

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

Литовченко Едуард Едуардович

1. **Тема роботи** Заходи з утеплення фундаментної зони огорожуючої конструкції адмінбудівлі в селі Степанівка Сумської області

Затверджено наказом по університету № 1915/в від "30" серпня 2024р.

2. Строк здачі студентом закінченої роботи: "10" грудня 2024 р

3. Вихідні дані до роботи: Заходи щодо утеплення фундаментної зони і огорожуючих конструкцій адмінбудівлі в селі Степанівка Сумської області; фасади мають першого поверху; фундаменту; другого поверху.

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

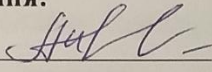
1. Аналіз процесу втрати тепла через підлогу на ґрунт в цивільних спорудах зі стріжковими малозамішеними фундаментами. 2. Дослідження кількох методів теплоізоляції підлоги та відокремлення їх недоліків. 3. Визначення найбільш оптимальної величини розташування теплоізоляційного матеріалу в конструкції фундаменту.

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

Вступ; основні питання дослідження
утеплення фундаментної зами огороджу-
ючої конструкції; мультимедійні матеріали.

Завдання видав до виконання:

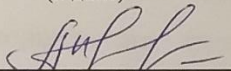
Керівник :


(підпис)

Андрух С.Л.

(Прізвище, ініціали)

Консультант:

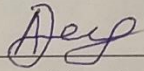

(підпис)

Андрух С.Л.

(Прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання:

Здобувач


(підпис)

Литовченко Е.Е.

(Прізвище, ініціали)

Анотація

Литовченко Едуард Едуардович. Заходи з утеплення фундаментної зони огорожуючої конструкції адмінбудівлі в селі Степанівка Сумської області
– Кваліфікаційна робота магістра на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2024.

Робота складається із змісту, загальної характеристики роботи та її кваліфікаційних ознак, огляд досліджень за обраною темою, розділів основної частини та висновків по роботі.

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

Результати досліджень дослідити ключові методи теплоізоляції підлоги та відокремлюючи їхні недоліки, проаналізувати склад теплових втрат підлоги, що спирається на ґрунт, і визначити конструктивні елементи, які потребують енергоефективного вдосконалення. 2. Встановити найоптимальніші способи розташування теплоізоляційного матеріалу в конструкції фундаментної зони, спрямовані на мінімізацію тепловтрат через підлогу.

В основній частині розглянуті актуальні питання щодо утеплення фундаментів для регіонів із холодним кліматом, де значні перепади температур призводять до утворення теплових містків і руйнівного впливу морозного пучення ґрунтів. Водночас, у тепліших кліматичних зонах утеплення фундаменту дозволяє зменшити навантаження на системи охолодження, сприяючи створенню стабільного внутрішнього температурного режиму.

Із впровадженням сучасних будівельних стандартів та законодавчих вимог щодо енергозбереження, таких як ДБН В.2.6-31:2021 "Теплова ізоляція будівель", утеплення фундаментної зони стає не лише необхідністю, а й важливим кроком у досягненні високого класу енергоефективності будівлі. До того ж, утеплення фундаменту забезпечує додатковий захист конструкцій від впливу вологи та низьких температур, що значно підвищує довговічність будівлі.

Таким чином, дослідження та впровадження ефективних методів утеплення фундаментної зони є актуальним завданням, яке сприяє зменшенню енергоспоживання, підвищенню економічної ефективності будівель та забезпеченню комфорту і безпеки для мешканців.

У **висновках** розглянуто проблему в дослідженні стаціонарного режиму теплопередачі у фундаментній зоні; запропонована математична модель, яка може забезпечити можливість аналітичного дослідження температурного поля в зоні фундаменту; визначено конструктивну структуру підлоги, фундаменту та цоколя, що характеризуються специфічними теплофізичними властивостями, для їх подальшого використання в дослідженні теплового режиму фундаментної зони.

Ключові слова: утеплення фундаментної зони, зона промерзання ґрунту, будівельна фізика, метод скінченних елементів.

Список публікацій: Литовченко Е.Е., Андрух С.Л. Заходи з утеплення фундаментної зони огорожуючої конструкції адмінбудівлі в селі Степанівка Сумської області//V Міжнародної науково-практичної дистанційної конференції / SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS OF CONTEMPORARY SOCIETY (5-7 грудня 2024 р)

В додатках наведено; тези конференції, альбом слайдів мультимедійної презентації.

Структура роботи.

Робота складається з основного тексту на ___ сторінках, у тому числі ___ таблиць, ___ рисунків. Текст роботи містить загальну характеристику роботи, ___ розділів, висновки і рекомендації за результатами роботи, список з ___ використаних джерел, _ додатків на ___ сторінках. Графічна частина складається з ___ аркушів креслень та ___ плакатів (або ___ слайдів мультимедійної презентації).

Abstract

Eduard Eduardovich Lytovchenko. Measures for insulation of the foundation zone of the enclosing structure of the administrative building in the village of Stepanivka, Sumy region – Master's qualification work in the form of a manuscript.

Master's qualification work in specialty 192 "Construction and civil engineering".
– Sumy National Agrarian University, Sumy, 2024.

The work consists of the content, general characteristics of the work and its qualification features, a review of research on the selected topic, sections of the main part and conclusions on the work.

The goal, objectives, object and subject of the study, methods of scientific research are formulated.

Research results to investigate key methods of floor thermal insulation and, separating their shortcomings, to analyze the composition of heat losses of the floor resting on the ground, and to identify structural elements that require energy-efficient improvement. To establish the most optimal ways of arranging thermal insulation material in the foundation zone structure, aimed at minimizing heat loss through the floor.

The main part considers current issues regarding foundation insulation for regions with cold climates, where significant temperature differences lead to the formation of thermal bridges and the destructive effects of frost heaving of soils. At the same time, in warmer climate zones, foundation insulation allows you to reduce the load on cooling systems, contributing to the creation of a stable internal temperature regime. With the introduction of modern building standards and legislative requirements for energy saving, such as DBN V.2.6-31:2021 "Thermal Insulation of Buildings", foundation insulation becomes not only a necessity, but also an important step in achieving a high class of energy efficiency of the building. In addition, foundation insulation provides additional protection of structures from the effects of moisture and low temperatures, which significantly increases the durability of the building. Thus, the study and implementation of effective methods of insulation of the foundation zone is an urgent task that contributes to reducing energy consumption,

increasing the economic efficiency of buildings and ensuring comfort and safety for residents.

The **conclusions** consider the problem of studying the steady-state heat transfer regime in the foundation zone; a mathematical model is proposed that can provide the possibility of analytical study of the temperature field in the foundation zone; the structural structure of the floor, foundation and basement, characterized by specific thermophysical properties, is determined for their further use in studying the thermal regime of the foundation zone.

Keywords: insulation of the foundation zone, soil freezing zone, building physics, finite element method.

List of publications: Litovchenko E.E., Andrukh S.L. Measures for insulation of the foundation zone of the enclosing structure of the administrative building in the village of Stepanivka, Sumy region//V International Scientific and Practical Distance Conference / SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS OF CONTEMPORARY SOCIETY (December 5-7, 2024)

The appendices include; conference abstracts, an album of multimedia presentation slides.

Structure of the work. The work consists of the main text on ___ pages, including ___ tables, ___ figures. The text of the work contains a general description of the work, ___ sections, conclusions and recommendations based on the results of the work, a list of ___ sources used, _ appendices on ___ pages. The graphic part consists of ___ sheets of drawings and ___ posters (or ___ slides of a multimedia presentation).

ЗМІСТ

Завдання

.....

Анотація

.....

Вступ

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

РОЗДІЛ 2. БІБЛОГРАФІЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Історія початку утеплення фундаментної зони будівлі

2.2. Навіщо потрібно утеплювати фундаментну частину будівлі

2.3. Вимоги щодо теплозахисту конструкцій фундаментної зони

2.4. Оцінка параметрів термостійкості підлоги

2.5. Рішення задача будівельної фізики методом скінченних різниць
....

2.6. Огляд відомих способів утеплення прилеглої до фундаменту зони

**РОЗДІЛ 3. ВИВЧЕННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ПІДЛОГИ НА
ГРУНТІ ТА СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ ДЛЯ ОБЧИСЛЕННЯ
ТЕМПЕ-РАТУРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

3.1. Стаціонарний процес теплопереносу. Математична постановка
задачі

3.2. Підрахункові параметри щодо клімату зовнішнього середовища ...

3.3. Вивчення властивостей ґрунтів України для теплотехнічного
аналізу фундаментної ділянки

3.4. Встановлення розмірів області моделювання та визначення
граничних умов під час обчислення температурних полів

3.5. Стандартні проектні рішення для вимощення та фундаменту
будівлі

3.6. Вирішальні конструктивні підлоги будівлі

РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА АЛГОРИТМ ВИВЧЕННЯ ТЕПЛОЗАХИСТУ ФУНДАМЕНТНОЇ ЗОНИ

- 4.1. Аналіз конструктивних підходів до облаштування вертикальної теплоізоляції
- 4.2. Визначення теплозахисних характеристик фундаментної зони за умов утеплення фундаменту
- 4.3. Міри зі скорочення втрат тепла через підлогу на ґрунті та їхня економічна доцільність
- 4.4. Конструкції підлог з визначеними показниками теплостійкості
- 4.5. Розрахунок економічної ефективності утеплення фундаментної зони за приведеними тепловтратами
- Список використаних джерел
- Додаток

ВСТУП

Енергоефективність будівель є одним із ключових напрямків сучасного будівництва, оскільки від ефективного використання енергії залежить комфорт проживання, зменшення витрат на опалення та охолодження, а також зниження негативного впливу на довкілля. Одним із важливих елементів у цьому процесі є утеплення фундаментної зони будівлі.

Фундамент виконує не лише несучі функції, забезпечуючи стійкість і довговічність споруди, але й суттєво впливає на енергетичний баланс будівлі. Через недостатньо утеплений фундамент втрачається значна частина тепла, що призводить до збільшення енерговитрат і утворення несприятливого мікроклімату всередині приміщення. До того ж відсутність належного утеплення може сприяти утворенню конденсату, який шкодить будівельним конструкціям, спричиняючи їхнє поступове руйнування.

Утеплення фундаментної зони дозволяє мінімізувати тепловтрати, покращити комфортні умови проживання та запобігти утворенню теплових містків. Сучасні матеріали та технології, що застосовуються для утеплення фундаментів, забезпечують ефективний теплоізоляційний захист, а також підвищують довговічність конструкцій і загальну енергоефективність будівель.

Метою роботи є аналіз методів і матеріалів для утеплення фундаментної зони, визначення їхньої ефективності та впливу на загальну енергоефективність будівлі, а також оцінка їхньої економічної доцільності.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В умовах сучасного розвитку будівельної галузі та зростаючих вимог до енергоефективності будівель особливого значення набувають заходи, спрямовані на зниження тепловтрат. Однією з найважливіших складових енергетичного балансу будівлі є утеплення фундаментної зони, яка часто залишається недооціненою при плануванні теплоізоляційних заходів. Однак через неутеплені фундаменти може втрачатися до 15-20% тепла, що призводить до зростання витрат на опалення, погіршення мікроклімату та передчасного зношення будівельних конструкцій.

Особливо актуальним є питання утеплення фундаментів для регіонів із холодним кліматом, де значні перепади температур призводять до утворення теплових містків і руйнівного впливу морозного пучення ґрунтів. Водночас, у тепліших кліматичних зонах утеплення фундаменту дозволяє зменшити навантаження на системи охолодження, сприяючи створенню стабільного внутрішнього температурного режиму.

Із впровадженням сучасних будівельних стандартів та законодавчих вимог щодо енергозбереження, таких як ДБН В.2.6-31:2021 "Теплова ізоляція будівель", утеплення фундаментної зони стає не лише необхідністю, а й

важливим кроком у досягненні високого класу енергоефективності будівлі. До того ж, утеплення фундаменту забезпечує додатковий захист конструкцій від впливу вологи та низьких температур, що значно підвищує довговічність будівлі.

Таким чином, дослідження та впровадження ефективних методів утеплення фундаментної зони є актуальним завданням, яке сприяє зменшенню енергоспоживання, підвищенню економічної ефективності будівель та забезпеченню комфорту і безпеки для мешканців.

Мета і завдання дослідження. Аналіз процесу втрати тепла через підлогу на ґрунті в цивільних спорудах зі стрічковим малозаглибленим фундаментом та оцінці впливу глибини сезонного промерзання ґрунту на розміри вертикальної теплоізоляції у фундаментній зоні.

Завдання дослідження: 1. Провести дослідження ключових методів теплоізоляції підлоги та відокремлюючи їхні недоліки, проаналізувати склад теплових втрат підлоги, що спирається на ґрунт, і визначити конструктивні елементи, які потребують енергоефективного вдосконалення. 2. Встановити найоптимальніші способи розташування теплоізоляційного матеріалу в конструкції фундаментної зони, спрямовані на мінімізацію тепловтрат через підлогу.

Об'єкт дослідження. Зона навколо фундаменту цивільних малоповерхових без підвальних будівель зі стрічковим фундаментом.

Предмет дослідження. Зона навколо фундаменту та температурний режим і вплив конструктивного рішення цієї зони на теплові втрати будівлі, що біля ґрунту.

Методи дослідження. Стандартні підходи будівельної фізики та метод скінченних елементів для розв'язання завдань у галузі будівельної фізики.

Наукова та технічна новизна одержаних результатів.

Наукова новизна:

- поліпшення методики проектування теплоізоляції конструкцій цивільних малоповерхових будівель, які контактують із ґрунтом;
- використання програмного комплексу ELCUT для моделювання та розрахунку фундаментної зони.

Практичне значення одержаних результатів. Передбачає розробку методики проектування теплоізоляції конструкцій цивільних малоповерхових будівель, що контактують із ґрунтом, яка забезпечує суттєве зменшення тепловтрат через підлогу на ґрунті, сприяє зниженню загальних витрат на опалення та вдосконаленню конструктивних рішень.

Апробація та публікація результатів роботи. Литовченко Е.Е., Андрух С.Л. Заходи з утеплення фундаментної зони огорожуючої конструкції адмінбудівлі в селі Степанівка Сумської області//V Міжнародної науково-практичної дистанційної конференції / SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS OF CONTEMPORARY SOCIETY (5-7 грудня 2024 р)

РОЗДІЛ 2. БІБЛЮГРАФІЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Історія початку утеплення фундаментної зони будівлі

Утеплення фундаментної зони будівлі — це порівняно новий етап у розвитку будівельних технологій, який з'явився у відповідь на зростаючу потребу в енергоефективності. Його витoki можна простежити до середини ХХ століття, коли почали з'являтися перші дослідження, що вказували на значні тепловтрати через підземну частину будівель.

Ранні підходи щодо фундаментів і їх ключова значимість у будівлі

У традиційній архітектурі фундаментна зона не вважалася місцем значних тепловтрат. У більшості будівель фундамент служив лише основою, що забезпечувала стійкість будинку. Матеріали для фундаментів (камінь, цегла або бетон) обиралися переважно за міцністю та довговічністю, без урахування теплоізоляційних властивостей.

На той час основною стратегією захисту фундаменту була гідроізоляція. Теплоізоляція, як поняття, ще не була поширена, оскільки дешеві енергоресурси та недосконалі методи теплообліку не створювали потреби в таких технологіях.

Початок становлення теплоізоляції: середина ХХ століття

У 1950-х роках, у період після Другої світової війни, у країнах Західної Європи та Північної Америки почали активно досліджувати питання енергоефективності. Зростання вартості енергоресурсів спонукало будівельну індустрію звернути увагу на теплоізоляцію не лише стін і дахів, але й фундаментної частини будівель.

Основні нововведення цього періоду:

- Виявлення ролі тепловтрат через ґрунт і фундамент.
- Поява перших теплоізоляційних матеріалів, таких як пінополістирол, який поступово почали використовувати для утеплення фундаментів.
- Випробування різних способів захисту фундаментної зони від промерзання.

Період активного розвитку: 1970-ті роки

Енергетична криза 1970-х років стала переломним моментом у популяризації утеплення фундаментної зони. Будівельні норми в багатьох країнах почали включати рекомендації щодо утеплення підземних конструкцій, щоб зменшити втрати тепла та забезпечити комфорт у будівлях.

- *Технологічний прорив:* Екструдований пінополістирол (ЕППС) став основним матеріалом для утеплення фундаментів завдяки його водонепроникності, довговічності та низькій теплопровідності.
- *Перші системи утеплення фундаментів:* З'явилися стандартизовані методики утеплення фундаментів із використанням теплоізоляційних плит і гідроізоляційних мембран.

Сучасний етап застосування утеплення фундаменту:

кінець XX — початок XXI століття

У XXI столітті утеплення фундаментної зони стало стандартом у будівництві енергоефективних будівель. Особливої уваги набули пасивні будинки, де утеплення фундаменту є ключовим елементом мінімізації енергоспоживання.

- *Комплексний підхід:* Теплоізоляція фундаменту тепер розглядається як частина загальної системи енергозбереження. Відбувається інтеграція утеплення з гідроізоляцією та дренажними системами.

- *Нові матеріали:* Окрім ЕППС, почали використовувати напилюваний пінополіуретан, який забезпечує безшовне утеплення, а також інноваційні утеплювачі на основі нанотехнологій.

- *Стандарти та сертифікація:* У багатьох країнах утеплення фундаменту є обов'язковим для отримання сертифікатів енергоефективності будівель.

Сучасна Україна та розвиток будівельної галузі з утеплення фундаментів

В Україні питання утеплення фундаментів стало актуальним у 2000-х роках із ростом цін на енергоносії та введенням державних програм з енергоефективності. Почали активно використовувати сучасні матеріали, зокрема ЕППС, а також приймати досвід європейських країн.

Резюме до застосування нових підходів у фундаментній зоні

Історія утеплення фундаментної зони будівель демонструє поступовий перехід від нехтування цим питанням до його інтеграції у сучасні будівельні стандарти. Це стало можливим завдяки науковим дослідженням, розвитку технологій і змінам у підходах до енергоспоживання. Утеплення фундаменту сьогодні є не лише необхідністю, але й обов'язковою умовою створення комфортного та економічного житла.

2.2. Навіщо потрібно утеплювати фундаментну частину будівлі

Сам по собі фундамент – це одна з ключових складових будь-якої споруди. Те, наскільки правильно його вибрали і побудували, визначає термін його експлуатації. Тому дуже важливо заздалегідь ретельно продумати та організувати всі роботи, щоб у процесі використання будівлі не виникало жодних проблем. Одним із важливих аспектів, який часто ігнорують, є теплоізоляція фундаменту. Багато хто помилково вважає, що достатньо утеплити лише стіни будівлі, не приділяючи уваги фундаменту. Сьогодні ми обговоримо кілька причин, чому утеплення фундаменту є необхідним.

Якщо провести заходи з утеплення фундаменту він буде менш схильний до процесів руйнування. Так фундамент, будучи розташованим у ґрунті, постійно піддається впливу таких факторів, як ґрунтові води, температурні коливання,

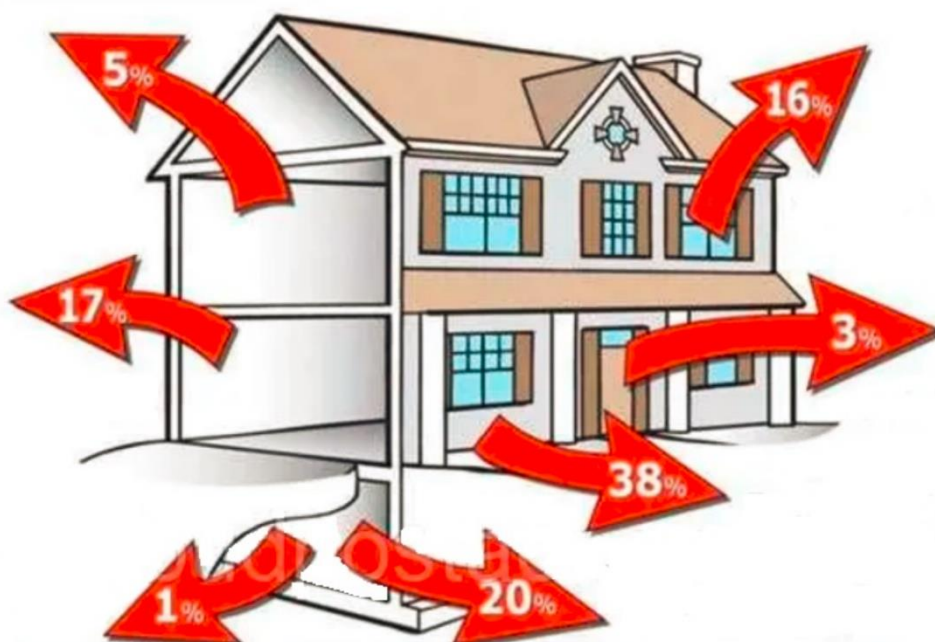
вітер і погодні умови. Через постійний вплив цієї агресивної дії його цілісність поступово порушується. Це може призвести до тріщин, появи протікань води або навіть до просідання всієї будівлі. Теплоізоляційний шар допомагає захистити фундамент від цих ризиків, значно продовжуючи термін його служби.

Як все ж такі може відбутися процес руйнування конструкції фундаменту. Якщо пригадати уроки хімії то вода при замерзанні збільшується в об'ємі. Коли вона проникає в тріщини фундаменту та там замерзає, вона поступово розширює ці тріщини. На перший погляд, це непомітний процес, але з часом тріщини стають більшими, оскільки в них накопичується дедалі більше води.

Щоб уникнути руйнування фундаменту, необхідно запобігти потраплянню води в тріщини або не дозволити їй замерзати. Обидва ці методи ефективні, але найкраще застосовувати їх разом. Для цього потрібно:

1. Облаштувати дренажну систему, яка відводитиме воду від фундаменту.
2. Забезпечити якісну гідроізоляцію конструкції, щоб запобігти проникненню вологи.
3. Виконати утеплення фундаменту, завдяки чому, навіть якщо вода потрапить всередину, вона не замерзатиме. Це значно знижує ризик руйнування споруди.

За рахунок проведення утеплення фундаменту ми можемо побачити та відчувати, що таким чином зменшується тепловтрати будівлі через фундаментну



зону. У зимовий період через неутеплений фундамент втрачається до 20% тепла (рис.1). Утеплення фундаменту допомагає уникнути цих втрат, що

дозволяє суттєво зекономити на опаленні. Холод не проникатиме в підвальні приміщення, забезпечуючи тепліші умови та менші витрати на енергоносії.

Рис.1. Загальна схема втрати тепла будівлі

Захист від конденсату у підвалі

У підвальних приміщеннях часто утворюється конденсат, що створює умови для розвитку плісняви. Це спричиняє необхідність проведення регулярного очищення, ремонтів і збільшення витрат на опалення. Проте ці дії вирішують проблему лише тимчасово, не усуваючи її причину.

В основі проблеми лежить положення точки роси — температури, при якій волога конденсується. У разі неутепленого фундаменту точка роси розташована ближче до внутрішньої сторони стін, що сприяє утворенню конденсату. Утеплення фундаменту зміщує точку роси до зовнішньої сторони конструкції, запобігаючи утворенню вологи в підвальних приміщеннях.

2.3. Вимоги щодо теплозахисту конструкцій фундаментної зони

В Україні нормативи щодо теплоізоляції фундаментної зони будівель регулюються Державними будівельними нормами, зокрема [22]. Цей регламент визначає основні вимоги до теплотехнічних характеристик конструкцій, які формують теплоізоляційну оболонку будівель, зокрема й фундаментів.

Ключові аспекти теплоізоляції фундаментної зони:

Тепловий опір огорожувальних конструкцій:

Згідно з [22], тепловий опір фундаментних конструкцій має відповідати передбаченим нормативам, які залежать від функціонального призначення будівлі та кліматичних умов регіону. Це забезпечує скорочення тепловтрат через фундаментну частину споруди.

Попередження теплових містків:

У процесі проектування та будівництва необхідно вживати заходів для уникнення появи теплових містків у місцях з'єднання фундаменту з іншими огорожувальними елементами. Це здійснюється за допомогою застосування теплоізоляційних матеріалів у зонах потенційного утворення таких мостів.

Гідроізоляція та захист від вологи:

Оскільки фундаментна частина будівлі зазнає впливу ґрунтової вологи, необхідно передбачити надійну гідроізоляцію перед укладанням утеплювача. Це запобігає поглинанню вологи ізоляційними матеріалами та збереженню їхніх теплоізоляційних характеристик.

Підбір матеріалів для теплоізоляції:

Для утеплення фундаментної частини будівель доцільно використовувати матеріали з низьким коефіцієнтом теплопровідності та високою вологостійкістю, наприклад, екструдований пінополістирол (ЕППС). Цей утеплювач відзначається значною міцністю та стійкістю до впливу вологи, що робить його ідеальним для використання в умовах підвищеної вологості.

Глибина монтажу утеплювача:

Теплоізоляційний шар повинен покривати фундаментну частину будівлі до глибини промерзання ґрунту, характерної для певної кліматичної зони. Це дозволяє уникнути замерзання фундаменту та мінімізує ризик утворення конденсату на внутрішніх поверхнях конструкцій.

Вентиляція під підлогового простору:

У разі наявності під підлогового простору важливо забезпечити його ефективну вентиляцію, що допоможе запобігти скупченню вологи та сприятиме підтриманню оптимального мікроклімату.

Дотримання цих норм сприяє підвищенню енергоефективності будівлі, скороченню теплових втрат і забезпеченню комфортних умов для проживання. При розробці проектів і будівництві фундаментної частини рекомендовано дотримуватися актуальних редакцій ДБН та залучати компетентних фахівців для виконання будівельних робіт.

2.4. Оцінка параметрів термостійкості підлоги

Дослідження теплового обміну між різними об'єктами, які перебувають у тимчасовому або постійному контакті з підлогою, зумовлене необхідністю зменшення їх теплових втрат. Швидкість теплового обміну об'єктів із підлогою за обмеженого часу контакту визначається теплофізичними характеристиками

поверхневого шару підлоги певної товщини, який бере участь у цьому процесі, зокрема коефіцієнтом тепло засвоєння підлоги [44].

Відповідно до [22], для підлог у житлових, громадських будівлях та приміщеннях промислових об'єктів із постійними робочими місцями обов'язковим є дотримання вимоги

$$Y_n \leq Y_{\max n}, \quad (1.1)$$

де Y_n - коефіцієнт теплосасвоєння підлоги, Вт/(м²·К);

$Y_{\max, n}$ - гранично допустиме значення коефіцієнта теплосасвоєння поверхні підлоги, Вт/(м²·К), яке встановлюється відповідно до таблиці 6 [22], залежно від функціонального призначення будівлі.

Дотримання умови за формулою (1.1) перевіряється на основі результатів випробувань, проведених акредитованими лабораторіями, або за результатами розрахунків коефіцієнта теплосасвоєння поверхні підлоги згідно з додатком С [22].

Коефіцієнт Y_n , Вт/(м²·К), теплосасвоєння поверхні підлоги визначають наступним чином:

а) якщо покриття підлоги характеризується тепловою інерцією $D_1 = R_1 \cdot s_1 \geq 0,5$,

коефіцієнт теплосасвоєння поверхні підлоги розраховується за формулою:

- для n - го шару
$$Y_n = \frac{2R_n \cdot s_n^2 + s_{n+1}}{0,5 + R_n \cdot s_{n+1}}, \quad (1.3)$$

- для i - го шару
$$Y_i = \frac{4R_i \cdot s_i^2 + s_{i+1}}{1 + R_i \cdot s_{i+1}}, \quad (1.4)$$

де D_1, D_2, D_{n+1} – теплова інерція відповідно 1-го, 2-го, ..., (n+1)-го шарів конструкції підлоги, що визначається за формулою

$$D = \sum_{i=1}^n R_i s_i; \quad (1.5)$$

R_i, R_n – термічні опори, м²·К/Вт, i -го й n -го шарів конструкції підлоги, що визначається за формулою

$$R_i = \delta_i / \lambda_i; \quad (1.6)$$

s_1, s_2, s_n, s_{n+1} – розрахункові коефіцієнти теплосасвоєння матеріалу 1-го, 2-го, ..., n , (n + 1)-го шарів конструкції підлоги, Вт/(м²·К), що приймаються згідно з табл. Л1

[22] для умов експлуатації А; Y_{i+1} – показник теплосасвоєння поверхні $(i+1)$ -го шару конструкції підлоги, Вт/(м²·К); δ_i – товщина i -го шару конструкції, м; λ_i – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції, Вт/(м·К).

Показник теплосасвоєння поверхнею підлоги Y_n приймається рівним показнику теплосасвоєння поверхні 1-го шару Y_1 .

2.5. Рішення задача будівельної фізики методом скінченних різниць

Метод скінченних різниць дозволяє відносно легко моделювати температурне поле будь-якої складності, проте він є досить громіздким і потребує значних часових витрат. Велика кількість необхідних обчислень створює труднощі для повної реалізації методу на комп'ютері.

Метод скінченних елементів [43] є одним із найефективніших чисельних підходів для розрахунку систем із складною геометрією та нерегулярною фізичною структурою.

Розглянемо задачу теплопровідності у двовимірній постановці [42].

З точки зору варіаційного підходу це зводиться до пошуку мінімального значення функціонала методи еквівалентності скінченних різниць та рішення диференційного рівняння теплопровідності.

$$\chi = \int \frac{1 \left(\lambda_x \left(\frac{\partial t(x,y)}{\partial x} \right)^2 + \lambda_y \left(\frac{\partial t(x,y)}{\partial y} \right)^2 - 2Q(x,y) \right)}{2} dV + \int q t(x,y) + \frac{1 \alpha_k (t(x,y) - t_w)^2}{2} dS$$

Метод скінченних різниць дозволяє отримати чисельне розв'язання задачі теплопровідності, що еквівалентне аналітичному розв'язанню відповідного диференційного рівняння. Основна ідея методу полягає у заміні похідних у рівнянні теплопровідності різницевиими виразами, які визначаються через значення температури у вузлах сітки.

Диференційне рівняння теплопровідності:

де:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T$$

- T — температура, що залежить від часу та координат;
- α — коефіцієнт теплопровідності;

- $\nabla^2 T$ — оператор Лапласа, що описує зміну температурного поля в просторі.

Дискретизація рівняння:

Метод скінченних різниць замінює похідні різницевиими виразами:

Часова похідна:

$$\frac{\partial T}{\partial t} \approx \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t}$$

Просторова похідна (наприклад, для одновимірного випадку):

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \approx \frac{T_{i+1}^n - 2T_i^n + T_{i-1}^n}{\Delta x^2}$$

Результуюче різницеве рівняння:

Об'єднуючи часову та просторову похідні, отримуємо:

$$\frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} = \alpha \frac{T_{i+1}^n - 2T_i^n + T_{i-1}^n}{\Delta x^2}$$

Це рівняння можна використовувати для розрахунку температури в кожному вузлі сітки на наступному часовому кроці T_i^{n+1} .

Еквівалентність:

Метод скінченних різниць є еквівалентним диференційному рівнянню теплопровідності у тому сенсі, що за достатньо дрібної сітки ($\Delta x \rightarrow 0, \Delta t \rightarrow 0$) отримане чисельне рішення прямує до точного аналітичного розв'язку.

Таким чином, метод скінченних різниць дозволяє отримати ефективний чисельний розв'язок для задач теплопровідності навіть у випадках, коли аналітичне рішення недоступне.

Під час розробки алгоритму застосовують математичний інструментарій, який забезпечується системами MATLAB. Аналіз температурних полів методом скінчених елементів дає змогу досліджувати тепловий режим конструктивних вузлів будь-якого рівня складності. Однак, як інженерний підхід до визначення характеристик теплоізоляційного шару, він є досить трудомістким.

2.6. Огляд відомих способів утеплення прилеглої до фундаменту зони

Розглядаючи наявні способи утеплення треба додати наступне це: утеплення прилеглої до фундаменту зони є важливим етапом енергозбереження будівлі, що забезпечує зниження тепловтрат через конструкцію фундаменту та покращення мікроклімату в приміщенні. Розглянемо основні підходи та матеріали, які застосовуються для утеплення цієї зони:

1. Утеплення зовнішньої поверхні фундаменту

Один із найпоширеніших методів, що передбачає ізоляцію зовнішніх стін фундаменту. Для цього використовують такі матеріали, як:

- **Екструдований пінополістирол (XPS):** забезпечує високу стійкість до вологи та механічних навантажень (рис.2).
- **Пінополіуретан:** застосовується у вигляді напилення, що створює безшовне покриття (рис.3).

2. Утеплення внутрішньої частини фундаменту

Використовується у випадках, коли зовнішнє утеплення неможливе.

Основні матеріали:

- **Мінеральна вата:** володіє хорошими теплоізоляційними властивостями, але вимагає додаткового захисту від вологи (рис.4).
- **Пінополістирол:** зручний у монтажі та має тривалий термін експлуатації (рис.5).

3. Утеплення цоколя (надземної частини фундаменту)

Цей спосіб передбачає ізоляцію зовнішньої надземної частини фундаменту для зменшення впливу низьких температур:

- **Декоративні теплоізоляційні панелі:** поєднують функцію утеплення та оздоблення (рис.6).
- **Фасадна штукатурка з теплоізоляційним шаром** розглянуто на (рис.7).

4. Створення утепленої відмостки

Утеплена відмостка перешкоджає промерзанню ґрунту навколо фундаменту, що знижує ризик його деформації. Як правило, застосовуються:

- **Екструдований пінополістирол (XPS):** укладається під шар бетону або тротуарної плитки (рис.8).

5. Комплексне утеплення фундаменту та прилеглої до нього зони

Такий підхід включає одночасне утеплення стін фундаменту, цоколя та відмостки, що забезпечує максимальний ефект енергозбереження дивись (рис.9).

Усі вищезазначені методи мають свої переваги та недоліки, тому вибір конкретного способу утеплення залежить від типу фундаменту, кліматичних умов, особливостей ґрунту та бюджету проекту.



Рис. 2. Приклад утеплення фундаментної зони за допомогою екструдований пінополістирол



Рис.3. Приклад утеплення фундаментної зони за допомогою пінополіуретану

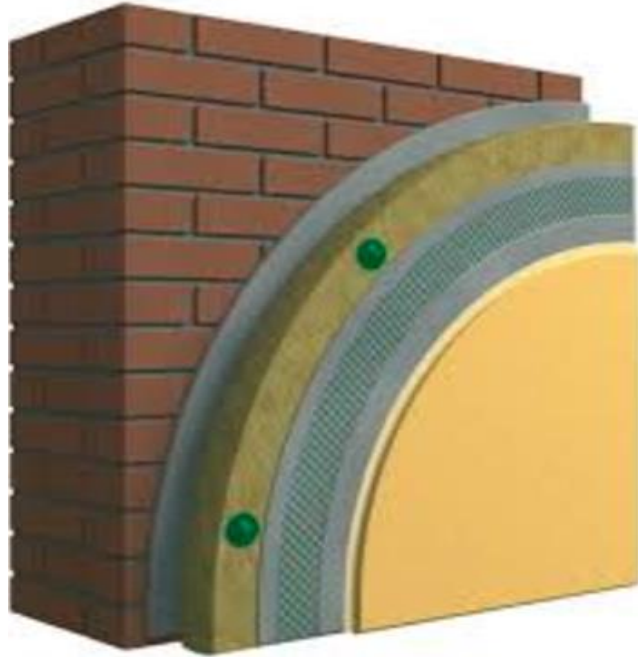


Рис. 4. Приклад утеплення внутрішньої частини фундаменту



Рис. 5. Принцип утеплення фундаменту пінополістиролом



Рис. 6. Утеплення фундаментної зони декоративною теплоізоляційною панеллю

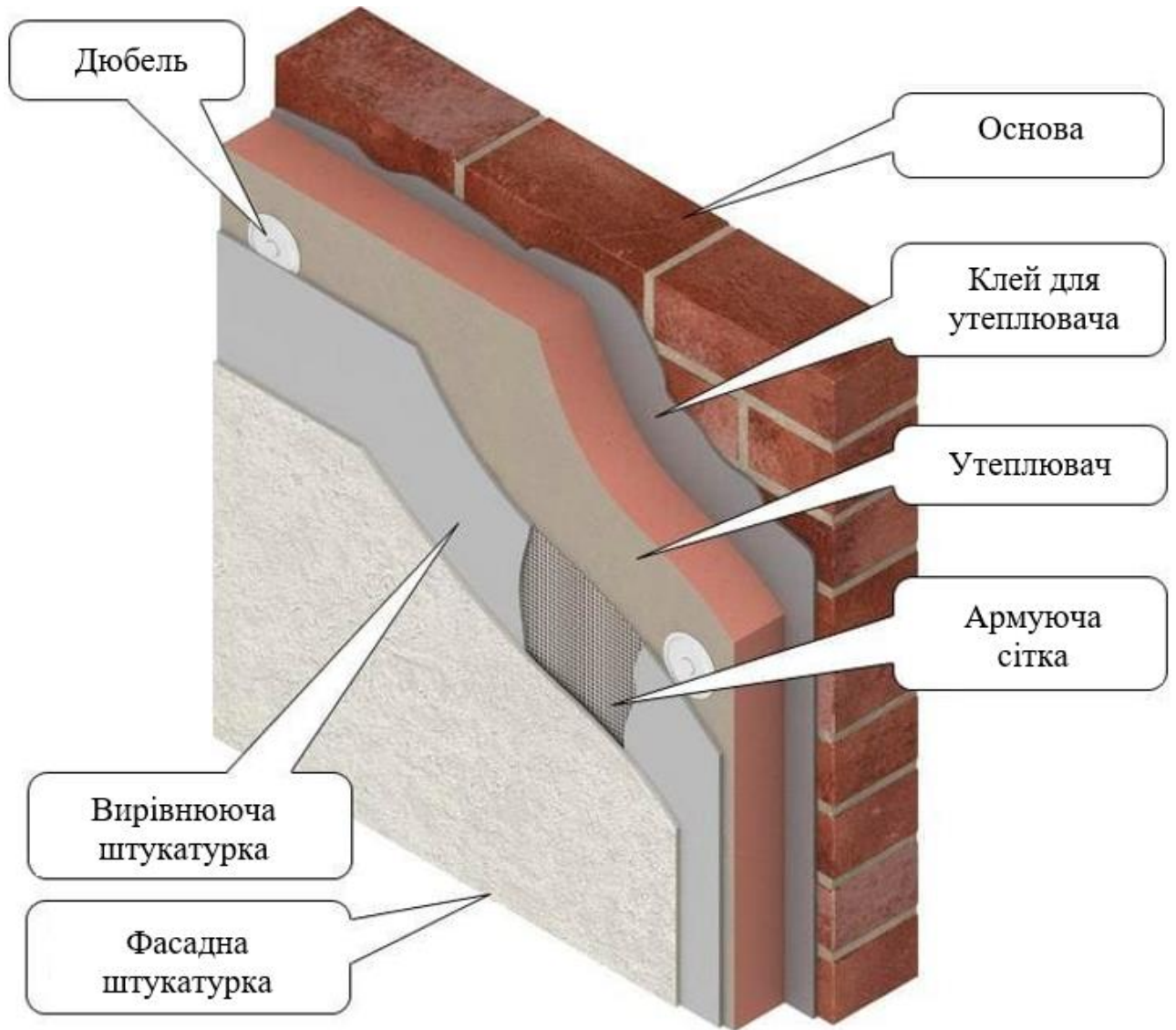


Рис. 7. Приклад фасадної штукатурки з теплоізоляційним шаром



Рис.8. Приклад утеплення екструдованим пінополістиролом відмостки



Рис. 9. Приклад комплексного утеплення фундаменту

На початку ХХ століття професор В.М. Чаплін зазначав, що при суцільних підлогах тепло втрачається через охолодження ґрунту [45]. Кількість тепла, яка передається шляхом теплопровідності, обернено пропорційна товщині шару, тому охолодження підлоги зменшується зі збільшенням відстані від зовнішньої стіни. Ширина зони охолодження залежить від різниці висот між поверхнею підлоги, яка поглинає тепло, та рівнем землі, що прилягає до зовнішніх стін. Чим менша ця різниця, тим коротший шлях проходження тепла через теплопровідність, а отже, інтенсивніше охолоджується підлога і ширша зона її охолодження.

Автор зазначає, що зниження рівня підлоги може призвести до того, що зона охолодження зникне повністю, тобто тепловтрати будуть відсутні. Він пропонує вирівнювати рівень підлоги з глибиною промерзання ґрунту. За його розрахунками, зона охолодження підлоги визначається прямою ab , проведеною під кутом 45° від точки c , що відповідає глибині промерзання (рис. 10). Межа

охолодження підлоги позначена відрізком cd , а зона охолодження фундаменту — відрізком ac .

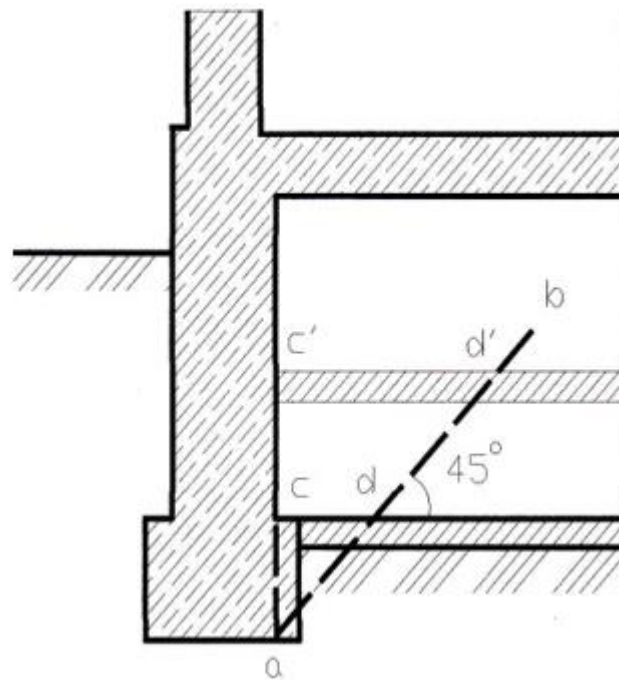


Рис. 10. Вплив ширини смуги фундаменту та його охолодження від рівня підлоги відносно поверхні землі

Обчислення (додаток табл. А.1) показали, що опускання рівня підлоги відносно поверхні землі зменшує тепловтрати підлоги. Проте, навіть за суміщення рівня підлоги з глибиною промерзання ґрунту, тепловтрати не зникають повністю, а зменшуються приблизно на 30%. Водночас зниження рівня підлоги є малоефективним методом зменшення втрат тепла. Оскільки основна частина тепловтрат через ґрунт відбувається в напрямку зовнішнього холодного ґрунту, тобто переважно горизонтально, то, за рекомендаціями В.Д. Мачинського [46], найбільш раціональним рішенням є застосування утеплювача, який потрібно розташовувати уздовж внутрішнього периметра будівлі на певну глибину в ґрунт (рис. 11).

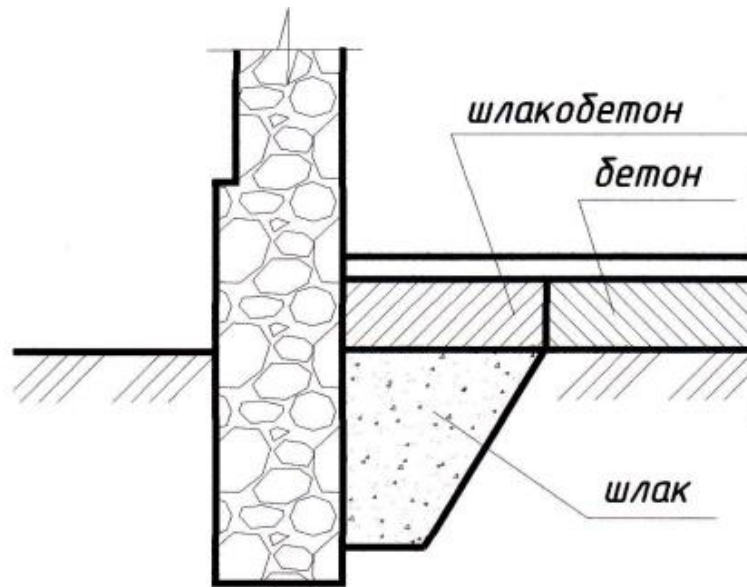


Рис. 11. Схема утеплення фундаменту за рахунок засипки його з шлаком

Проведені розрахунки (додаток табл. А.2) показали, що використання засипки незначно знижує загальні тепловтрати через підлогу. А більше, у зоні контакту з зовнішньою стіною тепловтрати навіть збільшуються. Температура поверхні тієї частини підлоги, яка прилягає до холодної зовнішньої стіни, залишається низькою при використанні засипки і починає зростати лише на відстані 0,5 м від стіни. Крім того, шлак з часом може ущільнюватися, вбирати вологу з ґрунту та підіймати її капілярним шляхом.

К.Ф. Фокін [45] також зазначає, що для підвищення температури підлоги на перших поверхах у зоні біля зовнішніх стін необхідно посилювати теплозахисні властивості конструкцій по периметру будівлі. Особливу увагу слід приділити цоколю, який має забезпечувати достатній рівень теплоізоляції. Для підлог, розташованих на суцільній основі, рекомендовано облаштування додаткового шару утеплювача за цоколем.

По периметру будівлі створюють теплу засипку, наприклад, із шлаку. Плінтус ізолює кут між зовнішньою стіною та підлогою. Для покращення теплоізоляційних властивостей його розміри збільшують і встановлюють на шар теплоізоляційного матеріалу.

Розрахунки (табл. А.3) показали, що використання плінтуса з високими теплоізоляційними характеристиками дозволяє зменшити загальні тепловтрати

через підлогу до 10%. Однак плінтус лише зміщує зону охолодженої поверхні підлоги від стіни і фактично незначно підвищує температуру в куті.

М. М. Гусєв наголошує, що в опалюваних приміщеннях без пустотні підлоги, розташовані на ґрунті, потрібно утеплювати в місцях контакту підлоги із зовнішньою стіною (рис. 12). Для утеплення рекомендується використовувати неорганічні матеріали [47].

Розрахунок температурного поля (табл. А.4) за схемами, наведеними на рис. 12, продемонстрував, що утеплення за схемою (12, а) є доволі ефективним — тепловтрати скорочуються на 50%, а за схемою (12, б) — на 60%. Проте в цих схемах недостатньо уваги приділено утепленню цоколя, через що температура у внутрішньому куті залишається низькою. Використання ж опалення (рис. 12, в) призводить до зниження цієї температури майже до 0°C.

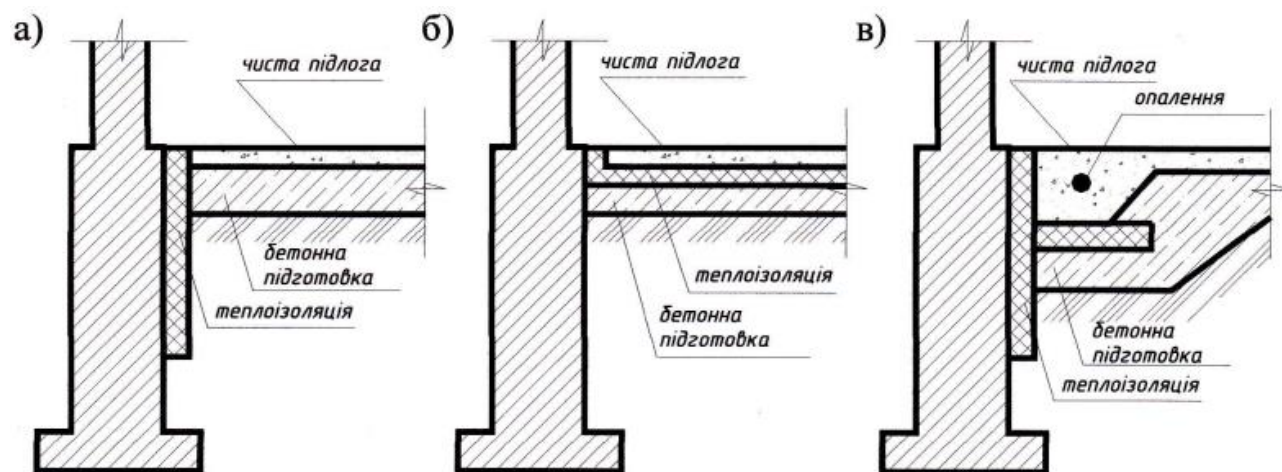


Рис. 12.

Згідно з [48], підлогу на ґрунті в приміщеннях із нормованою температурою повітря необхідно утеплювати в зоні контакту з зовнішніми стінами шляхом укладання вологостійкого неорганічного утеплювача. Ширина утеплювального шару повинна становити 0,8 м, а його товщина визначається таким чином, щоб термічний опір цього шару був не меншим, ніж термічний опір зовнішньої стіни.

Розрахунки (табл. А.5) показали, що застосування горизонтальних поясів утеплення знижує загальні тепловтрати підлогою на 20%. Це свідчить про те, що даний метод не є достатньо ефективним для повного утеплення підлоги. Температура поверхні тієї частини підлоги, яка прилягає до холодної зовнішньої стіни, залишається низькою навіть за наявності утеплювача.

Відповідно до рекомендацій компанії “ROCKWOOL” [49, 50], підлоги на ґрунті в опалюваних приміщеннях слід утеплювати як горизонтальними, так і вертикальними теплоізоляційними поясами. Мінімальні значення сумарних термічних опорів теплопередачі шарів стін у ґрунті та підлоги на ґрунті наведено в таблицях 1.3 і 1.4.

Таблиця 1.3. Умови щодо опору теплопередачі стіни в ґрунті

Відрізок стіни, який дотикається до ґрунту від рівня землі	$R_{min}, (M^2 * K/Вт)$	
	$4^{\circ}C < t < 16^{\circ}C$	$\geq 16^{\circ}C$
До глибини 1,0 м	0,8	1,0
Нижче 1,0 м	не потрібно	не потрібно

Таблиця 1.4. Мінімальні показники опору передачі підлоги на ґрунті

Зона підлоги і схема утеплення	$R_{min}, (M^2 * K/Вт)$	
	$4^{\circ}C \leq t \leq 16^{\circ}C$	$t \geq 16^{\circ}C$
Зона 1 Утеплення горизонтальним поясом	1,0	1,5
Зона 1 Утеплення вертикальним поясом	1,0	1,5
Зона 2 (внутрішня)	не потрібно	1,5

За потреби утеплення підлоги, розташованої на ґрунті, ізоляційний шар стіни опускають на глибину не менше ніж 0,5 м нижче рівня утеплення підлоги. Якщо ж підлога не потребує утеплення, то теплоізоляційний шар стіни продовжують на 1,0 м нижче рівня землі. У разі розташування підлоги вище рівня землі утеплення стіни занурюють щонайменше на 1,0 м нижче утеплювача підлоги та щонайменше на 0,5 м під рівнем землі (рис. 13).

Для підлог на ґрунті в опалюваних приміщеннях передбачається теплоізоляція у формі вертикальних або горизонтальних смуг шириною не менше ніж 1,0 м, які прокладають по периметру будівлі уздовж місця стику підлоги з внутрішньою поверхнею стіни (рис. 13). Решту внутрішньої поверхні підлоги ізолюють відповідно до вимог для зони 2. Якщо використовуються вертикальні теплоізоляційні смуги, утеплення стін виконують на глибину не менше ніж 1,0 м від рівня землі і щонайменше 0,5 м нижче горизонтального шару

утеплення підлоги. У цьому випадку горизонтальна теплоізоляція підлоги не потрібна [50].

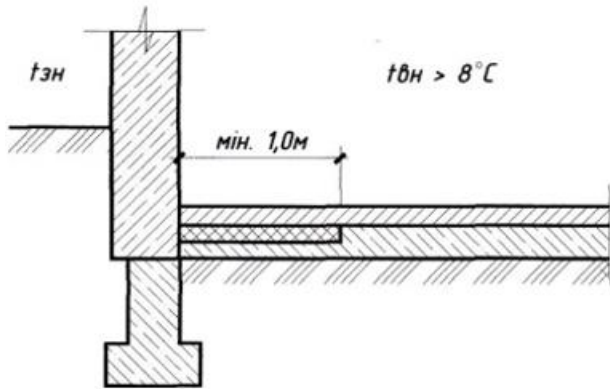


Рис. 13 Приклад ізоляції підлоги горизонтальним напрямком

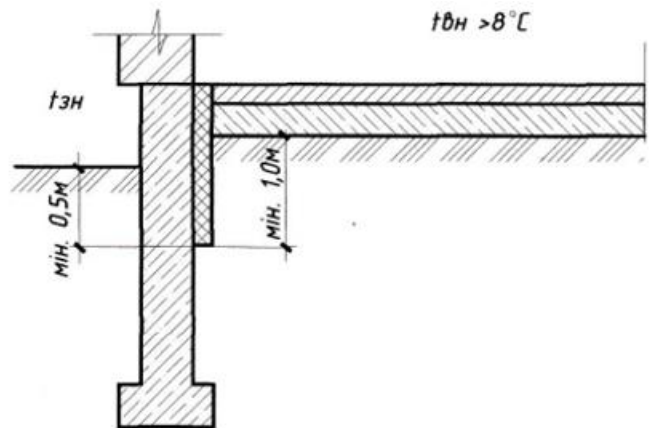


Рис. 14 Приклад ізоляції підлоги вертикальним напрямком

Аналіз температурного поля для варіантів утеплення (див. табл. А.6), запропонованих компанією "ROCKWOOL", показав, що рекомендовані мінімальні значення опору теплопередачі стін у ґрунті та пристінної смуги підлоги є недостатніми. Хоча загальні тепловтрати можна скоротити на 30–40%, температура в зоні біля зовнішньої стіни залишається низькою. Це пояснюється тим, що необхідний опір теплопередачі пластини стіни, яка знаходиться вище рівня землі та межує з підлогою, визначений недостатньо точно.

З появою на українському ринку нових високоефективних утеплювачів іноземного виробництва, а також рекомендацій щодо їхнього застосування, зросла тенденція до утеплення цокольної та фундаментної частин будівель [51, 50, 52]. Наприклад, німецька компанія "STYROFOAM" рекомендує утеплювати підземну частину будівлі по зовнішньому периметру, причому обсяг ізоляції визначає власник будинку.

Чинні будівельні норми України вказують, що зовнішні стінові конструкції, які межують із ґрунтом, у будівлях без підвалу слід утеплювати на глибину не менше ніж 0,5 м від поверхні ґрунту, а в будівлях із підвалом — на глибину не менше ніж 1 м від поверхні ґрунту [22].

М.П. Шаламов запропонував конструкції теплоізоляційного вимощення, розроблені для запобігання промерзанню ґрунту під фундаментними плитами промислових будівель. Проведені науковцем натурні дослідження показали, що

таке вимощення сприяє зміщенню нульової ізотерми назовні від стіни, забезпечуючи захист прилеглого до фундаменту ґрунту від замерзання. Згідно з роботами, конструкція утеплювального вимощення включає залізобетонну плиту з ребрами, спрямованими догори, насипний утеплювач, шар гідроізоляції та покриття з асфальту. Товщина утеплювального шару обирається з урахуванням можливості випаровування вологи протягом літнього періоду і становить 20–35 см. Ширина вимощення визначається залежно від кліматичних умов і може становити від 90 до 160 см. Хоча спочатку ця конструкція була орієнтована на промислові споруди, пізніше її почали рекомендувати для громадських будівель із неглибокими фундаментами.

Разом із тим, автори зазначають певні недоліки такого підходу до підвищення теплозахисту, серед яких можливість механічних пошкоджень, зволоження утеплювача та утворення тріщин у зонах стикування вимощення з цоколем. У роботі описано конструкцію утеплювального вимощення консольного типу, яка складається із залізобетонної Г-подібної плити, двох шарів мінераловатних плит та армованої стяжки. Товщина шару утеплювача визначається за методиками, запропонованими Смірським Ю.М., із врахуванням кліматичних умов району будівництва.

Використання лише утепленого вимощення без утеплення цокольної частини не забезпечує значного зниження тепловтрат через підлогу, розташовану на ґрунті. Однак для споруд зі стовпчастими фундаментами таке рішення може бути доцільним.

У Російській Федерації теплоізоляція фундаментів застосовується переважно в складних ґрунтових умовах, наприклад, на ґрунтах із високою здатністю до спучування, з метою зменшення глибини промерзання. Територіальні будівельні норми рекомендують використовувати утеплювачі під вимощенням, причому для запобігання їх зволоженню вони можуть укладатися в целофанові мішки у вигляді матів.

Скандинавські країни, США та Канада накопичили більш значний досвід у цій сфері. Наприклад, у США у 2001 році було затверджено стандарт ASTM 32-01 «Проектування і зведення морозостійких фундаментів мілкового закладання».

Цей стандарт базується на застосуванні екструдованого пінополістиролу як утеплювального шару, що запобігає проникненню холоду в морозочутливі ґрунти.

Під час проектування теплозахисту будинку часто ігноруються тепловтрати через підлогу на ґрунті — утеплення стін виконується лише до рівня цокольної частини, або рекомендується укладання суцільного шару утеплювача під підлогою, при цьому його товщина не регламентується.

Розрахунок оптимальної товщини утеплювача на основі економічно доцільного термічного опору не враховує специфіку теплового режиму конструкцій, що контактують із ґрунтом. У результаті таке утеплення недостатньо ефективно для значного зниження тепловтрат.

РОЗДІЛ 3. ВИВЧЕННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ПІДЛОГИ НА ҐРУНТІ ТА СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ ДЛЯ ОБЧИСЛЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.

3.1. Стаціонарний процес теплопереносу. Математична постановка задачі

Починаючи з 1 липня 2013 року набула чинності Зміна №1 до ДБН В.2.6-31-2006, згідно з якою територію України було розділено на дві температурні зони (рис. 15). Наприклад, до I температурної зони належать регіони, для яких розрахункова глибина промерзання ґрунту становить від 0,75 до 1,15 м. Така варіативність вимагає врахування цього параметра під час визначення мінімально допустимого значення опору теплопередачі фундаментної зони, а також перегляду формул, запропонованих науковців таких як: Семком та Філоненком (2008), для розрахунку товщини вертикального утеплювача у фундаментній зоні цивільних будівель. Це забезпечує виконання умови, за якої різниця між температурою поверхні підлоги і внутрішньою температурою приміщення у куті стику підлоги та зовнішньої стіни не перевищує 2°C (відповідно до вимог ДБН В.2.6-31-2006).



Рис. 15. Територія України з температурними зонами

Стаціонарна передача тепла через огорожувальні конструкції, коли всі параметри залишаються постійними у часі, є найпростішим видом теплопередачі. У конструкціях із твердих матеріалів тепло передається від теплої поверхні до холодної переважно за рахунок теплопровідності.

У загальному випадку кількість теплоти Q , що передається теплопровідністю, визначається за формулою: $Q = -\lambda \cdot \text{grad } t \cdot F \cdot \tau$, (3.1)

де λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу конструкції, Вт/м·К; $\text{grad } t$ – градієнт температури у напрямку x , зворотному потоку тепла, °С; F – площа, м²; τ – час, год.

Знак мінус у рівнянні відображає той факт, що потік тепла завжди спрямований у бік зниження температури. Для вирішення завдань будівельної теплотехніки, а також для визначення температури в окремих елементах конструкцій, проводиться розрахунок температурного поля.

Найпростішим випадком є одновимірне стаціонарне температурне поле, яке для багат шарової огорожувальної конструкції описується диференціальним рівнянням: $\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(x) \frac{\partial t}{\partial x} \right] = 0$, (3.2)

де $\lambda(x)$ – теплопровідність матеріальних шарів огороження.

Якщо лінійний масштаб перерізу огороження замінити масштабом термічних опорів $R = x/\lambda$, то наведене вище рівняння теплопередачі можна записати у такому вигляді: $\frac{\partial^2 t}{\partial R^2} = 0$. (3.3)

Розподіл температур в огорожувальній конструкції визначається за формулою:

$$t_x = t_{\text{вн}} - \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{зн}}}{R_{\Sigma}} \left(R_{\text{вн}} + \sum_{i=1}^m \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{x - \sum_{i=1}^m \delta_i}{\lambda_{(m+1)p}} \right), \quad (3.4)$$

де t_x – температура у довільному перерізі x огороження; $t_{\text{вн}}$ і $t_{\text{зн}}$ – температура внутрішнього і зовнішнього середовищ; R_{Σ} – опір теплопередачі огороження; m – кількість повних шарів огороження від внутрішньої поверхні до перерізу x ; δ_i , λ_{ip} – відповідно товщина та коефіцієнт теплопровідності повних шарів огороження від внутрішньої поверхні до перерізу x ; $\lambda_{(m+1)p}$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу шару, де розташований переріз x .

У практичних конструкціях зовнішніх огорожень важко виділити область із строго одномірним температурним полем. Теплопровідні включення, наприклад, виступаючі елементи зовнішніх або внутрішніх конструкцій, а також місця стику внутрішніх елементів, спричиняють утворення складних двовимірних і тривимірних температурних полів.

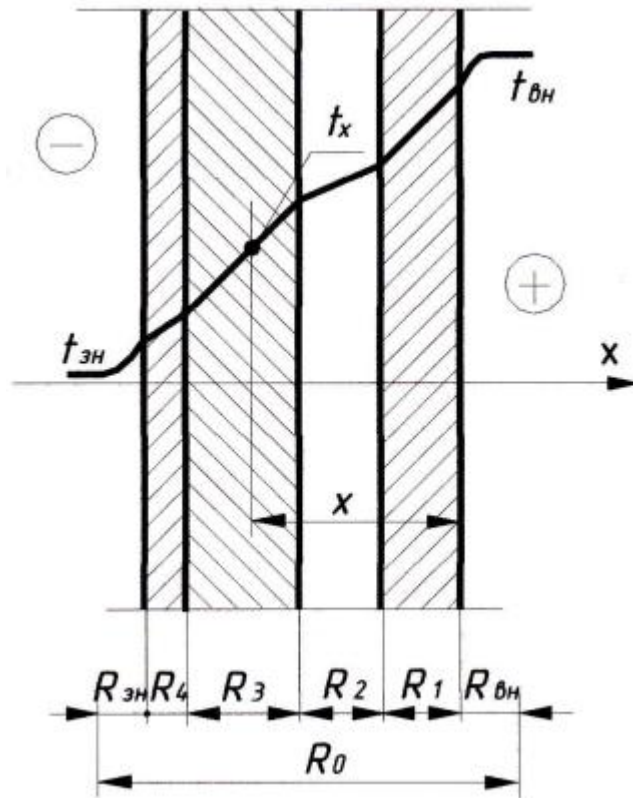


Рис. 16. Багатошарове огороження з температурним полем

Диференціальне рівняння Лапласа для двовимірного плоского температурного поля в стаціонарному режимі (при встановленому розподілі температур в однорідному середовищі), яке часто є достатнім для вирішення задач будівельної теплотехніки, записується у вигляді:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = 0.$$

де:

- T — температура,
- x і y — просторові координати.

Це рівняння описує стан рівноваги температурного поля, коли теплові потоки врівноважуються у кожній точці системи.

3.2. Підрахункові параметри щодо клімату зовнішнього середовища

Основні кліматичні показники, які враховуються при теплотехнічних розрахунках, включають температуру та вологість повітря, глибину промерзання ґрунту, кількість опадів, швидкість вітру та інтенсивність сонячної радіації. Для визначення теплового режиму досліджуваних конструкцій найбільш значущими показниками є температура зовнішнього повітря та глибина промерзання ґрунту.

Згідно з новими будівельними нормами України, розрахункова зимова температура зовнішнього повітря залежить виключно від температурної зони району будівництва і визначається згідно з додатком Ж [22].

У попередніх нормах розрахункова зимова температура зовнішнього повітря визначалася більш детально — з урахуванням кліматичних особливостей конкретного населеного пункту, а також теплової інерції D огорожувальної конструкції, яка визначалася за таблицею 5*.

Теплова інерція D огорожувальної конструкції розраховується за формулою:

$$D = \sqrt{\rho \cdot c \cdot \lambda},$$

де:

- ρ — щільність матеріалу (кг/м³),
- c — теплоємність матеріалу (Дж/кг·°С),
- λ — коефіцієнт теплопровідності матеріалу (Вт/м·°С).

Ця величина характеризує здатність конструкції накопичувати і віддавати тепло, що впливає на тепловий режим будівлі в умовах змінного кліматичного навантаження.

$$D = \frac{\delta_1}{\lambda_1} s_1 + \frac{\delta_2}{\lambda_2} s_2 + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} s_n, \quad (3.6)$$

де $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$ — товщини шарів конструкції, м; $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ — відповідні коефіцієнти теплопровідності матеріалів шарів, Вт/(м·К), приймаються за дод. 3* [96]; s_1, s_2, \dots, s_n — розрахункові коефіцієнти теплосасвоєння шарів конструкції, Вт/(м²·К), приймаються за дод. 3* [96].

Цоколь являє собою масивну конструкцію, виконану з бетону, залізобетону, буту чи повнотілої цегли. Матеріали, з яких виготовляють цоколь, мають високий коефіцієнт теплопоглинання, що зумовлює значну теплову інерцію D , значення якої перевищує 4. Відповідно до таблиці 5*, для випадків, коли $4 < D \leq 7$, розрахункова зимова температура зовнішнього повітря визначається як середня температура найхолодніших трьох діб. Якщо ж $D > 7$, вона визначається як середня температура найхолоднішої п'ятиденки із забезпеченістю 0,92.

Фундаментну зону можна розглядати як огорожувальну конструкцію, внутрішня поверхня якої — це поверхня підлоги, а зовнішня — поверхня ґрунту. Така конструкція також є багат шаровою і масивною, з тепловою інерцією $D > 7$. Для неї середня температура найхолоднішої п'ятиденки із забезпеченістю 0,92 за визначається залежно від температурної зони:

- I зона: -21 до -25°C ,
- II зона: -19 до -23°C ,
- III зона: -18 до -20°C ,
- IV зона: -6 до -16°C .

Згідно з [22], розрахункова зимова температура зовнішнього повітря відповідає середнім значенням для кожної температурної зони.

Формули для розрахунку глибини промерзання ґрунту, запропоновані в враховують основні природні чинники, що впливають на процеси промерзання та відтавання ґрунту, а саме:

- Температуру на поверхні ізоляції.
- Тривалість періодів промерзання та відтавання.
- Теплоізоляційні властивості поверхні ґрунту.
- Тепловий вплив підстильних горизонтів.
- Теплоту фазових переходів і теплофізичні характеристики ґрунту.

Однак через складність розрахунків отримані значення мають обмежену точність.

Нормативну глибину сезонного промерзання ґрунту (d_{pn} м), за відсутності багаторічних спостережень, слід визначати на основі теплотехнічних розрахунків. Для районів із глибиною промерзання до 2,5 м нормативне значення допускається обчислювати за формулою:

$$d_{\text{пн}} = k\sqrt{n \cdot t_3}, \quad (3.7)$$

де:

- k — коефіцієнт теплопровідності ґрунту ($\text{м}^{\circ}\text{C} \cdot \text{добу}$),
- n — тривалість періоду стійкого зниження температури (дні),
- t_3 — розрахункова зимова температура повітря ($^{\circ}\text{C}$).

Ця формула дозволяє спростити розрахунки, забезпечуючи при цьому достатню точність для проектування фундаментних конструкцій.

3.3. Вивчення властивостей ґрунтів України для теплотехнічного аналізу фундаментної ділянки

На території України домінують лесові ґрунти (рис. 17). Вони характеризуються невисокою щільністю $\rho=1250...1550 \text{ кг/м}^3$, низьким рівнем вологості $W=0,1...0,2$ та високою пористістю, яка часто перевищує 50%. Згідно з числом пластичності, лесовий ґрунт зазвичай відноситься до супіщаних або суглинкових типів.

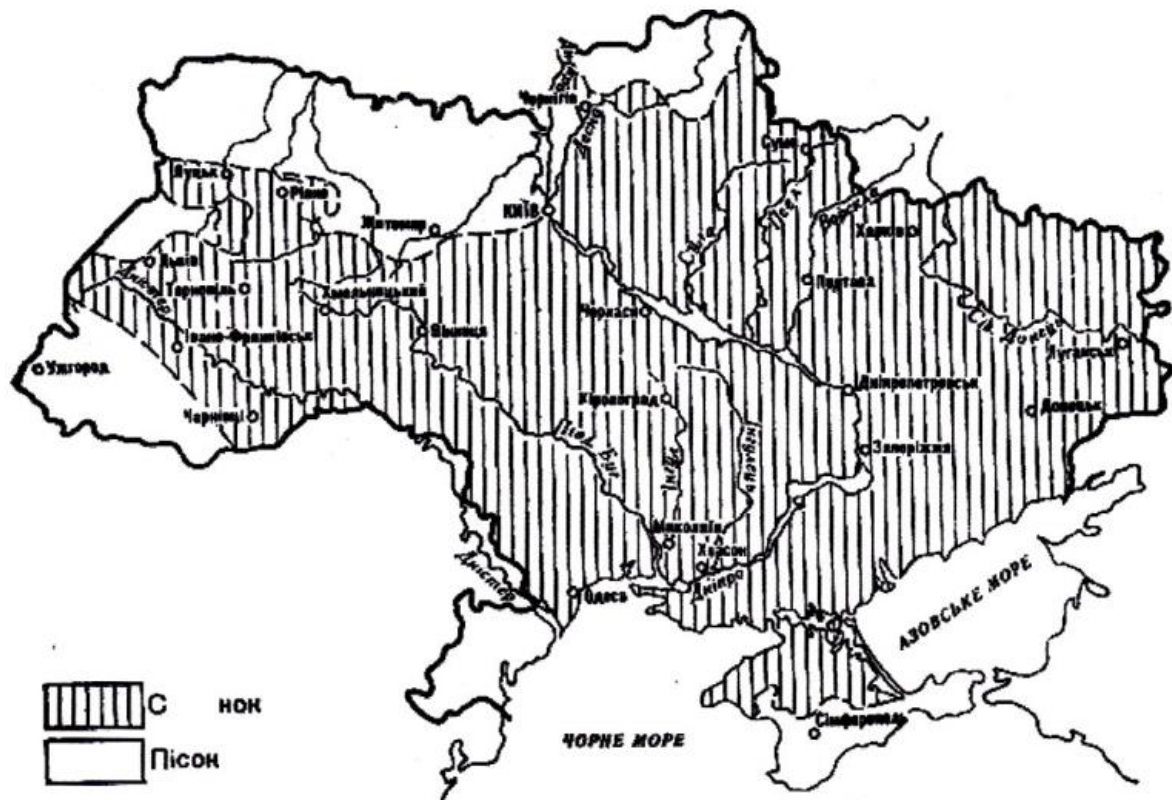


Рис.17. Картографічне зображення лесових ґрунтів територією України

Згідно з таблицею 3.1, середній коефіцієнт теплопровідності для ґрунтів, що переважають на території України, становить $\lambda_T=1,28 \text{ Вт/(м}^*\text{К)}$. Для низьковологих суглинчастих та піщаних ґрунтів із незначним впливом конвекції цей коефіцієнт дорівнює $\lambda_M/\lambda_T=1,1 \text{ Вт/(м}^*\text{К)}$. Для перевірки доцільності використання середніх значень λ_M і λ_T було проведено аналіз тепловтрат через підлогу в ґрунтових умовах усіх регіонів України.

У дослідженні було виконано розрахунок температурних полів у фундаментній зоні за однакових вихідних умов, але з використанням мінімальних, максимальних та середніх значень коефіцієнта теплопровідності ґрунту λ_m і λ_t , зазначених у таблиці 3.1. Результати (рис. 18, табл. 3.2) показали, що зміна значень коефіцієнта теплопровідності ґрунту практично не впливає на температурний розподіл по поверхні підлоги — різниця становить до $\pm 0,09$ °С.

Таблиця 3.1. Ґрунтові умови по містам України

Назва міста	Верхні шари ґрунту	Щільність сухого ґрунту, кг/м ³	Сумарна вологість ґрунту, доли одиниці	Рівень ґрунтових вод від поверхні, м	Глибина промерзання, м, за (2.9)	Коефіцієнт теплопровідності ґрунту, Вт/(м·К), за табл. 2.1.	
						λ_t	λ_m
Полтава (плато)	суглинок	1550	0,15	5,0	1,0	1,1	1,2
Вінниця	суглинок	1720	0,21	7,0	0,9	1,45	1,68
Донецьк Луганськ	суглинок	1620	0,15	8,5	0,95	1,1	1,2
Запоріжжя	суглинок	1600	0,13	7,5	0,8	1,0	1,1
Херсон	суглинок	1610	0,14	7,7	0,6	1,1	1,2
Дніпропетровськ	суглинок	1500	0,10	8,0	0,85	0,8	0,83
Миколаїв	суглинок	1710	0,12	18,0	0,6	1,15	1,23
Одеса	суглинок	1650	0,12	9,0	0,5	1,1	1,13
Кіровоград	супісок	1660	0,12	4,0	1,0	1,42	1,51
Київ	суглинок	1510	0,10	5,9	0,9	0,8	0,83
Івано-Франківськ	суглинок	1890	0,22	4,5	0,8	1,67	1,94
Тернопіль	суглинок	1880	0,21	5,5	0,8	1,64	1,9
Львів	суглинок	1890	0,20	3,5	0,8	1,66	1,93
Луцьк	суглинок	1900	0,20	4,5	0,75	1,7	1,99
Хмельницький	суглинок	1890	0,22	3,2	0,85	1,67	1,94
Луганськ	суглинок	1750	0,20	6,2	0,85	1,49	1,73
Суми	суглинок	1650	0,19	4,0	1,0	1,36	1,56
Сімферополь	суглинок	1630	0,14	4,5	0,3	1,2	1,3
Рівне	суглинок	1730	0,19	4,9	0,8	1,46	1,7
Ужгород	глина	1800	0,16	5,1	0,45	1,42	1,571
Харків	суглинок	1900	0,16	12,1	1,0	1,32	1,73
Черкаси	суглинок	1500	0,10	15,3	0,9	0,8	0,83
Чернівці	глина	1740	0,30	4,5	0,75	1,82	2,1
Чернігів	пісок	1690	0,06	6,1	1,15	1,2	1,28
Середнє по Україні		1700	0,16	5,9		1,28	1,42

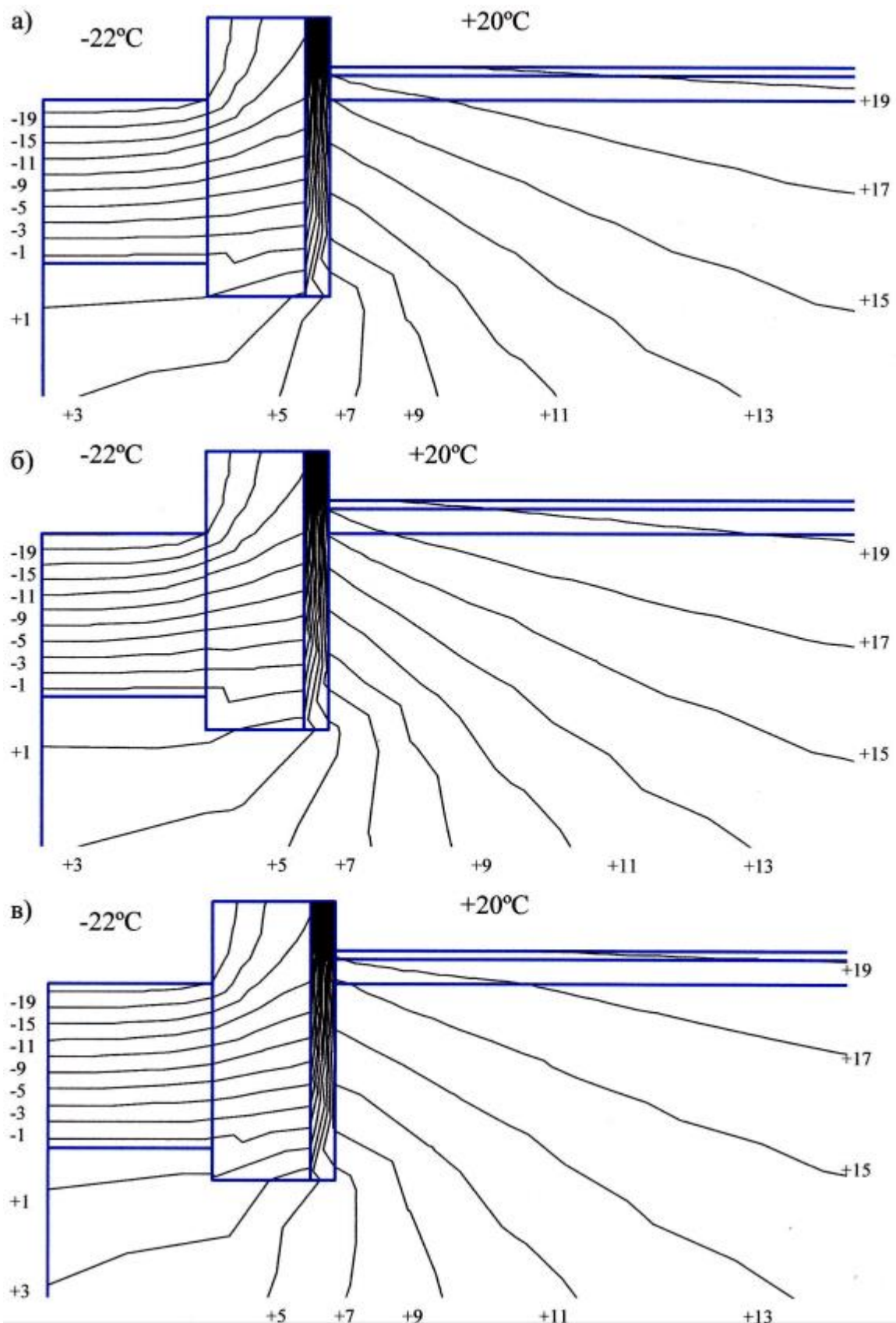


Рис. 18. Навколофундаментна зона з температурним розподілом

а) $\lambda_T^{cp} = 1,28 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$; $\lambda_M^{cp} = 1,42 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$; б) $\lambda_M^{min} = 0,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$; в) $\lambda_T^{max} = 1,82 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;

$$\lambda_M^{max} = 2,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Таблиця 3.2. Взаємозв'язок температури поверхні підлоги та теплового потоку з коефіцієнтом теплопровідності відталого та промерзлого ґрунту.

Відстань від зовн. стіни, м	$\lambda_T^{\min} = 0,8 \text{ Вт/(м·К)}, \lambda_M^{\min} = 0,83 \text{ Вт/(м·К)}$		$\lambda_T^{\text{CP}} = 1,28 \text{ Вт/(м·К)}, \lambda_M^{\text{CP}} = 1,42 \text{ Вт/(м·К)}$		$\lambda_T^{\max} = 1,82 \text{ Вт/(м·К)}, \lambda_M^{\max} = 2,1 \text{ Вт/(м·К)}$	
	$t_{\text{пов}}, ^\circ\text{C}$	$q, \text{ Вт/м}^2$	$t_{\text{пов}}, ^\circ\text{C}$	$q, \text{ Вт/м}^2$	$t_{\text{пов}}, ^\circ\text{C}$	$q, \text{ Вт/м}^2$
0,0	18,1	16,83	18,0	18,01	18,0	19,22
0,2	18,7	11,34	18,5	12,78	18,3	14,14
0,4	18,9	8,89	18,7	10,70	18,5	12,33
0,6	19,1	7,40	18,9	9,37	18,7	11,14
0,8	19,2	6,40	19,0	8,40	18,8	10,23
1,0	19,3	5,66	19,1	7,63	18,9	9,46
1,2	19,4	5,06	19,1	6,98	18,9	8,79
1,4	19,4	4,56	19,2	6,41	19,0	8,18
1,6	19,5	4,17	19,3	5,95	19,1	7,67
1,8	19,5	3,84	19,3	5,55	19,1	7,22
2,0	19,5	3,55	19,4	5,20	19,2	6,83
2,2	19,6	3,32	19,4	4,90	19,2	6,49
2,4	19,6	3,13	19,4	4,65	19,2	6,19
2,6	19,6	2,95	19,4	4,41	19,3	5,92
2,8	19,6	2,80	19,5	4,22	19,3	5,67
3,0	19,6	2,67	19,5	4,04	19,3	5,47
3,2	19,7	2,57	19,5	3,91	19,3	5,29
3,4	19,7	2,47	19,5	3,77	19,4	5,14
3,6	19,7	2,38	19,5	3,65	19,4	4,99
3,8	19,7	2,32	19,5	3,56	19,4	4,87
4,0	19,7	2,27	19,5	3,49	19,4	4,79
4,2	19,7	2,24	19,6	3,44	19,4	4,72
4,4	19,7	2,20	19,6	3,40	19,4	4,66
4,6	19,7	2,17	19,6	3,35	19,4	4,61
4,8	19,7	2,14	19,6	3,31	19,4	4,56
5,0	19,7	2,11	19,6	3,27	19,4	4,51
5,2	19,7	2,07	19,6	3,22	19,4	4,46
5,4	19,7	2,04	19,6	3,18	19,4	4,40
5,6	19,7	2,02	19,6	3,15	19,5	4,36
5,8	19,7	2,00	19,6	3,11	19,5	4,32

Денна температура поверхні (t_n) у природному середовищі формується як підсумок складного процесу тепло- і масообміну між покривом над ґрунтом, самим ґрунтом і прилеглим шаром повітря. У практичних теплотехнічних розрахунках часто враховують взаємозв'язок між температурою денної поверхні, температурою повітря (t_n) та елементами теплового балансу (R, LE, B).

$$t_n = t_n + \frac{R - LE - B}{\alpha_k}, \quad (3.8)$$

де α_k – коефіцієнт конвективного теплообміну; R – радіаційний баланс; LE – затрати теплоти на випарування; B – тепловий потік через поверхню.

Розрахунок температури поверхні є доцільним лише для теплого періоду року. У холодну пору складові радіаційного балансу мають незначні абсолютні значення, тому, відповідно до залежності (3.8), температура поверхні буде наближеною до температури повітря. Цей факт підтверджують і чисельні дослідження.

3.4. Встановлення розмірів області моделювання та визначення граничних умов під час обчислення температурних полів.

ELCUT — це інтегрована діалогова система програм, призначена для розв’язання площинних та асиметричних задач таких типів: електростатика, лінійна та нелінійна магнітостатистика, магнітні поля змінного струму, лінійна та нелінійна стаціонарна і нестаціонарна теплопровідність, а також лінійний аналіз напружено-деформованого стану. Програма забезпечує можливість опису задачі (задання геометрії, характеристик середовища, граничних умов), розв’язання її з високою точністю, аналіз результатів за допомогою кольорової графіки та збереження отриманих даних у зручній для подальшого аналізу формі.

Для розв’язання задач стаціонарної теплопровідності необхідно створити розрахункову модель із заданими геометричними розмірами та граничними умовами.

Дослідження, спрямовані на визначення області моделювання, проводилися на основі кліматичних даних м. Суми. Вихідні параметри моделювання:

- температура зовнішнього повітря становить -22°C [22];
- температура внутрішнього повітря дорівнює $+20^{\circ}\text{C}$ [22];
- глибина промерзання ґрунту — 1м.

Розрахункова область моделювання (із зазначенням відповідних меж) представлена на рис. 19. Для спрощення обчислень коефіцієнт теплопровідності прийнято однаковим для всіх матеріалів навколо фундаментної зони і становить

1 Вт/(м·К). Межі області моделювання та їх геометричні розміри визначаються конструктивними особливостями розглядуваної частини будівлі, але деякі параметри встановлюються окремо.

Деталі моделювання:

- Довжина межі 4 — це відстань між внутрішньою поверхнею зовнішньої стіни та поздовжньою віссю будівлі.
- Глибина Н1 (межа 1) визначається рівнем постійних температур, який становить 15–40 м та відповідає середньорічній температурі місцевості для м. Суми це +7,03°C.

Методологія та результати: Для визначення впливу величини Н1 на температурний режим підлоги було виконано розрахунок температурних полів методом скінченних елементів. У ході розрахунку фіксувалися значення Н2 та інших параметрів, поступово зменшуючи глибину постійних температур.

Згідно з результатами розрахунків (табл. 3.3), глибину Н1 було прийнято рівною 6 м, оскільки подальше зменшення цієї величини призводить до відхилення розрахункових значень, яке не перевищує 5%.

Таблиця 3.3. Величина впливу Н1

Н1, м	Відхилення від початкової величини, %			
	температури поверхні підлоги	теплого потоку поверхні підлоги	температури на глибині 2м від поверхні землі	теплого потоку на глибині 2м від поверхні землі
21,0	0	0	0	0
15,0	0,3	9,1	0,3	6,2
10,0	0,15	-5,8	3,6	4
8,0	0,2	0,3	5,8	3
7,0	0,23	-2,8	7,3	-0,65
6,0	0,27	-4,4	9,5	-3,7
5,0	0,54	-14,5	12,6	-8,2
4,0	0,63	-18,5	17	-19,4
3,0	0,9	-34,5	24,4	-35,2

Для оцінки впливу величини Н2 (вертикальної відстані від поверхні підлоги до перерізу стіни, де температурне поле вважається одномірним) було виконано розрахунки температурних полів при фіксованих значеннях Н1 та Н3. У ході дослідження значення Н2 поступово зменшували, щоб визначити його оптимальний вплив на температурний режим.

Результати дослідження: Виходячи з отриманих даних (табл. 19), оптимальне значення величини **H2** прийнято рівним **0,5 м**, оскільки при цьому відхилення розрахункових температурних значень не перевищує 2%. Це забезпечує достатній рівень точності для подальших розрахунків і моделювання температурних полів.

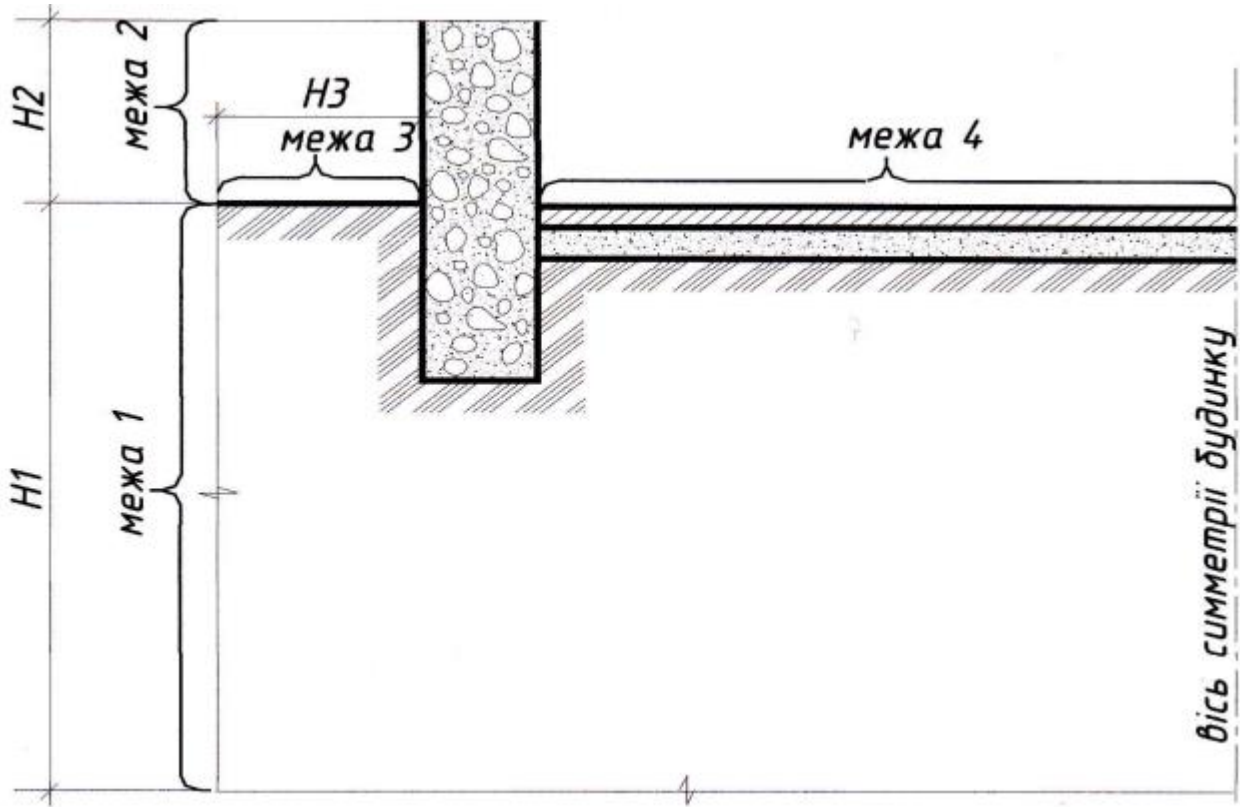


Рис.19. Область моделювання та зазначення відповідних меж

Таблиця 3.4. Величина H2

H2, м	Відхилення від початкової величини температури, %		Відхилення від початкової величини теплового потоку, %	
	по всій підлозі	на смузі 1м від зовн. стіни	по всій підлозі	на смузі 1м від зовн. стіни
1,25	0	0	0	0
1,0	-0,02	0,2	0,3	0,05
0,75	0,02	0,01	-0,7	-1,2
0,5	-0,06	-0,6	0,8	1,8
0,25	-0,01	-0,6	5,7	10,7

Для визначення впливу величини H3 (горизонтальної відстані від поверхні стіни до вертикальної площини в масиві ґрунту, де температурне поле вважається одномірним) було проведено розрахунок температурних полів за фіксованих значень H1 і H3. У процесі моделювання величину H3 поступово зменшували, аналізуючи вплив на температурний режим.

Результати: На основі отриманих даних (табл. 3.5) оптимальним значенням величини НЗ прийнято 1 м, оскільки при цьому відхилення значень теплового потоку становить лише 1,7%. Це забезпечує необхідну точність для подальших розрахунків температурних полів.

Таблиця 3.5. Величина НЗ

НЗ, м	Відхилення від початкової величини, %, на поверхні підлоги	
	температури	теплового потоку
0,5	0	0
1,0	0,2	1,7
1,5	0,4	7,9

Глибина, яка може бути прийнята за рівень постійних температур, становить 6 м, що відповідає середньорічній температурі для даних кліматичних умов (наприклад, для м. Суми це $+7,0^{\circ}\text{C}$). На висоті 0,5 м від рівня підлоги вертикальний тепловий потік через зовнішню стіну дорівнює нулю, що дозволяє прийняти цю висоту за верхню межу області моделювання. Мінімальна ширина пристінної смуги ґрунту, яка враховується для цокольної частини будівлі, становить 1 м.

Граничні умови області моделювання наведено на рис. 3.4 і включають:

1. Граничні умови I роду

Це завдання розподілу температури по поверхні тіла в будь-який момент часу. У разі сталої температури для даної моделі $t_n(\tau) = \text{const}$ прийнято середньорічну температуру ґрунту на глибині 6 м, яка залишається незмінною протягом усього процесу теплообміну.

2. Граничні умови II роду

Це завдання щільності теплового потоку для кожної точки поверхні тіла, як функції часу. У випадку сталості теплового потоку $q_n(\tau) = \text{const}$ прийнято, що на перерізах, де температурне поле є одномірним, тепловий потік дорівнює нулю $q_n(\tau) = 0$.

Ці граничні умови дозволяють забезпечити точність моделювання та коректність аналізу температурних полів у цокольній зоні будівлі.

Теплотехнічні характеристики для зовнішньої стіни та підлоги:

1. Для зовнішньої стіни:

- Коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої сторони: $\alpha_{\text{вн}}=8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.
- Коефіцієнт тепловіддачі із зовнішньої сторони: $\alpha_{\text{зн}}=23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ [22].

2. Для підлоги:

- Коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої сторони рекомендовано зменшити на 30% через специфіку конвекції повітря на горизонтальній поверхні. Однак, з урахуванням загального конвективного потоку повітря в приміщенні, для підлоги можна прийняти $\alpha_{\text{вн}}=8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, що відповідає значенню для вертикальних поверхонь.

3. Для зовнішньої поверхні біля стіни:

- Враховуючи наявність бетонного або асфальтового вимощення, прийнято коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{\text{зн}}=23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

Гранична умова IV роду: На межах контакту шарів із різних матеріалів використано граничну умову IV роду, яка передбачає:

- Рівність температур на дотичній межі матеріалів: $t_1=t_2$.
- Рівність теплових потоків через межу: $q_1=q_2$.

Ці параметри та умови враховуються для забезпечення коректного розрахунку теплового режиму всієї конструкції за формулою:

$$-\lambda_c \left(\frac{\partial t_c}{\partial n} \right)_n = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right)_n \quad (3.9)$$

3.5. Стандартні проектні рішення для вимощення та фундаменту будівлі

Типові конструктивні рішення для фундаментів і цоколів:

1. *Фундамент:*

- Основний конструктивний елемент несучого остову будівлі, який приймає навантаження від усієї будови та передає його на ґрунт.
- Матеріали:
 - Природний камінь.

- Бутобетон.
- Червона цегла.
- Монолітний бетон.
- Збірні бетонні та залізобетонні елементи (рис. 20).
- Глибина закладання фундаменту визначається згідно з та залежить від:
 - Призначення будівлі.
 - Конструктивних особливостей.
 - Глибини закладання інженерних комунікацій.
 - Рівня ґрунтових вод.
 - Глибини сезонного промерзання ґрунтів.
 - Механічних характеристик ґрунту.
 - Рельєфу місцевості.
- Мінімальна глибина закладання фундаменту під зовнішні стіни повинна бути не менше 0,2 м нижче товщини шару промерзання.

2. Цоколь:

- Розташовується в нижній частині стін, зазвичай висотою не менше 0,5 м.
- Функція: захист стін від руйнівного впливу вологи.
- Матеріали для зовнішньої поверхні:
 - Опалена червона цегла.
 - Морозостійкий природний камінь (граніт тощо).
 - Керамічна плитка.
 - Морозостійка штукатурка.
- Конструктивні рішення для кам'яних стін:
 - Виступаючий цоколь.
 - Цоколь у підрізку.
 - Оздоблення плиткою чи розчином.

3. Вимощення:

- Призначення: відведення атмосферних опадів від фундаментів.
- Конструктивні особливості:

- Заглиблюється у землю на 100 мм.
 - Піднімається над рівнем землі біля цоколю на 150–200 мм (рис. 21).
- Матеріали для неутепленого вимощення:
 - Щільна структура.
 - Високий коефіцієнт теплопровідності (0,33–0,49 Вт/(м·К)).
 - Особливості:
 - Вплив теплозахисних властивостей вимощення:
 - Незначний, якщо поверхня підлоги знаходиться нижче рівня землі.
 - Нульовий, якщо поверхня підлоги розташована вище рівня землі.
 - У теоретичних дослідженнях вимощення не враховується через його незначний вплив.

Ці рішення забезпечують міцність, довговічність і функціональність конструкцій при збереженні теплотехнічних характеристик будівлі.

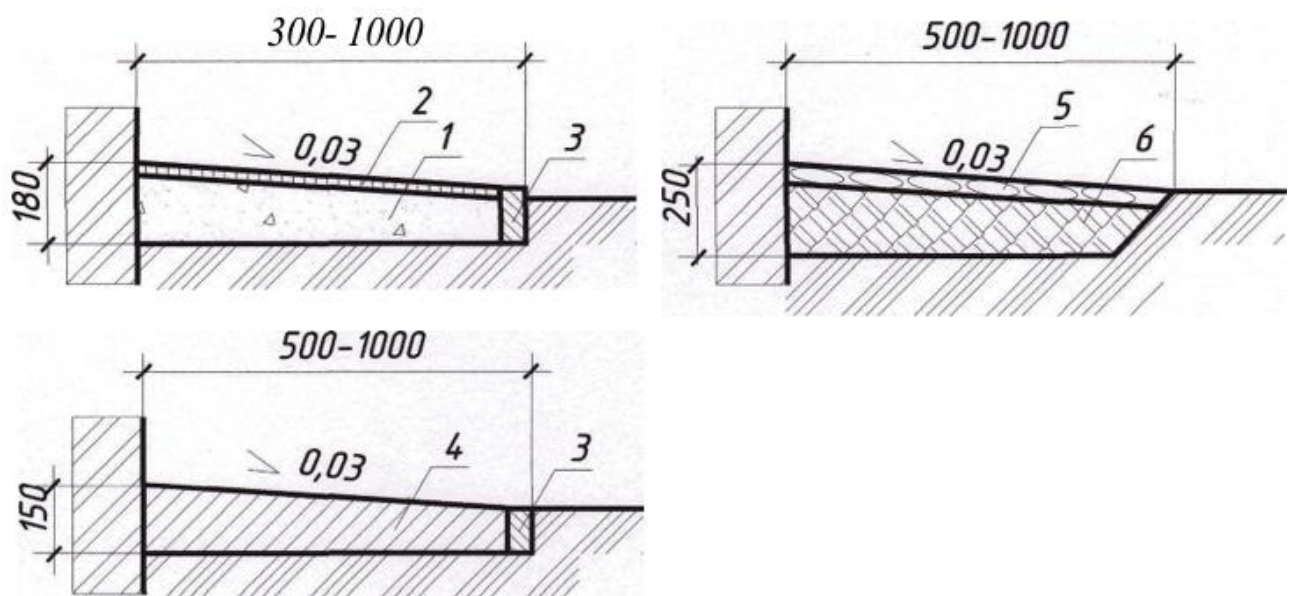


Рис. 20. Приклади вимощень: 1- щебінь товщиною 150 мм ($\lambda=0,58$ Вт/(м*К)); 2 – асфальт товщиною 30 мм ($\lambda=1,05$ Вт/(м*К)); 3 – бортовий камінь; 4 – бетон марки М100 товщиною 150 мм ($\lambda=1,86$ Вт/(м*К)); 5 – буличний камінь ($\lambda=1,28 - 3,49$ Вт/(м*К)); 6 – м'яка глина товщиною 150 мм ($\lambda=0,6$ Вт/(м*К)).

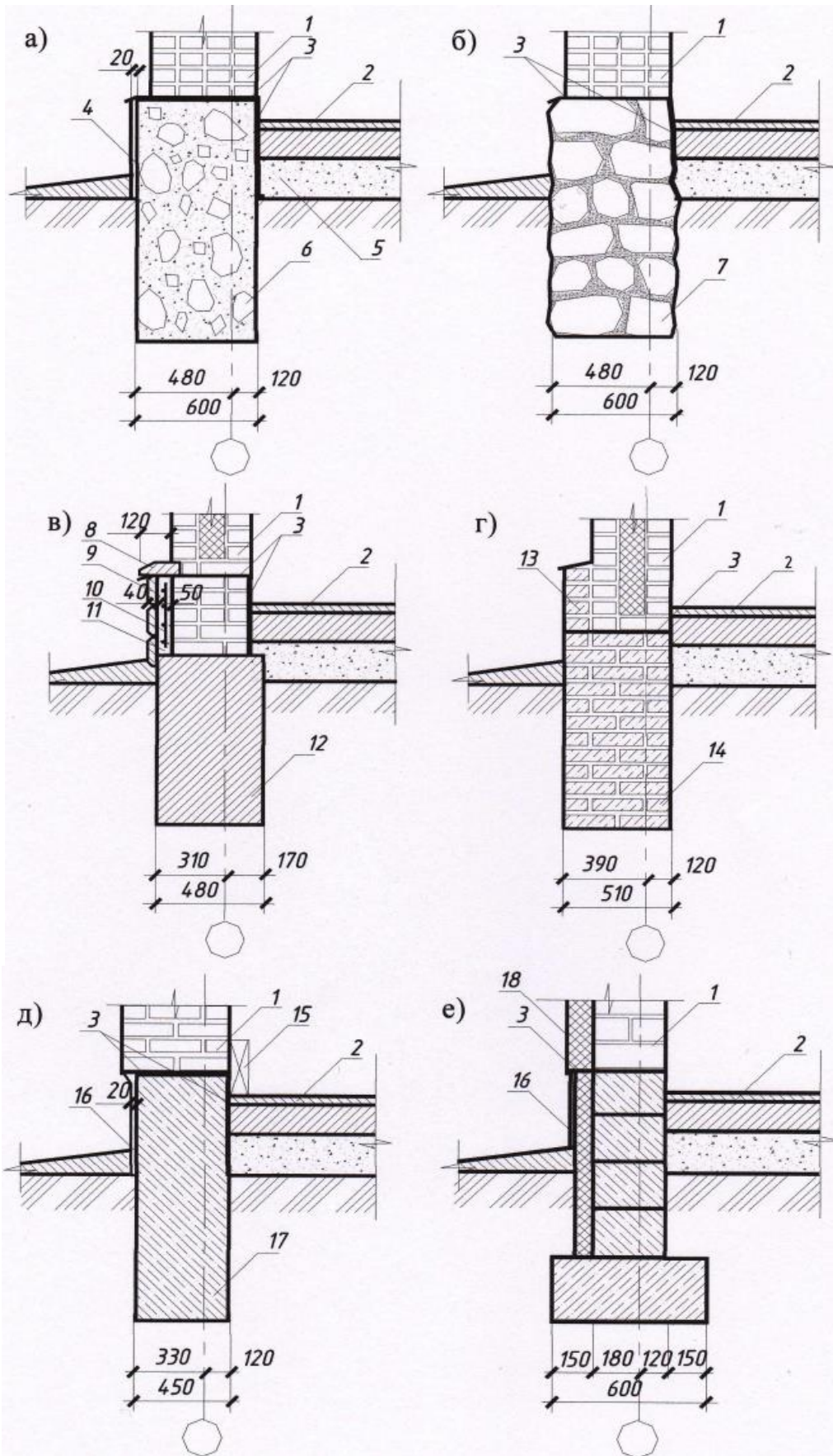


Рис. 21. Фундаменти малоповерхових будівель та цоколю:

а – фундамент бутобетонний; б – бутовий; в – бетонний; г – цегляний; д – залізобетонний; е – з бетонних блоків; 1 – кладка стіни; 2 – підлога; 3 – гідроізоляція; 4 – цементна штукатурка; 5 – пісок; 6 – бутобетон; 7 – бут; 8 – оздоблювальний фризний камінь; 9 – оздоблювальна плита з природного каміння; 10 – арматурна сітка; 11 – мілко зернистий бетон; 12 – бетон; 13 – оздоблювальна цегла; 14 – червона цегла; 15 – утеплюючий блок; 16 – цементна затірка з покриттям рідким склом; 17 – залізобетон; 18 – фасадна система

3.6. Вирішальні конструктивні підлоги будівлі

Конструкція підлоги є багатошаровою системою, що забезпечує міцність, тепло- і звукоізоляцію, довговічність, а також зручність у експлуатації. Типові конструктивні рішення підлог будівлі залежать від її призначення, умов експлуатації та матеріалів, які використовуються.

Основні шари конструкції підлоги:

1. Основа (грунт або перекриття)
 - Для підлог на ґрунті основою служить ущільнений шар землі або піску.
 - У багатоповерхових будівлях основу складає міжповерхове перекриття (бетонне чи дерев'яне).
2. Бетонна підготовка
 - Виступає базовим шаром для укладання наступних матеріалів.
 - Виконується із цементного розчину з додаванням армуючих елементів для підвищення міцності.
3. Гідроізоляція
 - Захищає підлогу від проникнення вологи.
 - Використовуються рулонні або обмазувальні матеріали (наприклад, бітумна мастика або поліетиленова плівка).
4. Теплоізоляція
 - Забезпечує комфортний тепловий режим у приміщенні.
 - Може бути виконана з пінополістиролу, мінеральної вати або екструдованого пінополістиролу.
5. Звукоізоляція
 - У багатоповерхових будівлях додається шар матеріалу для поглинання шумів (наприклад, звукопоглинальна плита чи рулонний матеріал).
6. Стяжка
 - Вирівнюваний шар, на який укладається фінішне покриття.

- Може бути виконана з цементно-піщаного розчину або сухої суміші.

7. Фінішне покриття

- Обирається залежно від призначення приміщення:
 - Житлові приміщення: паркет, ламінат, лінолеум, ковролін.
 - Санвузли та кухні: керамічна плитка.
 - Промислові будівлі: бетонні покриття з епоксидним покриттям чи гумовими настилами.
 - Громадські приміщення: плитка, мармур чи інші декоративні матеріали.

Кожне рішення підбирається з урахуванням експлуатаційних вимог, таких як міцність, тепло засвоєння, вологостійкість і звукоізоляція. На схемах та рисунках (наприклад, рис. 21) відображаються типові приклади таких конструкцій.

Підлоги мають відповідати вимогам міцності та стійкості до зношування, бути достатньо естетичними, безшумними, гігієнічними, економічно вигідними та легкими у догляді. У житлових приміщеннях застосовують підлоги з матеріалів, які забезпечують оптимальні характеристики теплосвоєння поверхні: дерев'яні, паркетні, покриті лінолеумом тощо. У санвузлах, душових і на кухнях підлоги повинні бути водонепроникними, наприклад, виконаними з керамічної плитки. У громадських будівлях вибір підлогового покриття залежить від функціонального призначення приміщень. У промислових будівлях тип покриття визначається умовами експлуатації. Конструктивні рішення підлог наведено на рис. 21.

Для дослідження теплового режиму підлог було проаналізовано теплотехнічні властивості найпоширеніших конструкцій підлог (без урахування показників теплосвоєння поверхні підлоги) та визначено типову конструкцію (табл. 3.6).

Розрахункові характеристики будівельних матеріалів прийнято для умов експлуатації типу Б (дод. К, [22]), оскільки для цивільних будівель типовим є нормальний режим приміщення (згідно з табл. Г.1, [22]), тобто температура

внутрішнього повітря переважно становить 20°C, а вологість – 55%. Якщо вологісний режим приміщення сухий, а умови експлуатації матеріалу в огорожувальних конструкціях належать до типу А (дод. К, [22]), то проектування теплоізоляції з урахуванням дещо підвищених, прийнятих для умов типу Б, коефіцієнтів теплопровідності матеріалів забезпечить додатковий запас теплозахисту (дод. Л, [22]).

Вирішальним чинником у термічному опорі підлог на ґрунті, який у середньому становить 0,22–0,23 м²·К/Вт, є шар бетонної основи. Тому для спрощення дослідження було прийнято конструкцію цементної підлоги.

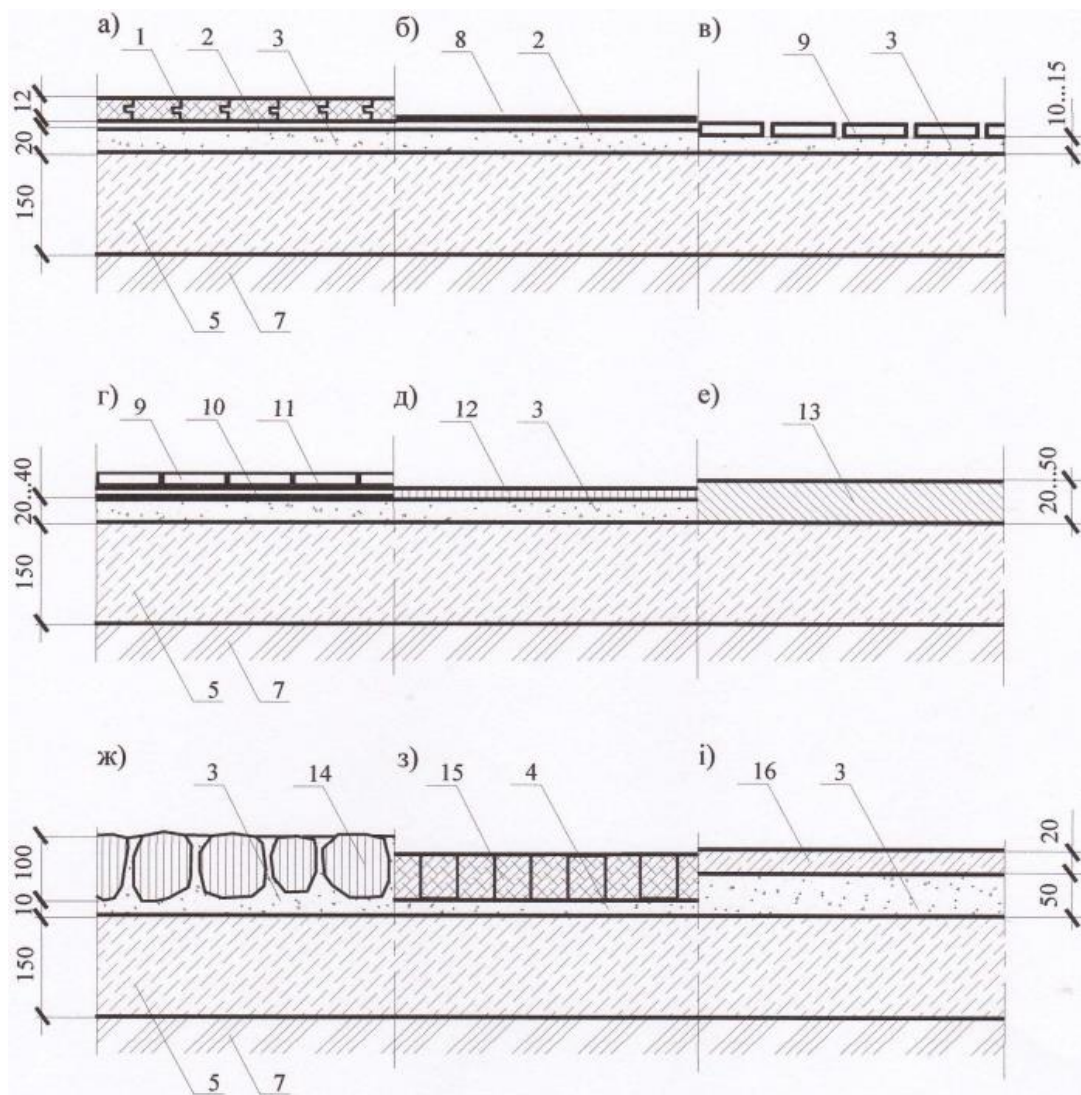


Рис. 22. Конструктивні рішення підлоги

а – підлога зі штучного паркету; б- з ленолеуму; в, г – з керамічної плитки; д – мастична; е – цементна, бетонна або асфальтобетонна; ж – з дрібної брущатки; з – торцева; і – мозаїчна (терацо); 1- паркет; 2 – прошарок з холодної мастики; 3 – цементно-піщана стяжка; 4 – пісок; 5- підготовка; 7 – ґрунт; 8 – лінолеум; 9 – керамічна плитка; 10 – гідроізоляція; 11 – бітумна мастика; 12 – мастична підлога; 13 – бетон, цемент або асфальтобетон; 14 – дрібна брущатка; 15 – прямокутна шашка 60 ...80 мм; 16 – мозаїчна підлога.

Таблиця 3.6. Теплотехнічні властивості конструкцій підлоги

Конструктивні вирішення підлог	Склад підлоги	К-т теплопровідності матеріалів λ , Вт/(м·К)	Товщина шару, м	Термічний опір шару підлоги, $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$	Загальний термічний опір підлоги, $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$
зі штучного паркету	Дуб	0,23	0,012	0,052	0,24
	Цементно-піщана стяжка	0,81	0,02	0,025	
	Бетонна підготовка	0,92	0,15	0,163	
з лінолеуму	Лінолеум	0,29	0,003	0,01	0,198
	Цементно-піщана стяжка	0,81	0,02	0,025	
	Бетонна підготовка	0,92	0,15	0,163	
з керамічної плитки	Плитка	1,1	0,007	0,006	0,194
	Цементно-піщана стяжка	0,81	0,02	0,025	
	Бетонна підготовка	0,92	0,15	0,163	
мастична	Мастика	0,22	0,004	0,018	0,206
	Цементно-піщана стяжка	0,81	0,02	0,025	
	Бетонна підготовка	0,92	0,15	0,163	
цементна, бетонна або асфальтобетонна	Цементно-піщана стяжка	0,81	0,05	0,062	0,225
	Бетонна підготовка	0,92	0,15	0,163	
з дрібної брусчатки	Граніт	3,49	0,1	0,029	0,204
	Цементно-піщана стяжка	0,81	0,01	0,012	
	Бетонна підготовка	0,92	0,15	0,163	
торцева	Сосна вздовж волокон	0,35	0,06	0,171	0,346
	Цементно-піщана стяжка	0,81	0,01	0,012	
	Бетонна підготовка	0,92	0,15	0,163	
мозаїчна (терацо)	Мармур	2,91	0,02	0,007	0,232
	Цементно-піщана стяжка	0,81	0,05	0,062	
	Бетонна підготовка	0,92	0,15	0,163	

Висновки по розділу 2

1. Розглянуто проблему в дослідженні стаціонарного режиму теплопередачі у фундаментній зоні.
2. Запропонована математична модель, яка може забезпечити можливість аналітичного дослідження температурного поля в зоні фундаменту.
3. Визначено конструктивну структуру підлоги, фундаменту та цоколя, що характеризуються специфічними теплофізичними властивостями, для їх подальшого використання в дослідженні теплового режиму фундаментної зони.

РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОЗАХИСТУ ФУНДАМЕНТНОЇ ЗОНИ

4.1. Аналіз конструктивних підходів до облаштування вертикальної теплоізоляції.

Дослідження виконано із застосуванням методу скінчених елементів, реалізованого у програмному середовищі ELCUT, згідно з такою послідовністю:

1. Аналіз теплозахисних характеристик фундаментної зони за умов розташування теплоізоляційного матеріалу у вигляді вертикального внутрішнього шару.
 - Визначення оптимальної глибини закладання теплоізоляції для забезпечення ефективного зменшення тепловтрат.
 - Розрахунок необхідного значення опору теплопередачі для фундаментної зони, за якого різниця між температурою поверхні підлоги та внутрішньою температурою приміщення у місці стику стіни та підлоги становить 2°C .
2. Виконано дослідження теплозахисних характеристик фундаментної зони за умов розташування теплоізоляційного матеріалу у вигляді вертикального зовнішнього шару.
 - Визначено оптимальну глибину закладання теплоізоляції для забезпечення її ефективності.
 - Розраховано необхідне значення опору теплопередачі для фундаментної зони, за якого різниця між температурою поверхні підлоги та внутрішньою температурою приміщення в місці стику стіни й підлоги становить 2°C .
 - Досліджено комбінації варіантів із різним розташуванням теплоізоляційного матеріалу для досягнення максимальної ефективності.
3. Проведено порівняння характеристик зовнішнього та внутрішнього утеплення фундаментної зони та розроблено рекомендації щодо мінімізації тепловтрат через підлогу з урахуванням конструктивних особливостей і економічної доцільності.

4.2. Визначення теплозахисних характеристик фундаментної зони за умов утеплення фундаменту

Враховуючи мінімальний вплив коефіцієнта теплопровідності несучої частини фундаменту на тепловтрати через підлогу при заглибленні утеплювача нижче рівня промерзання ґрунту, для дослідження було обрано бутобетонний малозаглиблений фундамент і бутобетонний цоколь. Проаналізувавши існуючі конструктивні рішення підлоги на ґрунті, було вибрано характерний за теплозахисними властивостями варіант — цементну підлогу на бетонній основі. Глибина закладання фундаменту становить на 20 см нижче рівня промерзання ґрунту. Як внутрішній утеплювач використовується матеріал PREFROCK із коефіцієнтом теплопровідності $\lambda = 0,037 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

У попередніх дослідженнях було визначено вплив глибини заглиблення утеплювача відносно рівня промерзання ґрунту на опір теплопередачі фундаментної зони будівлі, що забезпечує нормативну різницю температур між внутрішнім повітрям і поверхнею підлоги ($\Delta t^H = 2^\circ\text{C}$). Для цього, в умовах клімату м. Суми, були виконані розрахунки температурних полів із поступовим збільшенням заглиблення утеплювача від 0,5 м до 2,5 м нижче рівня землі з інтервалом у 0,1 м.

За результатами дослідження було визначено оптимальні межі заглиблення вертикального утеплювача — на 0,2–0,5 м нижче рівня промерзання ґрунту. Менша глибина закладання утеплювача призводить до зниження його теплоізоляційної ефективності, оскільки не забезпечується необхідний опір теплопередачі для зменшення тепловтрат. Натомість, збільшення глибини утеплювача понад оптимальний рівень не впливає на розподіл температур на поверхні підлоги і не дає додаткових переваг.

У рамках дослідження було проаналізовано вплив глибини промерзання ґрунту на величину необхідного опору теплопередачі фундаментної зони для забезпечення нормативної різниці температур між внутрішнім повітрям приміщення та поверхнею підлоги ($\Delta t^H = 2^\circ\text{C}$).

Враховуючи нерівномірність температурного розподілу на поверхні підлоги, за визначальну температуру прийнято температуру підлоги у куті її з'єднання із

зовнішньою стіною, оскільки саме ця ділянка є найхолоднішою. Такий підхід дозволяє врахувати критичні точки, що визначають тепловий комфорт і мінімізацію тепловтрат.

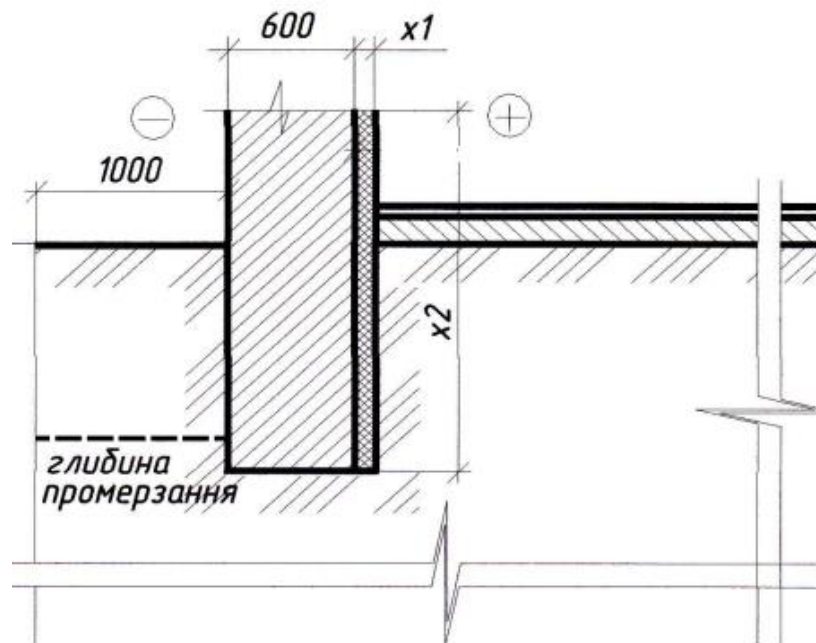


Рис. 23. Схема для розрахунку

Розрахунок проведено за схемою (рис. 23) з наступними вихідними умовами:

На основі зазначених вихідних умов розрахунок залежності опору теплопередачі фундаментної зони проводиться за такими основними етапами:

1. Конструкція підлоги:

- Бетонна підготовка: товщина $\delta=150$ мм, теплопровідність $\lambda=0,92$ Вт/(м*К).
- Цементний шар: товщина $\delta=50$ мм, теплопровідність $\lambda=0,81$ Вт/(м*К).
- Утеплювач: теплопровідність $\lambda=0,037$ Вт/(м*К).

2. Фундамент:

- Суцільний стрічковий із бутобетону: ширина 0,6 м, теплопровідність $\lambda=1,86$ Вт/(м*К).

3. Глибина закладання:

- Фундамент заглиблений на 0,2 м нижче рівня промерзання ґрунту.
- Утеплювач заглиблений до рівня закладання фундаменту.

4. Кліматичні умови:

Перша температурна зона: $t_{\text{зн}} = -22 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $d_f = 0,7-1,2 \text{ м}$.

Друга температурна зона: $t_{\text{зн}} = -19 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $d_f = 0,3-0,6 \text{ м}$.

Розрахунок:

- Глибина сезонного промерзання ґрунту змінюється від 0,3 м до 1,2 м із кроком 0,1 м.

Розрахунок:

1. Тепловий опір окремих шарів підлоги: Опір теплопередачі ($R_{\text{підлога}}$) для кожного шару визначається за формулою:

$$R = \delta / \lambda,$$

де:

- δ — товщина шару в метрах,
 - λ — теплопровідність матеріалу.
2. Загальний опір теплопередачі підлоги: Загальний опір $R_{\text{підлоги}}$ визначається по формулі:
$$R_{\text{підлоги}} = R_{\text{бетон}} + R_{\text{цемент}} + R_{\text{утеплювач}}$$
 3. Температурне поле фундаментної зони:
 - Визначення теплового потоку від поверхні підлоги до ґрунту з урахуванням глибини сезонного промерзання (d_f).
 - Температура у критичних точках (наприклад, у куті стику підлоги та зовнішньої стіни) моделюється за допомогою методу скінченних елементів.
 4. Глибина закладання утеплювача:
 - Визначається оптимальна глибина закладання утеплювача ($d_{\text{утеплювача}}$) для мінімізації тепловтрат за різних значень d_f .

Очікувані результати:

1. Оптимальна глибина утеплювача: Визначено для кожної температурної зони з урахуванням рівня промерзання ґрунту.
2. Розрахункова залежність: Графік залежності необхідного значення опору теплопередачі ($R_{\text{необхідне}}$) від глибини сезонного промерзання ґрунту (d_f).

Результати розрахунку дозволяють оптимізувати конструктивні рішення для зменшення тепловтрат через підлогу та фундаментну зону в умовах різних кліматичних зон.

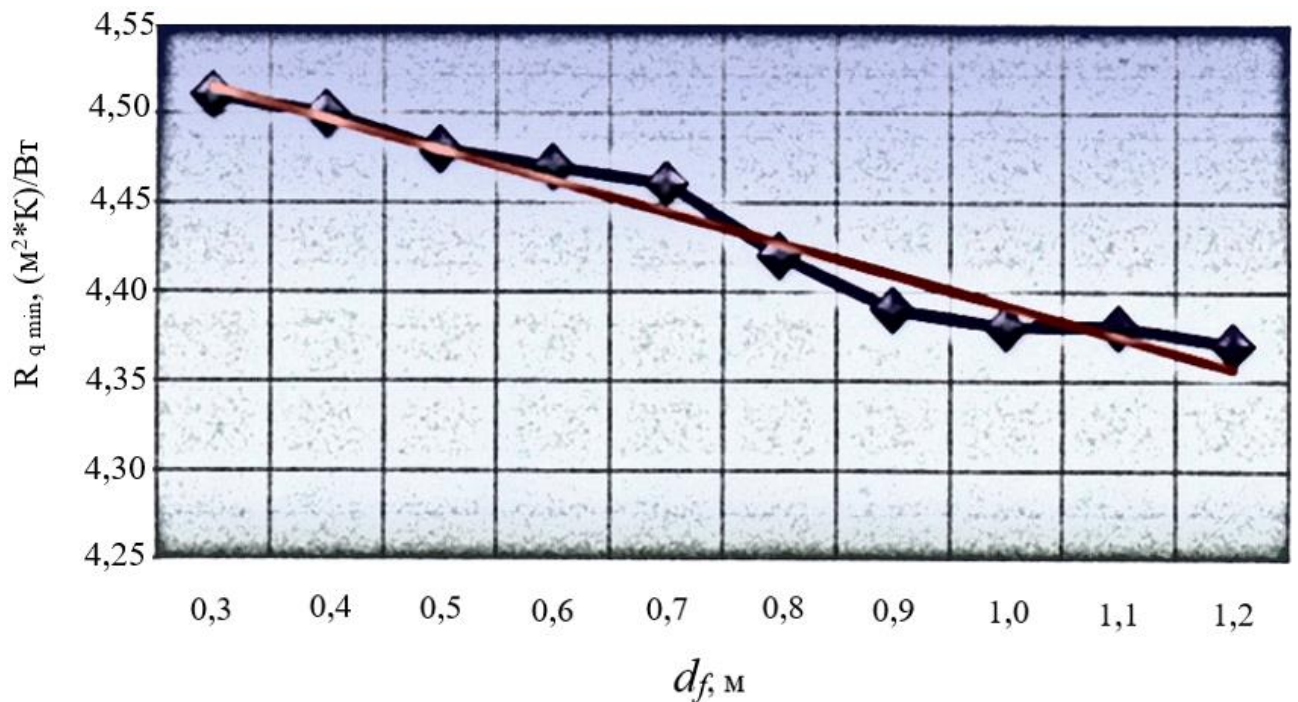


Рис. 24. Графік залежності необхідного опору теплопередачі фундаменту від розрахункової сезонної глибини промерзання ґрунту:
 —————
 отриманий по формулі

Для визначення рівняння прямої, що має лінійну характеристику між величинами R_H та d_f див. рис. 24. Використовується стандартна формула рівняння прямої на основі відомих точок $A_1 (x_1; y_1)$ і $A_2 (x_2; y_2)$

$$\begin{pmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 \\ x - x_1 & y - y_1 \end{pmatrix} = 0$$

Рівняння прямої, яке описує залежність необхідного значення опору теплопередачі (R) від розрахункової глибини сезонного промерзання ґрунту (d_f), за умови, що сума додатних і від'ємних відхилень прямує до нуля, має вигляд:

$$y = -0,17x + 4,563. \tag{3.10}$$

Підставляючи у формулі: де $y = -0,17x + 4,563$. x — розрахункова глибина сезонного промерзання ґрунту (d_f), а y — необхідне значення опору теплопередачі фундаментної зони (R), визначено значення R , при якому в куті

стику підлоги і зовнішньої стіни різниця між температурою поверхні підлоги і внутрішньою температурою приміщення становить 2 °С.

За аналогією з ДБН В.2.6-31:2006, величина R може бути прийнята як мінімально допустиме значення опору теплопередачі фундаментної зони при заглибленні утеплювача на 0,2 м нижче рівня промерзання ґрунту:

$$R_{q\min} = -0,17d_f + 4,563, \quad \text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}, \quad (3.11)$$

де $R_{q\min}$ – мінімально допустиме значення опору теплопередачі фундаментної зони при внутрішньому утепленні, (м²·К)/Вт; d_f – розрахункова глибина сезонного промерзання ґрунту, м; 0,017 і 4,532 – коефіцієнти, отримані емпіричним шляхом, із розмірністю (за їх розрахунком) відповідно м·К /Вт, м²·К /Вт.

Вплив коефіцієнта теплопровідності конструктивного матеріалу фундаменту на мінімально допустиме значення опору теплопередачі фундаментної зони, розраховане за формулою (3.11), є незначним і становить до 3%. Цей результат відповідає вимогам чинних будівельних норм, що допускають такі відхилення.

Інтерпретація:

- Незначний вплив теплопровідності матеріалу фундаменту свідчить про те, що основними факторами, які визначають мінімально допустиме значення опору теплопередачі, залишаються теплоізоляція та глибина її закладання.
- Похибка у 3% є прийнятною в будівельних розрахунках і не впливає суттєво на загальні теплотехнічні характеристики фундаментної зони.

Це підтверджує, що для оптимізації теплотехнічних властивостей фундаменту основну увагу слід приділяти правильному вибору та розташуванню теплоізоляції, а також врахуванню кліматичних умов регіону.

4. 3. Міри зі скорочення втрат тепла через підлогу на ґрунті та їхня економічна доцільність.

Попередній аналіз температурних полів показав, що скорочення глибини закладання утеплювача призводить до зменшення його ефективності, а отже, до потреби в збільшенні його товщини. Якщо глибина закладання утеплювача досягає або перевищує рівень промерзання ґрунту, необхідна товщина матеріалу

стане настільки значною, що її застосування в будівельних роботах буде недоцільним.

У подальших дослідженнях розглядається зовнішнє утеплення із глибиною закладання до встановленого рівня основи фундаменту (на 0,2 м нижче глибини промерзання ґрунту).

Дослідження засвідчили істотний вплив коефіцієнта теплопровідності несучої частини фундаменту на втрати тепла через підлогу при зовнішньому утепленні, якщо утеплювач розташований нижче рівня промерзання ґрунту.

Було виконано визначення залежності потрібного теплового опору фундаментної зони для забезпечення температурної різниці $\Delta t^H = 2^\circ\text{C}$ між поверхнею підлоги та внутрішнім повітрям від коефіцієнта теплопровідності матеріалу конструктивної частини фундаменту та розрахункової глибини промерзання ґрунту, тобто $R^H = f(d_f, \lambda_k)$. Схема розрахунку наведена на рис. 25 з наступними вихідними характеристиками.

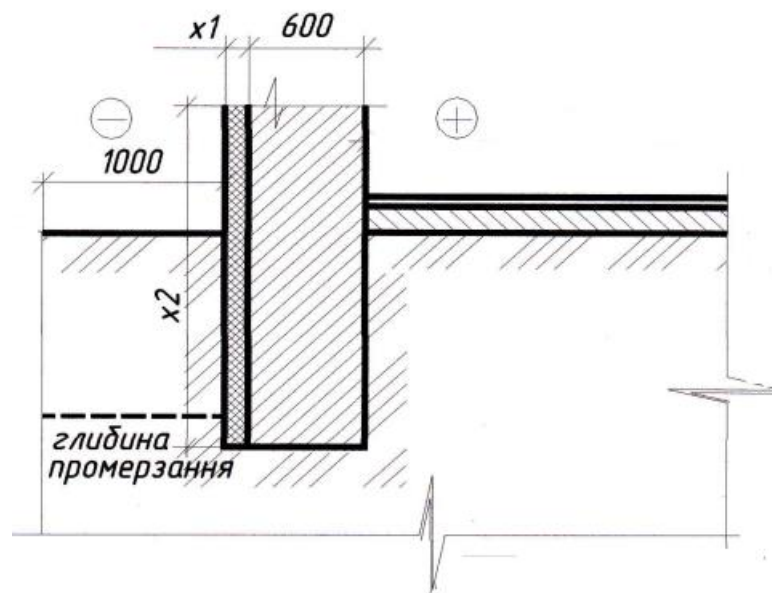


Рис. 25. Схема для розрахунку

Підлога включає шар бетонної основи товщиною 150 мм з теплопровідністю $\lambda = 0,92 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ та шар цементного покриття завтовшки 50 мм із теплопровідністю $\lambda = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

Утеплення виконується плитами з теплопровідністю $\lambda = 0,037 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

Фундамент закладається на 0,2 м нижче рівня промерзання ґрунту в конкретному регіоні, причому утеплювач заглиблюється до того ж рівня.

Зони моделювання та граничні параметри були описані в попередньому розділі.

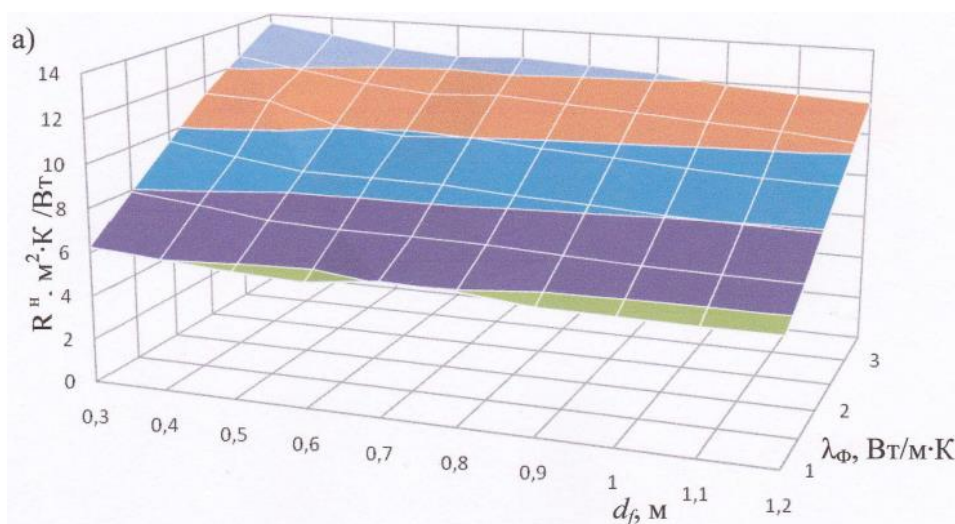
Фундамент являє собою суцільну стрічкову конструкцію (бетонну, бутобетонну або бутову) шириною 0,6 м, із коефіцієнтом теплопровідності несучої частини від 1 до 3,5 Вт/(м·К) з інтервалом 0,5 Вт/(м·К).

Для першої кліматичної зони України прийнята розрахункова температура зовнішнього повітря $t^{3H} = -22^{\circ}\text{C}$ та глибина сезонного промерзання ґрунту від $d_f = 0,7$ до 1,2 м; для другої зони ці показники становлять $t^{3H} = -19^{\circ}\text{C}$ та від $d_f = 0,3$ до 0,6 м відповідно.

Зміна глибини сезонного промерзання ґрунту моделювалась у діапазоні від 0,3 м до 1,2 м з інтервалом 0,1 м.

Результати розрахунків засвідчили істотну залежність необхідного теплового опору фундаментної зони від теплопровідності матеріалу конструктивної частини фундаменту: зі збільшенням теплопровідності зростає і тепловий опір.

Для кожної варіації вихідних даних виконувалися розрахунки температурних полів і підбиралася оптимальна товщина утеплювача ($\lambda = 0,037$ Вт/(м·К)), яка забезпечує нормативну різницю температур між внутрішнім повітрям і поверхнею підлоги ($\Delta t^H = 2^{\circ}\text{C}$), навіть у зоні стику зовнішньої стіни з підлогою. Потім було проведено розрахунок необхідного теплового опору фундаментної зони. Побудований графік на основі отриманих значень показав, що залежність $R^H = f(d_f, \lambda_{\Phi})$ від параметрів p та d наближається до площинної форми. Конструктивна частина фундаменту представлена на осі OX, розрахункова глибина промерзання ґрунту відображена на осі OY, а необхідний опір теплопередачі фундаментної зони показаний на осі OZ.



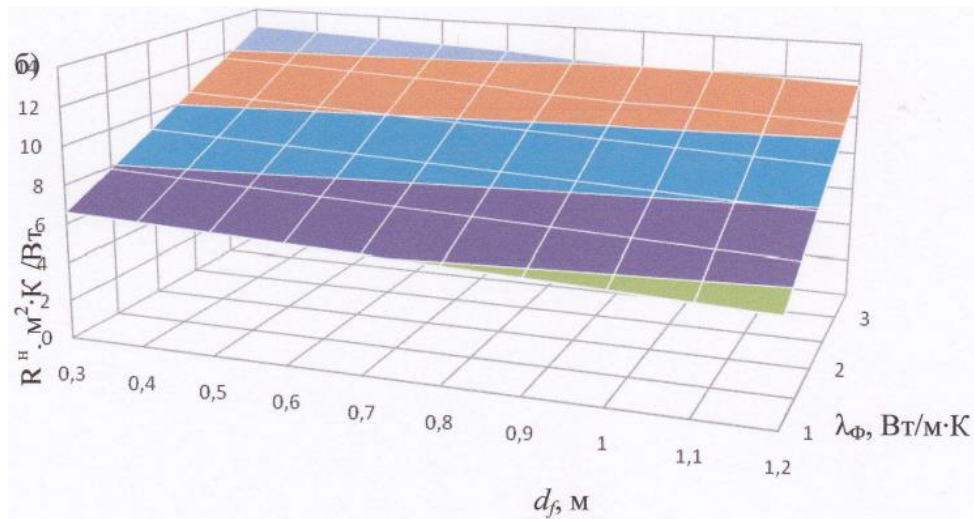


Рис.25. Графік залежності необхідного опору теплопередачі фундаментної зони від коефіцієнта теплопровідності конструктивної частини фундаменту та розрахункової глибини промерзання ґрунту включає:

- а) Результати, отримані на основі моделювання температурних полів.
- б) Результати, розраховані аналітично за формулою.

Вологість ґрунту при відносній пружності водяної пари в діапазоні 66-100% (рис. 26), визначена на основі ізотерм сорбції, становить $w=4,2-11,8\%$.

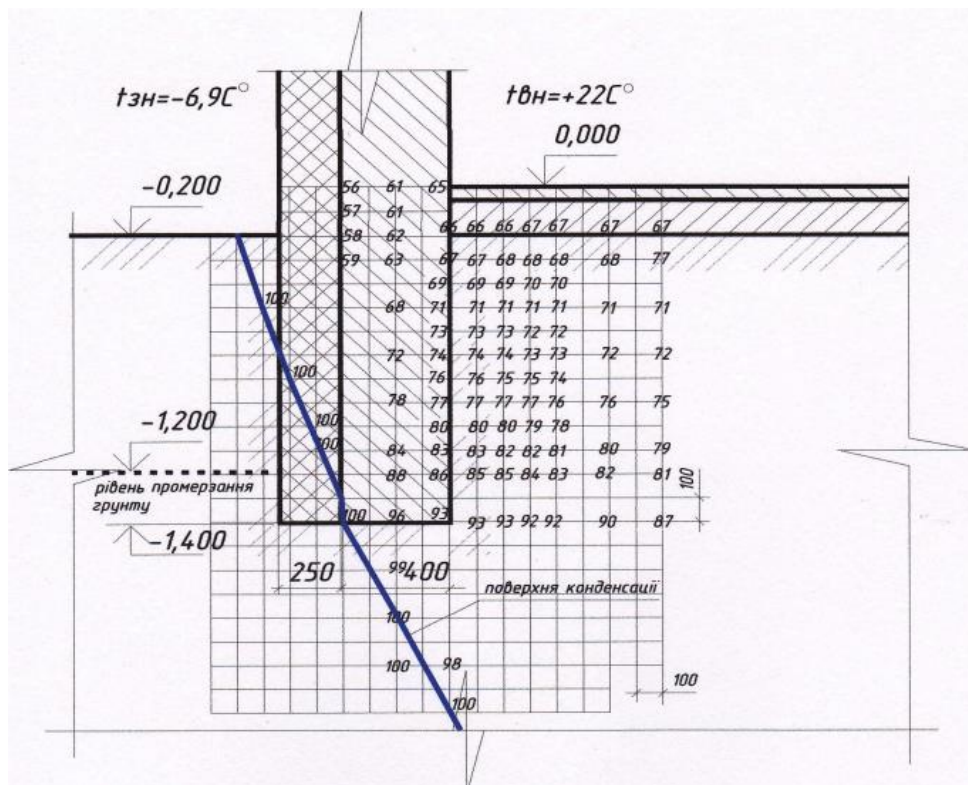


Рис.26. Відносна зміна пружності водяної пари у маси ґрунту навколо фундаментної зони завдяки зовнішньому утепленню

При зовнішньому утепленні цоколя утворення конденсату в конструкції не спостерігається. Вологість матеріалів у зоні фундаменту не перевищує нормативних значень, встановлених для умов експлуатації категорії Б.

4.4. Конструкції підлог з визначеними показниками теплостійкості

Для перевірки виконання умов теплопоглинання поверхнями підлог у запроєктованому одноповерховому житловому будинку в м. Суми було проведено аналіз шарів конструкції підлог із використанням розрахункових коефіцієнтів теплопровідності (λ) та теплостійкості (S) матеріалів.

Вхідні дані:

Матеріали шарів конструкції підлоги мають такі характеристики:

- **Керамограніт:**
 - Теплопровідність $\lambda_1 = 1,1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$,
 - Теплостійкість $S_1 = 11,63 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.
- **Цементно-піщана стяжка:**
 - Теплопровідність $\lambda_2 = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$,
 - Теплостійкість $S_2 = 8,69 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.
- **Керамзитобетон:**
 - Теплопровідність $\lambda_3 = 0,92 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$,
 - Теплостійкість $S_3 = 10,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

Розрахунок та аналіз:

1. Сумарний опір теплопередачі (R):

Обчислюється як сума опорів кожного шару конструкції:

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3},$$

де d_i — товщина шару.

2. Тепловий потік (Q):

Визначається за формулою:

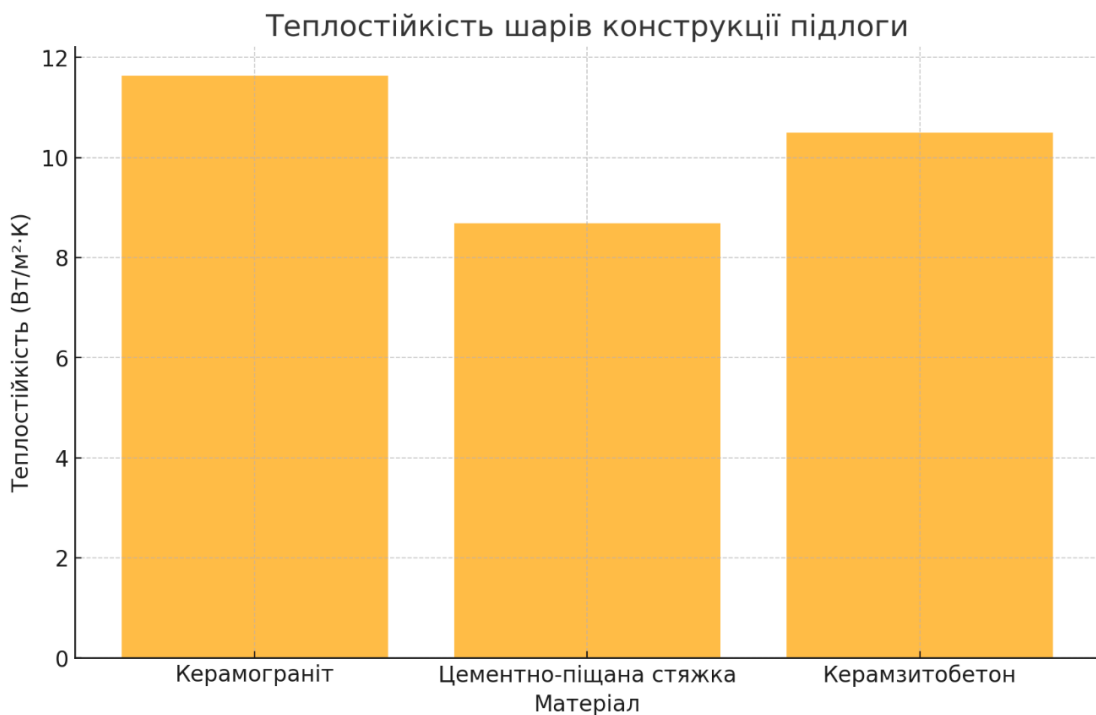
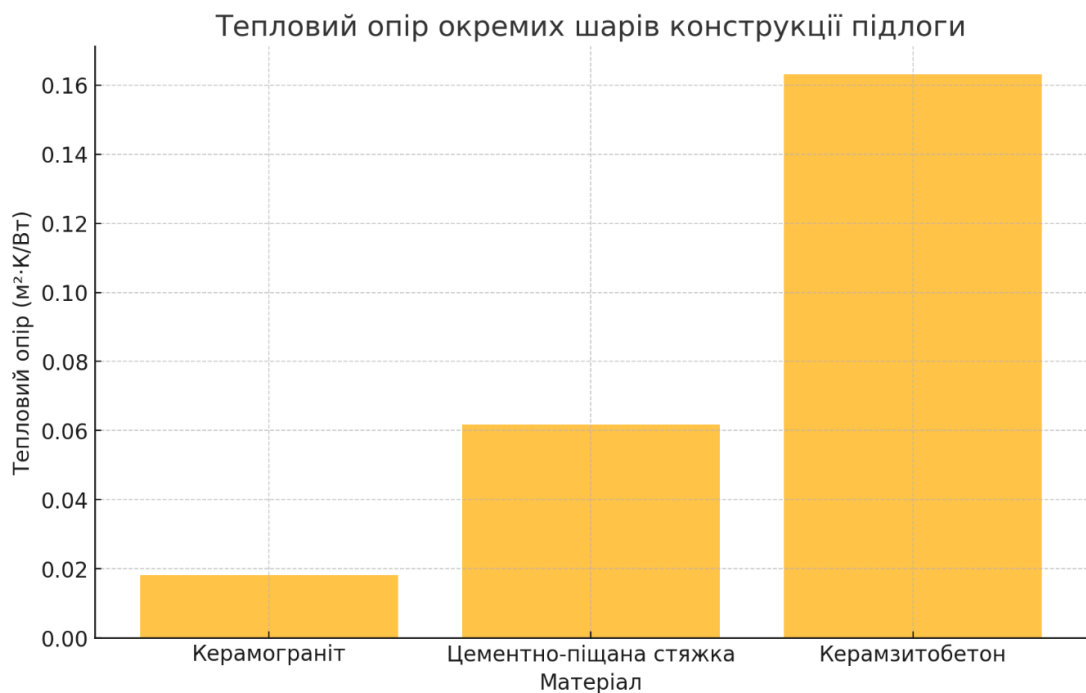
$$Q = \frac{\Delta T}{R}.$$

3. Теплостійкість (S) кожного шару:

Використовується для перевірки відповідності вимогам нормативів щодо тепло поглинання поверхнями.

Результати:

Згідно з наведеними даними, конструкція підлог відповідає умовам теплостійкості та тепло поглинання, якщо сукупна теплостійкість всіх шарів забезпечує нормативну різницю температур між поверхнею підлоги і внутрішнім повітрям.



Результати розрахунку теплостійкості та теплового опору шарів

Матеріал	λ (Вт/(м*К))	S (Вт/(м ² *К))	d (м)
Керамограніт	1.1	11.63	0.02
Цементно-піщана стяжка	0.81	8.69	0.05
Керамзитобетон	0.92	10.5	0.15

Основні результати:

- Сумарний тепловий опір (R): $R = 0.243$ (м²·К)/Вт;
- Тепловий потік (Q): $Q = 82.32$ Вт/м² при $\Delta t = 20$ °С

4.5. Розрахунок економічної ефективності утеплення фундаментної зони за приведеними тепловтратами

Для визначення економічної ефективності утеплення фундаментної зони на основі приведених тепловтрат необхідно виконати наступні етапи розрахунків:

1. Розрахунок тепловтрат до утеплення (Q_0):

Розраховуються за формулою:

$$Q_0 = \frac{\Delta T}{R_0},$$

де R_0 — опір теплопередачі без утеплення.

2. Розрахунок тепловтрат після утеплення (Q_1):

Розраховуються аналогічно:

$$Q_1 = \frac{\Delta T}{R_1},$$

де R_1 — опір теплопередачі з утепленням.

3. Розрахунок економії теплової енергії (ΔQ):

$$\Delta Q = Q_0 - Q_1.$$

4. Приведені тепловтрати за рік:

Приведені тепловтрати визначаються з урахуванням тривалості опалювального періоду (Н, годин на рік): $Q_{\text{рік}} = \Delta Q \cdot Н.$

5. Економія витрат на опалення ($C_{\text{екон}}$):

$$C_{\text{екон}} = Q_{\text{рік}} \cdot C_{\text{тепла}},$$

де $C_{\text{тепла}}$ — вартість 1 кВт·год теплової енергії.

6. Розрахунок вартості утеплення ($C_{\text{утеплення}}$):

Включає витрати на матеріали, роботу та доставку.

7. Оцінка економічної ефективності:

Визначається як термін окупності інвестицій у утеплення:

$$T_{\text{окупності}} = C_{\text{утеплення}} / C_{\text{екон}}$$

Дані для розрахунків:

- Опір теплопередачі до утеплення (R_0): відомо з даних конструкції.
- Опір теплопередачі з утепленням (R_1): розраховано раніше.
- Тривалість опалювального періоду: $H=4320$ год.
- Температурна різниця $\Delta t = 20$ °C.
- Вартість теплової енергії ($C_{\text{тепла}}$): уточняється.

Проведемо розрахунок:

Використаємо раніше розраховане $R_1=0.243$ м²·К/Вт.

Припустимо $R_0=0.15$ м²·К/Вт.

Наводимо розрахунки економічної ефективності утеплення фундаментної зони:

- Тепловтрати до утеплення: 133.33 Вт/м²
- Тепловтрати після утеплення: 82.30 Вт/м²
- Річна економія теплової енергії: 220.44 кВт·год/м²
- Економія витрат на опалення: 11.02 USD/м²
- Вартість утеплення: 15 USD/м²
- Термін окупності утеплення: 1.36 років

Висновок по розділу 4

1. Заходи з утеплення фундаментної зони (цоколю та фундаменту), спрямовані на зниженні тепловтрат підлогою на ґрунті, а також методика визначення оптимальної товщини утеплювача залежно від його конструктивного розташування, дозволяють суттєво зменшити загальні тепловтрати будівель.
2. У ході дослідження економічної ефективності утеплення фундаментної зони для конкретної будівлі було встановлено:
 - Щорічна економія газу для опалення досягла 10%.
 - Клас енергоефективності будівлі покращився.
 - Термін окупності витрат на утеплення фундаментної зони, з урахуванням приведених тепловтрат, склав 1.36 років.