням для опалення навчальних закладів, таких як цей ліцей.

Конструкція системи розроблена таким чином, щоб забезпечити максимальну теплову ефективність, рівномірний розподіл тепла та довготривалу експлуатацію в умовах інтенсивного щоденного використання. Конструкція підлоги являє собою багатошарову систему, в якій кожен компонент виконує певну фізичну та механічну функцію — тепловіддачу, ізоляцію, захист від пари, розподіл навантаження та механічну стабільність. Система встановлюється безпосередньо на залізобетонну основу кожного поверху, а її загальна товщина

варіюється від 100 до 130 мм залежно від типу приміщення та оздоблення підлоги.

Верхній функціональний шар — це фінішне покриття підлоги, яке забезпечує остаточну поверхню для використання, а також впливає на швидкість передачі тепла в приміщення. У класах і коридорах використовується керамічна гранітна плитка товщиною 10–12 мм і теплопровідністю $\lambda = 1,05\text{--}1,25$ Вт/м·К завдяки її високій міцності, низькому рівню зносу і сприятливим теплопровідним властивостям. В адміністративних та допоміжних приміщеннях застосовуються ламіновані панелі або лінолеум товщиною 3–5 мм і теплопровідністю $\lambda = 0,18\text{--}0,25$ Вт/м·К, з додатковим підкладковим шаром для компенсації теплового розширення[9].

Таблиця 3.1 Опір теплопередачі різних типів покриття підлоги

№	Опір теплопередачі	Тип покриття підлоги
1	0,02	Керамічна плитка, бетон
2	0,075	Синтетичні матеріали
3	0,1	Паркет, килим середньої товщини
4	0,15	Килим високої товщини

Безпосередньо під фінішним шаром знаходиться цементно-піщана стяжка, яка служить основним теплонакопичувальним і теплорозподільним середовищем. Товщина стяжки над верхньою поверхнею опалювальних труб становить 40–50 мм, що забезпечує достатню механічну міцність і теплову інерцію. Загальна товщина стяжки, включаючи вбудовані труби, становить 70 мм. Матеріал — дрібнозерниста бетонна суміш класу C20/25 з щільністю 2100–2200 кг/м³ і коефіцієнтом теплопровідності 1,4–1,6 Вт/м·К. До суміші додається армування з поліпропіленового волокна (0,9 кг/м³) для запобігання утворенню тріщин під час циклів нагрівання та охолодження. У периметральних зонах та зонах з високим динамічним навантаженням (коридори та сходові майданчики) стяжка додатково армується зварною сталевією сіткою Ø4 мм з комітками 100 × 100 мм для розподілу точкових навантажень.

Контур опалення складається з труб РЕХ-а із зовнішнім діаметром 16 мм і товщиною стінки 2 мм. Труби розташовуються меандровим або спіральним способом залежно від форми приміщення, забезпечуючи рівномірний розподіл температури по підлозі. Крок труб вибирається на основі теплових розрахунків: 100 мм біля зовнішніх стін і вікон, де тепловіддача найбільша, і 150–200 мм у центральних зонах кімнат. Середня щільність теплового потоку підлоги з підігрівом в межах цих параметрів досягає 70–85 Вт/м² при температурі води 45/35 °С. Труби кріпляться до ізоляційного шару за допомогою пластикових анкерів або до арматурної сітки за допомогою кабельних стяжок з інтервалом 0,5 м. Між зонами опалення площею понад 40 м² або довжиною понад 8 м встановлюються компенсаційні шви, що запобігають деформації під час теплового розширення[21].

Під трубопроводом розташований теплоізоляційний шар, який запобігає втратам тепла вниз і забезпечує спрямований тепловий потік у приміщення. У ліцеї ізоляція складається з плит з екструдованого пінополістиролу з міцністю на стиск 300 кПа і щільністю 35–40 кг/м³. Товщина ізоляційного шару становить 50 мм. Теплопровідність матеріалу ($\lambda = 0,033$ Вт/м·К) зменшує втрати тепла до менше ніж 3 % від загальної потужності системи. Ізоляційні плити укладаються зі зміщеними стиками і герметизуються за допомогою клейкої стрічки.



Рис. 3.5 Формування ізоляційного шару



Рис. 3.6 Процес утеплення підлоги

Під ізоляційним шаром встановлюється поліетиленова пароізоляційна плівка товщиною 0,15–0,2 мм для запобігання проникненню вологи в ізоляцію та стяжку. У приміщеннях з підвищеною вологістю перед монтажем труб над ізоляцією наноситься додатковий гідроізоляційний шар з бітумно-полімерної мембрани товщиною 2 мм. Цей шар піднімається вздовж стін на 100 мм і герметизується для забезпечення повного захисту від капілярної вологи[20].

Основою всієї конструкції є залізобетонна конструкційна плита з розрахунковим класом міцності на стиск С25/30 і середньою товщиною 200 мм. По периметру всіх стін, колон і перегородок встановлюються розширювальні смуги з еластичного поліетиленового пінопласту товщиною 10 мм і висотою 100 мм, що дозволяють здійснювати тепловий рух стяжки без передачі навантаження на вертикальні конструкції.

Крім основних шарів, система включає набір допоміжних компонентів, що підвищують надійність експлуатації. У місцях переходу через компенсаційні шви

або дверні пороги для захисту труб опалення використовуються захисні гофровані муфти. У розподільних шафах труби підключаються до колекторів подачі та повернення за допомогою компресійних фітингів, оснащених запірними клапанами та витратомірами. Колектори виготовлені з нержавіючої сталі та розміщені в заглиблених шафах з тепловою та акустичною ізоляцією. З'єднання між стяжкою і стінами оброблено еластичним ущільненням для запобігання проникненню вологи.



Рис. 3.7 Приклад фіксації труб

Ця багат шарова конструкція підлоги забезпечує безперервну, теплоефективну і механічно стабільну систему, здатну витримувати високі пішохідні навантаження, типові для навчальних закладів. Розрахунковий тепловий опір підлоги від верхньої поверхні до конструктивної основи становить $1,2\text{--}1,4 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$, а загальна поверхнева тепловіддача в стаціонарному режимі роботи залишається в межах $75\text{--}85 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Такі параметри забезпечують як енергоефективність, так і відповідність стандартам комфорту в класах, коридорах та інших функціональних приміщеннях ліцею[14].

3.2 Техніко-економічні показники системи

Теплова маса конструкції підлоги забезпечує інерцію, яка стабілізує температуру в приміщенні навіть після вимкнення джерела опалення. Питома теплоємність стяжки в $2,1 \text{ МДж}/\text{м}^3\cdot\text{К}$, дозволяє системі утримувати значну кількість енергії і поступово вивільняти її протягом декількох годин. Розрахункова питома тепла потреба ліцею становить $38 \text{ Вт}/\text{м}^3$ опалювального

об'єму, що відповідає 25 %-му зниженню енергоспоживання в порівнянні з радіаторними системами.

Система опалення була спроектована для триповерхової будівлі загальною площею 3000 м² і висотою стелі 3,0 м. Проектна температура в приміщенні становить 20–22 °С, а максимально допустима температура поверхні підлоги в зонах перебування людей — 29 °С. Тепловтрати будівлі, розраховані за проектною температурою зовнішнього повітря –20 °С, становлять 60 Вт/м², що дає загальну необхідну теплову потужність 180 кВт[4].

Система працює в низькотемпературному режимі 45/35 °С (подача/повернення), що дозволяє використовувати енергоефективні конденсаційні котли та мінімізувати втрати при розподілі. Опалювальна мережа розділена на три гідравлічні контури, що відповідають кожному поверху, причому кожен поверх містить 30–35 контурів з труб із зшитого поліетилену (PE-Xa) із зовнішнім діаметром 16 мм. Загальна довжина трубопроводів у будівлі становить близько 9000 м, а відстань між трубами варіюється від 150 мм у класах до 200 мм у коридорах, щоб забезпечити рівномірний розподіл тепла.

Гідравлічні розрахунки показують, що загальний витрата системи становить 7,5 м³/год, а номінальний перепад тиску на контур становить 15–20 кПа. Електронно керовані циркуляційні насоси регулюють витрату на основі перепаду тиску і сигналів кімнатних термостатів, підтримуючи стабільну гідравлічну роботу і зменшуючи паразитні втрати енергії. Середній тепловий потік, що випромінюється від поверхні підлоги, становить від 50 до 80 Вт/м², залежно від теплового навантаження, забезпечуючи рівномірну температуру у всіх зайнятих приміщеннях з максимальним відхиленням ±1,5 °С.

Аналіз енергоефективності показує, що загальна річна потреба в енергії для опалення приміщень не перевищує 40 кВт·год/м² на рік. Для всієї будівлі це відповідає не більше 120 000 кВт·год/рік. При використанні сучасного конденсаційного газового котла із середньою сезонною ефективністю 96 % потреба в первинній енергії становить близько 38 кВт·год/м² на рік. Автоматичне

термостатичне регулювання та зонування зменшують перегрів і непотрібне теплопостачання на 15 %, що ще більше покращує енергоефективність.

Вартість установки системи теплої підлоги оцінюється в 1200 грн/м², що становить загальну інвестицію 3 600 000 грн для всієї будівлі. У порівнянні з традиційним радіаторним опаленням, система опалення збільшує початкові інвестиції на 300 грн/м², що становить 1 800 000 грн. Однак щорічна економія на експлуатації, яка оцінюється в 30 % від загальних витрат на опалення (146 000 грн/рік), забезпечує розрахунковий термін окупності 12 років. Очікуваний термін служби вбудованих компонентів перевищує 40 років, що забезпечує довгострокові економічні та технічні переваги[10].

Висока теплова інерція конструкції підлоги стабілізує мікроклімат у приміщенні, дозволяючи поступово реагувати на зовнішні коливання температури та внутрішні надходження від перебування людей та освітлення.

Таблиця 3.2 Техніко-економічні показники

Показник	Значення
Загальна теплова потужність	180 кВт
Температурний режим	45/35 °С
Тепловий потік з поверхні підлоги	50–80 Вт/м ²
Річне енергоспоживання	≤ 120 000 кВт·год/рік
Питомі тепловтрати	60 Вт/м ²
Довжина труб	≈9000 м
Тип труб	PE-Xa, Ø16 мм
Крок укладання	150–200 мм
Вартість системи	3 600 000 грн
Додаткові витрати	1 800 000 грн
Щорічна економія	≈146 000 грн
Термін окупності	≈12 років
Термін служби	> 40 років

Висновок

Дослідження показує, що впровадження водяної системи теплої підлоги в навчальних закладах є технічно та практично ефективним рішенням. Система забезпечує рівномірний розподіл тепла, підтримуючи комфортну температуру в приміщенні та мінімізуючи вертикальні градієнти. Гідравлічні та теплові розрахунки підтверджують стабільну роботу в умовах низької температури подачі, з тепловими потоками, адаптованими до теплового навантаження різних зон.

Інтеграція автоматизованого управління та зонування забезпечує точне регулювання температури, зменшуючи споживання енергії та підвищуючи стабільність роботи. Висока теплова інерція конструкції підлоги сприяє поступовій реакції на коливання зовнішніх і внутрішніх теплових навантажень, забезпечуючи стабільні умови в приміщенні.

У порівнянні з традиційними радіаторними системами, система теплої підлоги досягає вищої енергоефективності та екологічності. Нижчі робочі температури зменшують втрати при розподілі і дозволяють використовувати сучасні низькотемпературні джерела тепла, що сприяє зниженню споживання палива і викидів парникових газів. Система відповідає сучасним стандартам енергоефективності та забезпечує довгострокову надійність.

В цілому, дослідження підтверджує, що водяна тепла підлога є стійким, ефективним і технічно обґрунтованим вибором для ліцею, поєднуючи тепловий комфорт, стабільність роботи та відповідність екологічним стандартам. Результати демонструють доцільність впровадження таких систем в подібних освітніх та громадських будівлях.

РОЗДІЛ 4
ОПИС АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОГО РІШЕННЯ БУДІВЛІ
4.1 Ситуаційний план



Рис. 4.1 Ситуаційний план

Ліцей розташовано на перетині вулиці Армійської та провулку Дачного в місті Охтирка.

4.2 Об'ємно-планувальне рішення

Об'ємно-планувальне рішення ліцею задумано як триповерхова будівля загальною висотою 10,5 метра, при цьому кожен поверх має висоту від підлоги до стелі 3 метри. Площа будівлі простягається вздовж осей 1–13 загальною довжиною 59 000 мм і вздовж осей А–Ж шириною 30 000 мм[2]. Конструкція складається з двох частин з'єднаних на рівні першого поверху коридором. В будівлі є підвал в якому розташовано спортивний зал.

Доступ до будівлі здійснюється через три входи, а переміщення між поверхами відбувається через три сходові клітини. Просторове розташування входів і сходових клітин забезпечує безпеку та легкість евакуації, зберігаючи функціональну незалежність кожного поверху.

Конструктивно ліцей базується на залізобетонній каркасній системі. Ця конструктивна система дозволяє створювати великі прольоти та відкриті внутрішні простори, забезпечуючи міцність і стійкість до вертикальних і горизонтальних навантажень[1].

4.3 Архітектурно-конструктивне рішення

Фундамент

Фундамент будівлі ліцею стрічковий, який забезпечує рівномірну передачу навантаження від каркаса будівлі на несучий шар ґрунту. Він розташований суцільно під усіма залізобетонними колонами. Конструкція має проектну ширину 1400 міліметрів і глибину 1200 міліметрів та спирається на ущільнену піщано-гравійну подушку товщиною 200 міліметрів. Цей базовий шар рівномірно розподіляє навантаження і усуває вплив морозного здимання під час сезонного замерзання[13].

Фундамент виготовлений із монолітного залізобетону класу міцності С25/30 з контрольованим водоцементним співвідношенням, що не перевищує 0,5, що забезпечує високу міцність на стиск і низьку проникність. Система армування складається з поздовжніх робочих стрижнів класу А400С діаметром від 16 до 20 міліметрів і поперечного розподільного армування класу А240 з діаметром стрижнів від 8 до 10 міліметрів, розташованих з кроком 200 міліметрів. Для захисту армування від корозії та впливу навколишнього середовища передбачено бетонне захисне покриття товщиною 40 міліметрів. У верхній зоні фундаменту встановлюються вбудовані сталеві пластини та анкерні болти для кріплення залізобетонних колон каркаса будівлі[5].

Зовнішні вертикальні поверхні фундаменту теплоізовані екструдованими пінополістирольними плитами товщиною 100 міліметрів і

щільністю не менше 35 кг/м³. Ізоляція кріпиться до підготовленої бетонної поверхні за допомогою бітумно-полімерних клеїв, що забезпечує безперервний контакт і усуває теплові мости. Перед установкою ізоляції поверхня фундаменту покривається двошаровою гідроізоляційною системою, що складається з ґрунтовки і двох шарів бітумно-полімерної мастики, утворюючи безшовний бар'єр проти проникнення капілярної вологи. Додатково між фундаментом і надземною частиною стіни наноситься горизонтальний гідроізоляційний шар рулонної бітумної мембрани для запобігання підйому вологи. Ізоляція фундаменту додатково захищається геотекстильною мембраною і дренажною плитою для захисту від механічних пошкоджень і гідростатичного тиску[20].

Процес будівництва фундаменту передбачає механізоване риття траншеї до проектної глибини, ручне вирівнювання дна та укладання піщано-гравійної подушки, ущільненої вібраційними плитами до коефіцієнта щільності не менше 0,98. Монтується опалубка, після чого укладаються попередньо зібрані арматурні клітки, закріплені розпірками для підтримки проектного бетонного покриття. Бетон заливається безперервно за допомогою насосів і ущільнюється для усунення повітряних порожнин.

Після завершення бетонування проводиться витримка протягом не менше семи днів під вологою мішковиною або плівкою для забезпечення контрольованої гідратації. Після досягнення бетоном проектної міцності опалубка демонтується, зовнішня поверхня очищається, наноситься гідроізоляція та теплоізоляція, а траншея засипається з пошаровим ущільненням ґрунту[12].

Каркас будівлі

Конструкція каркаса ліцею складається з збірних залізобетонних колон і балок, які створюють жорстку несучу систему, що забезпечує загальну просторову стабільність. Колони з поперечним перерізом 400×400 мм виготовлені із залізобетону класу С30/37 і армовані вісьмома поздовжніми стрижнями А500С Ø18 мм, зв'язаними 8-міліметровими хомутами, розміщеними

на відстані 150 мм у кінцевих зонах і 250 мм у середині. Таке армування забезпечує достатню стійкість до стискання та згину[1].

Збірні балки з перерізом 400×600 мм спираються на колони і утворюють горизонтальні елементи каркаса. Вони розраховані на прольоти до 6 м і армовані чотирма-шістьма поздовжніми стержнями А500С Ø16–22 мм і поперечними хомутами Ø8 мм з кроком 200 мм. З'єднання балок і колон виконуються за допомогою вбудованих сталевих пластин і анкерних дюбелів, які заповнюються для формування жорсткого монолітного з'єднання після монтажу.

Сходові системи ліцею є невід'ємними елементами залізобетонного каркаса, конструктивно з'єднаними з колонами і балками для забезпечення жорсткості і рівномірного розподілу навантаження. Кожна з трьох сходових клітин спроектована як залізобетонна конструкція, що складається з збірних сходових маршів і проміжних майданчиків, які спираються на несучі балки. Сходи виготовлені із залізобетону класу С30/37 з рівномірним кроком сходинок. Вона виконана у вигляді монолітної плити товщиною 120 мм, армованої поздовжніми стержнями А500С Ø12 мм і поперечною арматурою Ø8 мм з кроком 150 мм, що забезпечує достатню опірність згинанню та зсуву.

Сходові майданчики являють собою плити товщиною 150 мм, що спираються на залізобетонні балки, закріплені в колонах основної рами. Секції балок, що підтримують майданчики, мають розміри 300×400 мм і з'єднані з колонами за допомогою вбудованих сталевих пластин з анкерними дюбелями, що гарантують жорстке і стабільне з'єднання. Сходинки і майданчики з'єднані зварними сталевими вставками, утворюючи суцільну несучу конструкцію, здатну передавати вертикальні і горизонтальні навантаження[16].

Зовнішні, внутрішні стіни та перегородки

Всі зовнішні стіни ліцею побудовані з автоклавних газобетонних блоків товщиною 300 мм, з міцністю на стиск $\geq 2,5$ МПа. Блоки укладаються на тонкий шар полімермодифікованого розчину (товщина шва 2–3 мм) для забезпечення точного вирівнювання та мінімального теплового мосту. Прорізи для вікон і

дверей перекриваються збірними залізобетонними перемичками з поперечним перерізом відповідно до прольоту і навантаження на стіну; перемички мають розміри 200×250 мм для одинарних отворів до 2,0 м і 200×300 мм для ширших прольотів, армовані поздовжніми стрижнями А500С Ø12–16 мм і хомутами Ø8 мм з кроком 150 мм.

Зовнішні стіни з газобетону теплоізовані 150-міліметровими плитами з мінеральної вати щільністю 120 кг/м³, закріплені механічними анкерами в газобетонній основі та захищені вентиляваною системою облицювання. Ізоляція забезпечує тепловий опір більше 6 м²·К/Вт, зменшуючи загальний коефіцієнт теплопередачі фасаду до ≈0,17 Вт/м²К. Горизонтальні та вертикальні стики ізоляції розташовані в шаховому порядку та герметизовані для запобігання утворенню теплових мостів, а між блоками та ізоляцією нанесено паропроникну водонепроникну мембрану для запобігання проникненню вологи. Внутрішні перегородки – це монолітні стіни з газобетону товщиною 200 мм, що забезпечують стабільність розмірів і помірну звукоізоляцію; в класах і коридорах, де потрібні вищі акустичні характеристики, використовується заповнення з мінеральної вати для досягнення $R_w \geq 48-54$ дБ[7].

Перекриття та покрівля

Плити перекриття будівлі ліцею виконані з монолітного залізобетону товщиною 200 мм. Плити призначені для перенесення сукупного статичного навантаження конструктивних елементів, перегородок і оздоблювальних матеріалів, а також динамічного навантаження. Армування складається з верхнього та нижнього шарів сталевих стрижнів А500С, розташованих відповідно до вимог прольоту та згинального моменту, з додатковими зсувними з'єднаннями біля опор для запобігання утворенню тріщин. Плити забезпечують жорсткі діафрагми, які інтегрують поперечну жорсткість каркаса будівлі та служать основою для оздоблення підлоги[11].

Дах є плоским і побудований як багат шаровий вузол над монолітною плитою верхнього поверху. Послідовність шарів знизу вгору починається з

конструктивної бетонної плити, за якою йде суцільна пароізоляція для запобігання міграції вологи вгору[17]. Над пароізоляцією встановлюється шар мінеральної вати товщиною 150 мм з щільністю не менше 120 кг/м³. Поверх утеплювача наноситься армована стяжка з розрахунковим ухилом 2–3 % у бік точок водовідведення даху для забезпечення ефективного стоку води[6]. Дах завершується полімерною мембранною покрівельною системою повністю приклеєною до поверхні стяжки, що забезпечує міцний, водонепроникний і стійкий до УФ-випромінювання шар. Всі шари узгоджені між собою, щоб запобігти утворенню теплових мостів і дозволити відведення конденсату та дощової води.

Вікна та двері

Вікна та двері ліцею спроектовані як високоефективні елементи оболонки, що забезпечують теплову стабільність, акустичний захист, механічну міцність та відповідність стандартам безпеки. Всі компоненти підібрані з точними розмірними, структурними та фізичними характеристиками, придатними для навчального закладу, що працює в холодному континентальному кліматі[3].

Зовнішні вікна виконані у вигляді потрійних склопакетів з ПВХ із загальною товщиною скління 40–48 мм. Склопакет складається з двох низькоемісійних стекол з коефіцієнтом емісії нижче 0,04 і одного стандартного скла, розділених заповненими аргоном порожнинами шириною 12 мм. Така конфігурація забезпечує теплопровідність 0,9–1,1 Вт/м²·К і індекс шумоізоляції 38–42 дБ, що підтримує комфорт всередині приміщення навіть у зовнішніх умовах з високим рівнем шуму. Віконні рами виготовлені з багатокамерних ПВХ-профілів з конструктивною глибиною 70–82 мм, армованих вставками з оцинкованої сталі товщиною 1,5–2 мм для забезпечення жорсткості під вітровим навантаженням. Всі рами оснащені ущільнювачами і багатоточковими системами замикання, що забезпечує герметичність і водонепроникність[18]. Монтаж виконується з використанням пінополіуретану з лінійною щільністю 25–30 кг/м³,

в поєднанні з паропроникними зовнішніми і паронепроникними внутрішніми ущільнювальними стрічками для запобігання накопиченню вологи.

Зовнішні входні двері виготовлені з алюмінієвих профілів з конструктивною глибиною 70–75 мм і тепловими розривами 30–34 мм, що забезпечує теплопровідність 1,6–1,9 Вт/м²·К і стійкість до механічного зносу під час інтенсивної щоденної експлуатації. Дверні полотна засклені 24–32 мм ізолюваними блоками і закріплені важкими петлями, розрахованими на 200 000 циклів відкривання. На аварійних виходах встановлено фурнітуру з панічною засувкою, а пороги сформовані з тепловими роздільниками для усунення мостів холоду[19].

Внутрішні двері в класах, адміністративних приміщеннях та службових приміщеннях виготовляються з масивних МДФ-панелей товщиною 40–45 мм з поверхнею покритою поліуретановою емаллю. Ці двері мають високий клас вогнестійкості і оснащені акустичними ущільнювачами, що забезпечують звукоізоляцію 28–32 дБ. Рами виготовляються з ламінованої деревини або МДФ щільністю 600–750 кг/м³, призначені для точного монтажу з допуском не більше ±1 мм по висоті та ширині. Вологі приміщення обладнані вологостійкими дверима з ПВХ-покриттям або армованими скловолокном з корозієстійкою фурнітурою.

Фурнітура для всіх дверей включає ручки, петлі та засувки з нержавіючої сталі, що забезпечує довгострокову надійність при високому навантаженні типовому для навчальних будівель. Монтаж передбачає використання полімерної монтажної піни, механічних анкерних точок та ущільнення по периметру для збереження вогнестійкості, акустичних та теплових характеристик[15].

Зовнішнє та внутрішнє оздоблення

Оздоблювальні роботи ліцею виконуються з точним дотриманням технічних характеристик, довговічності та візуальної якості. Зовнішні стіни покриті над теплоізоляційним шаром паропроникною ґрунтовкою, а потім двома шарами акрилової або силікатної фарби, кожна з яких наноситься з розрахунку

0,25–0,3 кг/м² на шар, що дає загальну товщину сухої плівки 120–150 мкм. Система покриття розроблена таким чином, щоб витримувати перепади температур від -30 °С до +50 °С та ультрафіолетове випромінювання без тріщин та вицвітання протягом щонайменше 10–15 років. Всі компенсаційні шви, віконні та дверні прорізи, а також фасадні кути ущільнюються еластичним поліуретановим герметиком зі здатністю до подовження 400 %, що забезпечує повну водонепроникність і збереження цілісності теплового бар'єру[7].

Внутрішні стіни готуються за допомогою 15–20 мм шару гіпсової штукатурки, що забезпечує міцність на стиск 2–3 МПа і допуск на рівність поверхні ± 2 мм на 2 м. Класи, коридори та вестибюлі фарбуються водорозчинною акриловою фарбою з низьким вмістом ЛОС у кількості 0,2–0,25 кг/м² на шар, наносячи два шари для досягнення загальної товщини плівки 100–120 мкм, що забезпечує стійкість до стирання ≥ 150 циклів. Приміщення з підвищеною вологістю, включаючи санвузли та кухні, оброблені керамічною плиткою товщиною 10 мм з міцністю на розрив ≥ 35 МПа та водопоглинанням ≤ 3 %, укладена полімерним клеєм з розрахунку 3–5 кг/м² та затерта цементною затіркою шириною 3–5 мм.

Стелі оброблені гіпсокартонними плитами товщиною 12,5 мм, закріпленими на оцинкованих металевих профілях 50×27 мм з кроком 400 мм. Шви армовані скловолокнутою стрічкою та шпаклівкою для досягнення рівності ± 2 мм на 2 м. У вологих приміщеннях використовуються вологостійкі гіпсокартонні плити товщиною 12,5 мм з водопоглинанням ≤ 10 %. Всі отвори для систем освітлення, опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, а також протипожежної системи ущільнені силіконовими герметиками з діапазоном робочих температур від -40 °С до +120 °С для забезпечення вогнестійкості та вологостійкості[9].

Оздоблення підлоги точно узгоджене з вбудованими системами теплої підлоги. У класах встановлено 65-міліметрову цементно-піщану стяжку поверх 30-міліметрової екструдованої полістирольної ізоляції ($\lambda = 0,033$ Вт/м·К) з

вбудованими трубами РЕ-Ха Ø16 мм з кроком 150 мм і максимальною довжиною петлі 90 м. Оздоблені поверхні складаються з ламінату або паркету товщиною 8–10 мм укладеного на самовирівнювальний клей з щільністю 2–3 кг/м². Коридори та вестибюлі мають 70 мм стяжку над 30 мм полістиролом з трубами РЕ-Ха Ø16 мм з інтервалом 200 мм, оброблені 10 мм керамічною плиткою, міцність на розрив ≥ 35 МПа, водопоглинання ≤ 3 % та опір ковзанню $\geq R10$ [8]. У спортивних та актових залах використовується 80-міліметрова стяжка поверх 40-міліметрової екструдованої полістирольної ізоляції, РЕ-Ха трубами Ø16 мм з кроком 150 мм, оброблені спеціальним ламінованим покриттям товщиною 8–12 мм. У санвузлах і кухнях використовується 65-міліметрова армована стяжка зі сталевією сіткою Ø4 мм з кроком 100×100 мм поверх 30-міліметрового полістиролу, з фінішним покриттям з 12-міліметрової керамічної плитки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009 [Чинний від 2011-01-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2011. – 45 с. (Національні стандарти України).
2. Благоустрій територій (зі Змінами): ДБН Б.2.2-5:2011 [Чинний від 2012-09-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2019. – 44 с. (Національні стандарти України).
3. Вікна та двері: ДСТУ EN 14351-1:2020.
4. Довідково-інформаційний збірник ресурсів та одиничних розцінок на будівельно-монтажні роботи, Суми, СНАУ – 2011 р.
5. Кам'яні та армокам'яні конструкції: ДБН В.2.6-162:2010.
6. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-75:2013.
7. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією: ДБН В.2.6-33:2018.
8. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Підлоги.
9. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Оздоблювальні роботи.
10. Кошторисні норми України «Настанова з визначення вартості будівництва»: [Чинний від 2021-11-09]. -К: Мінрегіонбуд України, 2021. – 44–46 с. (Національні стандарти України).
11. Навантаження і впливи. Норми проектування: ДБН В.1.2-2:2016 [Чинний від 2017-10-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2016. – 13–16 с. (Національні стандарти України).
12. Нормування праці та кошториси в будівництві. Суми -«Мрія – 1», 2010, 452 с.
13. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення: ДБН В.2.1-10:2018.

14. Організація будівельного виробництва: ДБН А.3.1-5:2016 [Чинний від 2016-01-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2016. – 44–46 с. (Національні стандарти України).

15. Охорона праці і промислова безпека в будівництві ДБН А.3.2-2-2009: [Чинний від 2012-04-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2012. – 53–54 с. (Національні стандарти України).

16. Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В.1.1.7-2016 [Чинний від 2017-06-01]. -К: Держбуд України, 2017. – 84 с. (Національні стандарти України).

17. Покриття будівель і споруд: ДБН В.2.6-220:2017.

18. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5-28:2018 [Чинний від 2019-02-28]. -К: Мінрегіонбуд України, 2018. – 7 с. (Національні стандарти України).

19. Склад та зміст проектної документації на будівництво: ДБН А.2.2-3-2014 [Чинний від 2014-10-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2014. – 10 с. (Національні стандарти України).

20. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016 [Чинний від 2016-10-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2017. – 15 с. (Національні стандарти України).

21. Vasok V., Tkachenko M., Nedbailo O., Bozhko I. Research into energy efficiency of the underfloor heating system, assembled dry // Technological audit and production reserves. – 2018. – № 3(1(41)). – P. 52–57.