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

**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**
**імені Ю.М. ПОТЕБНІ**

КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
(повна назва кафедри)

# Кваліфікаційна робота (проєкт)

*магістр*
(рівень вищої освіти)

на тему Оптимізація архітектурних, конструктивних та теплотехнічних вузлів під час створення мансардних поверхів

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1923-мопа
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Містобудування та об'ємно-просторова архітектура
(назва освітньої програми)
Нікітенко О.О.
(ініціали та прізвище)

Керівник проф., к.арх, Осиченко Г. О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент доц., к.т.н, Фостащенко О.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

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

**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**
**імені Ю.М. ПОТЕБНІ**

Кафедра міського будівництва і архітектури
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код та назва)
Освітня програма Містобудування та об'ємно-просторова архітектура

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
Завідувач кафедри _____
«03» 09 20 24 року

# З А В Д А Н Н Я
## НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Нікітенку Олексію Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проєкту) Оптимізація архітектурних, конструктивних та теплотехнічних вузлів під час створення мансардних поверхів

керівник роботи проф., к.арх, Осиченко Г. О.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «30» 09 2024 року № 1486-с.

1 Строк подання студентом роботи 01.12.2024

2 Вихідні дані до роботи Актуальність обраного напрямку досліджень, значимість у сучасному житті, можливість розвинення проблематики, перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об`єкт досліджень, предмет досліджень, передбачувані методи виконання досліджень

3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Літературний огляд. Провести аналіз існуючих технологій проектування мансардного поверху. Дослідити вплив технічних параметрів на теплотехнічні характеристики вузлів мансард. Дати оцінку ефективності існуючих методів проектування мансардного поверху на прикладі об'єкта, що експлуатується.

4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентація із результатами аналітичних обґрунтувань наукового напряму досліджень, результатами експериментальних досліджень, результати розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних методів досліджень

5 Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|---|---|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| 1 | Осиченко Г. О. | | |
| 2 | Осиченко Г. О. | | |
| 3 | Осиченко Г. О. | | |

6 Дата видачі завдання 01.09.2024

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|---|
| 1 | Літературний огляд | 01.10 | |
| 2 | Розділ 1 | 15.10 | |
| 3 | Розділ 2 | 01.11 | |
| 4 | Розділ 3 | 15.11 | |
| 5 | Розробка графічної частини | 20.11 | |
| 6 | Оформлення роботи | 25.11 | |
| 7 | Попередній захист | 01.12 | |

Студент _____ Нікітенко О.О.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) _____ Осиченко Г. О.
(підпис) (ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

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

# АНОТАЦІЯ

Нікітенко Олексій Олександрович. Оптимізація архітектурних, конструктивних та теплотехнічних вузлів під час створення мансардних поверхів.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник Г.О. Осиченко. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні ЗНУ, кафедра міського будівництва і архітектури, 2024.

Проаналізовано існуючі технології проектування мансардного поверху. Досліджено вплив технічних параметрів на теплотехнічні характеристики вузлів мансард. Дана оцінка ефективності існуючих методів проектування мансардного поверху на прикладі об'єкта, що експлуатується. Дана оцінка стан роботи теплоізоляції у вузлах мансардного поверху прикладі експлуатованого об'єкта.

Ключові слова: МАНСАРДНИЙ ПОВЕРХ, ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ВУЗЛИ МАНСАРД, ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЯ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ОПІР ПАРОПРОНИКНЕННЮ.



# ABSTRACT

Oleksiy Oleksandrovich Nikitenko. Optimization of Architectural, Structural and Thermal Engineering Nodes During the Creation of Attic Floors.

Qualifying graduation thesis for obtaining a master's degree in the specialty 192 - Construction and civil engineering, supervisor G.O. Osychenka Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebny ZNU, Department of Urban Construction and Architecture, 2024.

The existing attic floor design technologies are analyzed. The influence of technical parameters on the heat-technical characteristics of attic units has been studied. An evaluation of the effectiveness of the existing methods of designing the

attic floor is given on the example of an object in operation. An assessment of the state of thermal insulation in the nodes of the attic floor is given, examples of the operated object.

Keywords: ATTIC FLOOR, THERMAL CHARACTERISTICS, ATTIC UNITS, THERMAL INSULATION, ENERGY SAVING, VAPOR PENETRATION RESISTANCE.

ЗМІСТ


| | | |
|---|---|---|
| | ВСТУП…….. | 8 |
| Розділ 1 | ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ МАНСАРДНИХ ПОВЕРХІВ З ТЕПЛОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТОЧКИ ЗОРУ: ОГЛЯД НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ…… | 11 |
| 1.1 | особливості конструкції мансардних поверхів…….. | 11 |
| 1.2 | Основні недоліки проектування мансард, які спричиняють теплові втрати будівлі…… | 18 |
| 1.3 | Енергозбереження в процесі проектування – основний фактор розвитку будівельної індустрії…… | 22 |
| 1.4 | Висновки щодо розділу 1……..... | 24 |
| Розділ 2 | ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ТЕМІ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ …….. | 25 |
| 2.1 | Аналіз факторів тепловтрат і конструктивних недоліків у процесі облаштування мансардного поверху…… | 25 |
| 2.2 | Теплотехнічний розрахунок існуючої конструкції покрівлі, розрахунок на паропроникність…….. | 35 |
| 2.3 | Обчислення об'єму інфільтруючого повітря, що проникає через щілини та порожнечі в огороджувальній конструкції покрівлі…… | 46 |
| 2.4 | Моніторинг тепловтрат мансардного поверху. Оцінка ефективності функціонування теплоізоляційного матеріалу…… | 50 |
| 2.5 | Висновки щодо розділу 2……. | 59 |
| Розділ 3 | КЛАСИФІКАЦІЯ КОНСТРУКТИВНИХ І ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ДЕФЕКТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТИПОЛОГІЇ НЕДОЛІКІВ У ВУЗЛАХ МАНСАРДНИХ ПОВЕРХІВ……. | 61 |
| 3.1 | Сфера використання, функціональні можливості та | |

формулювання задачі в програмному комплексі ELCUT…… 61
3.2 Аналіз дефектів у вузлах мансардного поверху: Моделювання теплового контуру в програмному середовищі ELCUT…… 63
3.2.1 Карнизний вузол та покрівельний пиріг мансардного поверху……..... 64
3.2.2 Перекриття мансардного поверху, коньковий вузол……. 68
3.3 Висновки щодо розділу 3……. 77
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ…… 79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….. 80

# ВСТУП

**Актуальність теми**. Останні роки відзначаються значним збільшенням обсягів індивідуального житлового будівництва та суттєвими змінами в його типології. Це головним чином зумовлено переходом від типової до індивідуальної забудови. Різноманітність технологій і будівельних матеріалів на ринку дозволяє архітекторам і проектувальникам втілювати будь-які побажання замовників, а право власності на землю забезпечує статус малоповерхового будинку з земельною ділянкою як повноцінного житла.

Малоповерхове будівництво, яке активно розвивається, постійно вимагає нових конструктивних і архітектурних рішень. Зокрема, останні нормативно-правові документи, такі як «Енергетична стратегія України на період до 2050 року» та закон України № 1818-IX «Про енергетичну ефективність» (редакція від 30.06.2024), визначають основні напрямки для розвитку цієї галузі.

Мансардний поверх є експлуатованим простором на горищі, який одночасно виконує функції покрівлі та фасаду. Використання мансардного поверху замість повноцінного має низку переваг як з архітектурної, так і з економічної точки зору. Однак при його будівництві часто допускаються помилки, викликані спрощенням проектування, низьким рівнем кваліфікації будівельників або недбалим підходом до виконання робіт.

Відсоток будинків з мансардним поверхом у нашому регіоні значно менший, ніж у європейських країнах, і основною причиною є додаткові тепловтрати, які можуть виникати через конструкційні дефекти, що з'являються як під час проектування, так і в процесі зведення чи експлуатації.

Енергозбереження на всіх етапах життєвого циклу будівлі є критично важливим. Технічні та технологічні рішення, прийняті на етапі архітектурно-будівельного проектування, визначають експлуатаційні характеристики об'єкта, що впливають на комфорт та безпеку проживання.

Отже, дослідження технології будівництва мансардних поверхів та забезпечення їх енергоефективності є надзвичайно актуальними на сьогодні.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження є створення типології дефектів мансардного поверху індивідуальних будівель.

**Об'єкт дослідження.** Технологія влаштування мансардного поверху.

**Предмет дослідження.** Методи та прийоми виконання робіт із влаштування вузлів мансарди.

**Методи дослідження.** При вирішенні поставлених завдань використовувалися узагальнення, аналіз теоретичних та практичних досліджень на тему роботи та комплексні дослідження експлуатаційних властивостей фасадних панелей.

**Наукова новизна одержаних результатів**. Виявлено залежність факторів руху інфільтраційних потоків повітря через багатошарові огороджувальні конструкції мансард, що впливає на загальні втрати теплової будівлі. Експериментальним шляхом встановлена закономірність зниження властивостей теплозахисту будівлі при неконтрольованій якості укладання її теплоізоляції.

**Практичне значення одержаних результатів**. Проведено дослідження мансардного поверху, під час якого було виявлено основні конструкційні та теплотехнічні недоліки його устрою. Проведено розрахунок кількості інфільтраційного повітря, що надходить через щілини та нещільності огороджувальної конструкції. У результаті розрахунку виявлено, що у 1 м$^2$ площі дефектної огороджувальної конструкції доводиться до 20.285 кг/год. холодного потоку повітря, що надходить. Виявлені в процесі багатозадачного дослідження мансардного поверху дефекти можуть бути покладені в основу класифікації типології дефектів тепловтрат об'єктів нерухомості. Проведено розрахунок вузлів мансарди на стаціонарне теплоперенесення у програмному комплексі Elcut professional. У ході моделювання розрахунком виявлено мости холоду та надано рекомендації щодо усунення виявленого браку.

**Особистий вклад дослідника.** Постановка мети і завдання

дослідження. Збір і аналіз даних для проведення дослідження.

**Структура та обсяг магістерської роботи.** Магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, основних висновків, списку використаних джерел, містить 85 сторінок, 27 рисунків, 8 таблиць, 57 список використаних джерел.

# РОЗДІЛ 1
# ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ МАНСАРДНИХ ПОВЕРХІВ З ТЕПЛОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТОЧКИ ЗОРУ: ОГЛЯД НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Основні технології та особливості конструкції мансардних поверхів

Мансардний поверх має низку переваг порівняно з традиційним повноцінним поверхом:

• Оптимальне використання площі забудови;

• Підвищення архітектурної привабливості будівлі;

• Економія матеріалів і фінансових витрат приблизно на 30% порівняно з повноцінним поверхом;

• Можливість створення додаткового житлового простору в уже існуючих будинках або на обмежених ділянках.

Ще однією беззаперечною перевагою мансардного поверху є те, що, згідно з нормами містобудування, додавання мансарди не змінює кількість поверхів будівлі. Таким чином, приватна садиба з мансардним поверхом вважається одноповерховим будинком.

Основні відмінності між мансардним і повноцінним поверхами наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Відмінні характеристики мансарди від повноцінного поверху.

| Параметр | Мансарда | Другий поверх |
|---|---|---|
| Вартість | Нижче. Величина економії залежить від виду мансарди | Вище витрати на матеріали понад 30% |
| Тривалість робіт | Нижче в порівнянні з будівництвом поверху | Висока |
| Навантаження на фундамент та несучі стіни | Нижче | Вище |
| Об'єм повітря | Нижче за рахунок скошених стін | Вище |
| Площа | Корисна площа менша за рахунок «глухих» зон у місці примикання | Вище |
| Планування приміщення | Планування мансардного поверху здійснюється з урахуванням наявності глухих зон | Вільне |
| Площа ділянки | Не змінюється | Не змінюється |
| Освітленість | Найкраще, за рахунок похилих вікон, інсоляція приміщення вища | Залежить від кількості та місця розташування вікон. Крім того, глибокий укіс вікна затримує 2/3 сонячного світла |
| Площа скління | На 25% менше, ніж при використанні вертикальних вікон | Мінімум 1:8 до площі поверхонь стін (залежить від розташування) |

Продовження таблиці 1.1

| | | |
|---|---|---|
| Втрати тепла | Вище, однак, за умови правильного виконання всіх етапів робіт, показник практично однаковий | Нижче |
| Потреба теплоізоляційного матеріалу | Вище, проте, за правильного виконання всіх етапів робіт показник практично однаковий | Вище. Перекриття над поверхом необхідно утеплювати |
| Естетичність будови | Будинок з мансардним поверхом виглядає більш елегантно та незвичайно | Типова конструкція |

Аналізуючи порівняльну таблицю, можна зробити висновок, що, незважаючи на деякі труднощі у її будівництві та додаткові витрати, мансарда має низку переваг у порівнянні з повноцінним поверхом. Важливою умовою є те, що створення мансарди вимагає більш ретельного підходу до вибору технології її влаштування.

Одним із важливих завдань є не тільки дотримання існуючих технологій, а й розробка нових методів і рішень, що сприяють підвищенню експлуатаційної надійності будівель, таких як зниження енергоспоживання та тепловтрат, підвищення комфорту проживання та покращення зовнішнього вигляду будівель. На сьогоднішній день класифікація технологій будівництва мансардних поверхів виглядає наступним чином:

1. За конструкцією:
    - об'ємні блок-модулі:
        - бетонні (монолітні з легких бетонів);
        - металеві;

- повнозбірна мансарда із сендвіч-панелей;
- дерев'яні (найбільш популярні);
- комбіновані з металевим профілем і м'яким утеплювачем.

2. За рівнем механізації:
    - ручний спосіб;
    - з використанням підйомника;
    - за допомогою крана;
    - за допомогою лебідки;
    - конвеєрний метод (канатно-тросова система).
3. Транспортування конструкцій:
    - пакетна схема;
    - контейнерна схема;
    - поелементне транспортування.
4. За висотністю:
    - однорівневі;
    - дворівневі.
5. За несучою конструкцією:
    - фермові;
    - балочні з розпірками.
6. За способом збирання:
    - збирання з мокрими процесами;
    - збирання з сухими процесами.
7. За сезонністю використання:
    - утеплені мансарди;
    - неутеплені (використовуються рідше).

Технологічні рішення для будівництва мансард мають великий спектр варіантів, що залежать від різних факторів, таких як тип будівлі, обсяг робіт та фінансові можливості проекту. Для приватного житлового будівництва, де обсяги робіт зазвичай незначні, а рівень механізації мінімальний, найбільш

часто обирають класичну дерев'яну конструкцію мансарди, хоча іноді застосовують і повнозбірні варіанти з сендвіч-панелей.

Використання традиційної технології має свої переваги, оскільки не потребує спеціальних знань, однак застосування дерев'яних елементів для покрівлі вимагає ретельного дотримання технологічних норм і готовності до врахування різних нюансів у процесі роботи.

Технологічні рішення для влаштування мансардних поверхів є різноманітними та залежать від типу будівлі, рівня складності конструкцій, архітектурних особливостей покрівлі та інших чинників. Існуючі методи будівництва мансард можна поділити на п'ять основних типів:

1. Каркас із дерев'яних ферм на металевих шпонках з віконними блоками «Велюкс». Збірка конструкції здійснюється вручну з напівферм, утеплення покрівлі мінераловатними плитами. Покриття — металочерепиця, укладається по решетуванню.

2. Каркас з деревометалевих шпренгельних ферм, стійок та обв'язувального бруса. Вікна — з блоків. Утеплення покрівлі проводиться мінераловатними плитами. Конструкцію збирають вручну з напівферм, перед укладанням виконується монтаж монолітного залізобетонного обв'язувального пояса.

3. Перевлаштування холодної покрівлі в житлову з частковою зміною конфігурації. Основне утеплення — мінераловатні плити.

4. Зведення мансардного поверху в монолітному варіанті з використанням дрібнощитової опалубки. Подача та укладання бетонної суміші здійснюється вручну, напівавтоматичним або автоматичним способом. Перевага цієї технології — прискорене твердіння бетону.

5. Зведення мансардного поверху з блочною опалубкою, що горизонтально переміщається. Утеплення — пінополістирольними плитами, покрівля з металочерепиці по решетуванню. Подача бетонної суміші здійснюється напівавтоматично. Як і в попередньому методі, застосовуються прискорені методи твердіння бетону.

При виборі конструктивно-технологічних рішень важливими факторами є тривалість виконання робіт та умови інтенсифікації процесів. Крім того, значну роль відіграє економічна складова проекту, доступність матеріалів і простота технології, що не вимагає висококваліфікованих спеціалістів протягом усього періоду робіт.

Враховуючи різноманіття проектів житлових будинків на ринку нерухомості, оптимальний вибір варіантів проектування базується на таких аспектах: принципи будівництва, тип та конструкція мансарди, технологія, організація та механізація робіт. Кожен варіант оцінюється за численними характеристиками, такими як ефективність і критерії оптимальності вибору.

Окрім конструкційних аспектів, особлива увага при влаштуванні мансардних поверхів має бути спрямована на вибір теплоізоляційного матеріалу та покрівельного покриття. Теплоізоляція мансард є однією з основних і складних задач, для якої досі не існує оптимального рішення. За словами фахівців, найкращим вибором для утеплення мансард є плити з кам'яної вати щільністю 30-40 кг/м³, оскільки цей матеріал негорючий, паропроникний і стійкий до деформацій.

Також пропонується використання новітніх теплоізоляційних матеріалів, таких як піноскло. Заміна традиційних мінераловатних утеплювачів на піноскло при зведенні мансард дозволяє створити не тільки легкі, але й міцні конструкції, що забезпечують тривалий захист несучих елементів будівлі під час пожежі.

Цей матеріал може бути встановлений на покрівлю без необхідності створення вентиляційного зазору, механічного кріплення чи пароізоляції. Проте, варто зазначити, що піноскло є дорогим матеріалом, і його використання потребує певних навичок та додаткових трудовитрат. Крім того, використання піноскла без гідро- і пароізоляції є не зовсім коректним, оскільки конструкція "теплої покрівлі" передбачає взаємодію різних будівельних матеріалів. Для ефективної та тривалої роботи покрівельної системи необхідно забезпечити належну гідро- і пароізоляцію.

На рівень тепловтрат і експлуатаційні характеристики значною мірою впливають два основні фактори: якість і структура теплоізоляційного матеріалу, а також його захист від проникнення пари та вологи завдяки пароізоляційній плівці. Використання мембрани замість традиційної пароізоляційної плівки може призвести до намокання утеплювача в багатошарових конструкціях через підвищений опір паропроникненню. Однак вітровологозахисна плівка допомагає запобігти втраті волокон утеплювача, зменшує фільтрацію повітря через утеплювач і зберігає його теплоізоляційні властивості, одночасно захищаючи утеплювач під час монтажу від зволоження.

Основне завдання пароізоляції — це захист утеплювача від проникнення пари і вологи. У мансардних приміщеннях тепле повітря, будучи легшим за холодне, піднімається вгору, що призводить до більш високої температури під стелею на приблизно 2°C вище, ніж у середині кімнати. Вміст вологи в теплому повітрі також зазвичай вищий, що може призвести до утворення конденсату на стелі мансарди навіть при більш високих температурах, ніж на внутрішній поверхні зовнішніх стін.

Типова конструкція мансардного поверху — це багатошарова система з утеплювачем між кроквами, рідше — також поверх. Але існують і технології з монтажу покрівельних конструкцій із сендвіч-панелей, які є готовим конструкційним матеріалом, що складається з двох жорстких листів, зазвичай ОСП, з утеплювачем між ними. Популярною є технологія каркасно-дерев'яних панелей «Хаус-Концепт», де мансардний поверх створюється з багатошарових панелей на основі дерев'яного каркаса, обшитих плитами ОСП з обох боків, а внутрішній простір заповнений базальтовим утеплювачем, що забезпечує необхідний рівень теплоізоляції. Гідропароізоляційна мембрана захищає конструкцію будинку та утеплювач від вологи.

Переваги цієї технології полягають у високій точності виготовлення, оскільки панелі виробляються за допомогою промислового обладнання, а їх монтаж здійснюється безпосередньо на будівельному майданчику. Інші

переваги включають швидкість виготовлення та монтажу, а також економічність будівництва та експлуатації. Однак існують і деякі недоліки, зокрема необхідність використання монтажної та підйомної техніки, а також вогненебезпечність матеріалів.

Для проектувальника та кінцевого споживача важливою є не тільки правильна теплоізоляція конструкції, але й ефективна інсоляція кімнат мансардного поверху. Освітлення таких кімнат зазвичай здійснюється через спеціальні світлові люки, зокрема вікна «ВЕЛЮКС» або «ДОРМЕР». Однак установка таких вікон у покрівлі може призвести до ускладнення кроквяної системи, а також до порушення герметичності покрівлі та утворення мостів холоду.

## 1.2 Основні недоліки проектування мансард, які спричиняють теплові втрати будівлі

Вибір та комбінування елементів покрівлі є складною задачею, що вимагає обов'язкового врахування характеристик теплоізоляційних матеріалів та їхньої сумісності з іншими компонентами покрівельної системи.

На етапі проектування мансардного поверху можуть виникати наступні ризики:

• неправильний підбір та поєднання теплоізоляційних матеріалів для елементів покрівлі;

• ігнорування нормативів і рекомендацій щодо тепло-, звуко- та пароізоляції покрівлі;

• помилки у розрахунках щодо несучої здатності конструкції.

Однак основна частина дефектів виникає на етапі виконання робіт. Ризики, які можуть виникнути під час безпосереднього будівництва, включають:

• недостатня кваліфікація працівників;

• використання матеріалів, що не відповідають проектним вимогам;

• порушення технології монтажу;

• недостатній контроль якості виконаних робіт.

Найбільша кількість проблем зазвичай виникає на стадії експлуатації будівлі, що призводить до рекламацій. Причини цього часто пов'язані з недотриманням правил експлуатації самими власниками. Основні ризики в експлуатації мансардного поверху включають:

• несприятливі температурно-вологісні умови в приміщеннях;

• порушення роботи вентиляційної системи через її забруднення або демонтаж вентиляційних каналів;

• незаконні зміни в конструкції без коригування проекту.

У класичній схемі мансардного поверху приватного будинку основними проблемними ділянками, схильними до деформацій від зовнішнього навантаження, що можуть спричиняти утворення мостів холоду, є:

• карнизний вузол;

• вузол з'єднання міжповерхового перекриття з основною стіною;

• коньковий вузол;

• вікна та світлові ліхтарі в покрівельній конструкції.

Для будівництва каркасу будинку найбільш часто використовуються цегла та її сучасні різновиди.

Як зазначалося в таблиці 1.1, мансардний поверх надає будівлі архітектурну виразність завдяки складнішій формі покрівлі. Різноманітність мансардних покрівель пояснюється не тільки архітектурними вимогами, а й прагненням власників ефективно використовувати підпокрівельний простір, не жертвуючи естетикою. Однак складні конструкції покрівлі потребують більше матеріалів і уваги до їхньої надійності, оскільки мансарда піддається сильнішому вітровому навантаженню, що слід враховувати під час проектування. Також при створенні покрівель з ламаним силуетом виникають труднощі у забезпеченні теплоізоляції конструктивних вузлів, оскільки в підкроквяному просторі можуть утворюватися «мертві зони», що є додатковими точками для утворення мостів холоду.

Іншим фактором, який негативно впливає на проектування огороджувальних конструкцій в сейсмічно активних регіонах, є необхідність встановлення антисейсмічних поясів. Проте надмірні витрати на створення таких поясів та сердечників можуть призвести до утворення містків холоду, що не тільки знижує енергоефективність будівлі, але й викликає промерзання цих вузлів, що, в свою чергу, сприяє розвитку шкідливих грибів та плісняви, що підвищують ризик захворювань. Тому неправильне проектування антисейсмічних поясів без належної уваги до теплоізоляції може привести до прискореного зносу будівлі. Детальніше про проблему тепловтрат через антисейсмічні пояси та можливі шляхи їх вирішення з використанням додаткової ізоляції.

При будівництві основних несучих стін із каменю найбільш вразливими є конструкція теплої покрівлі та вузли її з'єднання з основною коробкою будівлі, які сприяють проникненню холодного повітря всередину приміщення. Найпоширенішими дефектами мансардного поверху є утворення щілин та нещільностей, що порушують цілісність багатошарової конструкції.

З’являючись, такі дефекти збільшують фільтрацію повітря, тобто проникнення зовнішнього повітря через нещільності в огороджувальних конструкціях під впливом гравітаційного та вітрового тиску. Окрім цього, існує протилежний процес – ексфільтрація. Збільшення обох показників значно знижує теплоізоляційні властивості огороджень, порушуючи повітряно-тепловий баланс приміщення. Ексфільтрація в холодний період року спричиняє додаткові втрати тепла та охолодження внутрішніх поверхонь конструкцій. Відповідно до вимог [4], опір повітропроникненню Rв повинен бути не меншим за нормативне значення Rв.тр., м²*год*Па/кг.

Ще один важливий чинник, що впливає на втрати тепла, – це підвищена вологість утеплювачів, що призводить до значного зниження їхніх теплоізоляційних властивостей. Вологий режим огороджувальних конструкцій також впливає на довговічність утеплювачів. Мінераловатні утеплювачі та їхні аналоги є найбільш поширеними, але мають низьку

повітропроникність і схильні до вбирання зайвої вологи з повітря. Це спричиняє конденсацію вогкості в утеплювачі, що значно знижує його теплоізоляційні властивості і перетворює його на теплопровідний матеріал, що фактично утворює місток холоду. Це явище описано в багатьох наукових працях.

Як зазначалося раніше, процес інфільтрації повітря є серйозною проблемою, однак сучасні норми проектування часто не звертають належної уваги на такі фактори, як інфільтрація та ексфільтрація. Інфільтрація повітря посилюється через економайзерний ефект, коли тиск зовнішнього повітря перевищує внутрішній. Цей процес особливо помітний з навітряної сторони будівлі та на нижніх поверхах, де впливає гравітаційний тиск і різниця температур на різних висотах [26, 39]. Таким чином, інфільтрація холодного повітря на мансардному поверсі є більш вираженою.

Зазначалося також, що протиток тепла через щілини та порожнечі створює економайзерний ефект, за якого частина тепла передається з потоком холодного повітря. Це призводить до великого ризику утворення точки роси в утеплювачі, що значно знижує його теплоізоляційні властивості.

Енергоефективність будівлі оцінюється за її енергоспоживанням, що повинно відповідати нормам, а порівняння розрахункового і фактичного енергоспоживання дозволяє визначити рівень ефективності будівлі (1.1).

$$q_{des} \leq q_{reg} \tag{1.1}$$

де qres та qreg — розрахункове та фактичне питоме енергоспоживання будівлі. Очевидно, що чим менше значення qdes, тим вищою є енергоефективність будівлі. Однак досягнення таких показників на етапі проектування або експлуатації є складним завданням.

Покращити енергоефективність можна шляхом зменшення впливу крайових зон, які мають геометричні або теплофізичні неоднорідності. Удосконалення конструктивних рішень зовнішніх огорож дозволяє знизити

тепловтрати через оболонку будівлі на 29%, а витрати на опалення — на 25% [39].

## 1.3 Енергозбереження в процесі проектування – основний фактор розвитку будівельної індустрії

У сучасному будівництві є фактори, що сприяють вдосконаленню традиційних технологій створення мансардних поверхів. Однак більшість досліджень зосереджена на використанні нових теплоізоляційних матеріалів, при цьому часто не враховуються технологічні аспекти забезпечення теплової надійності конструктивних вузлів. Проблеми енергозбереження та енергоефективності будівель є одними з найактуальніших як для України, так і для світової економіки. Способи вирішення цих проблем значною мірою визначатимуть місце нашого суспільства серед економічно розвинених країн, а також впливатимуть на рівень життя та умов житла громадян України.

Важливо підкреслити, що енергоефективність і енергозбереження займають ключову роль у забезпеченні стійкості навколишнього середовища для людини, будучи одним з основних параметрів оцінки якості житлового середовища.

Таблиця 1.2 - Категорії оцінки стійкості довкілля

| Категорія | Вагомість категорії, % |
|---|---|
| Комфорт та якість зовнішнього середовища | 10,8 |
| Комфорт та екологія внутрішнього середовища | 13,3 |
| Якість архітектури та планування об'єкту | 9,2 |
| Раціональне водокористування | 6,1 |

Продовження таблиці 1.2.

| | |
|---|---|
| Застосування альтернативної та відновлюваної енергії | 9,2 |
| Якість санітарного захисту та утилізація відходів | 3,9 |
| Енергозбереження та енергоефективність | 18,5 |
| Екологія створення, експлуатації та утилізації об'єкта | 9,8 |
| Якість підготовки та управління проектом | 9,2 |
| Економічна ефективність | 10 |

Варто зазначити, що дана категорія, представлена в таблиці 2, включає критерії оцінки енергоспоживання інженерних систем будівлі окремо та загальний витрат первинної енергії. Такий підхід дозволяє провести повний аналіз не лише енергоспоживання будівлі, але й загального ефекту енергозберігаючих заходів.

Проблемам теплозбереження та енергоефективності як проектованих, так і існуючих будівель присвячено дослідження багатьох зарубіжних вчених, таких як M. Tenpieric [56], Y. Cheng [46], A. Alajmi [44], C. Rode [55], G. Hauser [48].

Для забезпечення енергоефективності проектованого та/або будівництва мансардного поверху необхідно розробити систему теплотехнічних експертиз, яка передбачатиме консультації та співпрацю з проектувальниками. Вона повинна включати операційний контроль якості прийнятих рішень на всіх етапах будівництва. Лише експертний супровід протягом всього процесу дозволить уникнути втрат вартості об'єкта за рахунок

підвищення енергоефективності конструкцій та запобігання витокам тепла через найбільш вразливі ділянки.

При оцінці енергоефективності будівлі важливо враховувати показник її компактності, на який впливають поверховість, конфігурація та порізаність фасаду. Чим менша поверховість будівлі, тим більший показник компактності, оскільки в малоповерхових будівлях відношення площі огороджувальних конструкцій до обсягу значно вищє, ніж у багатоповерхових. Тому малоповерхові будівлі мають меншу тепло- та енергоефективність порівняно з багатоповерховими, що вимагає кращого утеплення при витраті тих самих енергоресурсів.

Виходячи з цього, можна зробити висновок, що для розробки ефективного енергоефективного проекту малоповерхового будівництва необхідно ретельно опрацювати проект організації будівництва та створити базу дефектів конструктивних вузлів. Водночас слід пам'ятати, що реконструкція об'єкта завжди обходиться дорожче та вимагає більших трудових та часових витрат.

## 1.4 Висновки щодо розділу 1

Під час літературного огляду та аналізу наявних технологій будівництва мансардних поверхів було виявлено, що, незважаючи на широкий вибір теплоізоляційних матеріалів та технологій для мансард, існує проблема забезпечення енергоефективності та надійності в аспекті теплозбереження як для проектованої, так і для будованої будівлі в цілому, а також для окремих вузлів конструкцій.

# РОЗДІЛ 2
# ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ТЕМІ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

## 2.1 Аналіз факторів тепловтрат і конструктивних недоліків у процесі облаштування мансардного поверху

Ймовірність значних тепловтрат через огороджувальні конструкції будівель залишається високою, тому підвищення енергоефективності будівель є одним із ключових завдань після забезпечення їх конструкційної надійності.

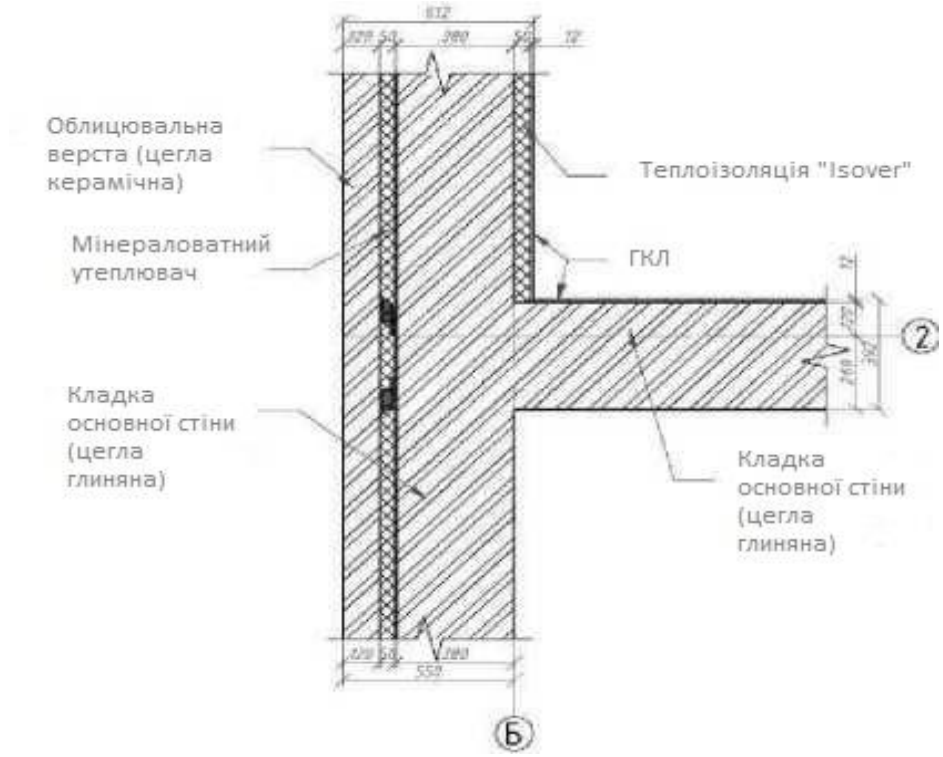
Для зменшення тепловтрат і покращення теплотехнічних характеристик будівлі необхідно провести тепломоніторинг, результати якого дозволять розробити рекомендації щодо усунення причин теплових втрат. Досягнення енергоефективності проектованих або вже експлуатованих будівель потребує комплексного підходу, що включає залучення кваліфікованих фахівців для проведення теплотехнічної експертизи.

У рамках дослідження було проведено обстеження мансардного поверху приватного будинку в Запоріжжі. Використовувалася інфрачервона камера FLIR B200, призначена для визначення температури шляхом візуалізації теплового випромінювання об’єктів, що дозволяє виявляти конструкційні дефекти та зони проникнення холодного або теплого повітря. Зйомку виконано за умов зовнішньої температури tn=−12∘Ct_n = -12^\circ Ctn=−12∘C, вологості 25–30%, внутрішньої температури tv=+22∘Ct_v = +22^\circ Ctv =+22∘C та вологості близько 55%. Коефіцієнт випромінювання поверхонь становив 0,92.

Результати тепловізійного обстеження мансардного поверху виявили наступні дефекти теплового контуру будівлі:

- Промерзання у вузлах з’єднання зовнішніх стін (рисунок 2.1).
- Втрати тепла в місцях примикання стін до перекриття першого поверху (рисунок 1.2).

Також значні перепади температур спостерігаються у шаруватій конструкції покрівельного пирога мансарди, рисунок 1.3



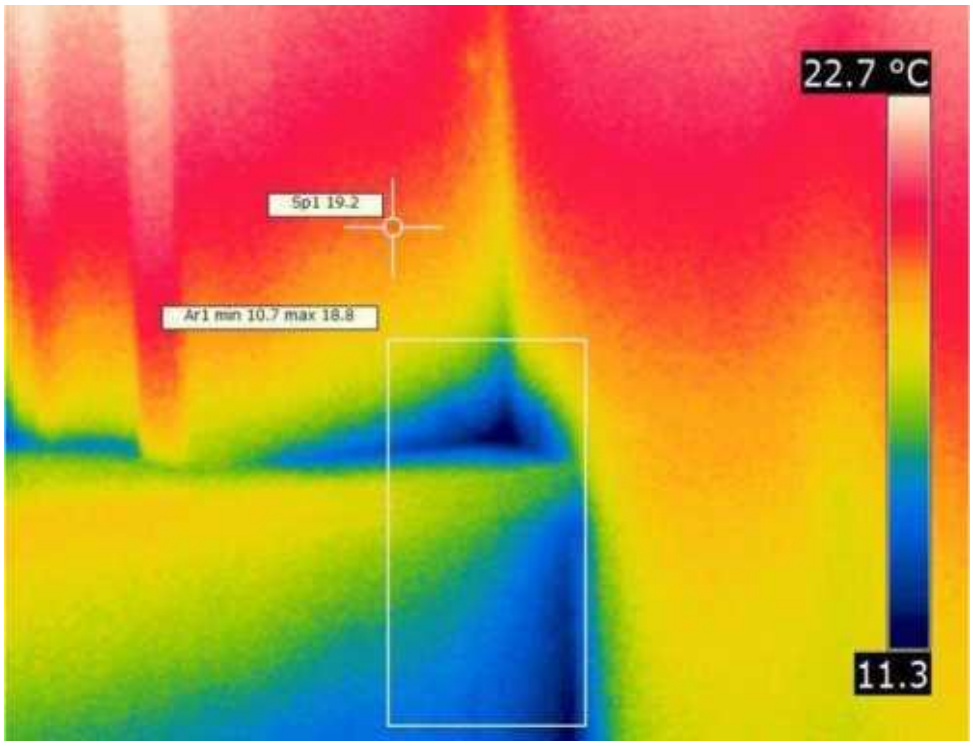
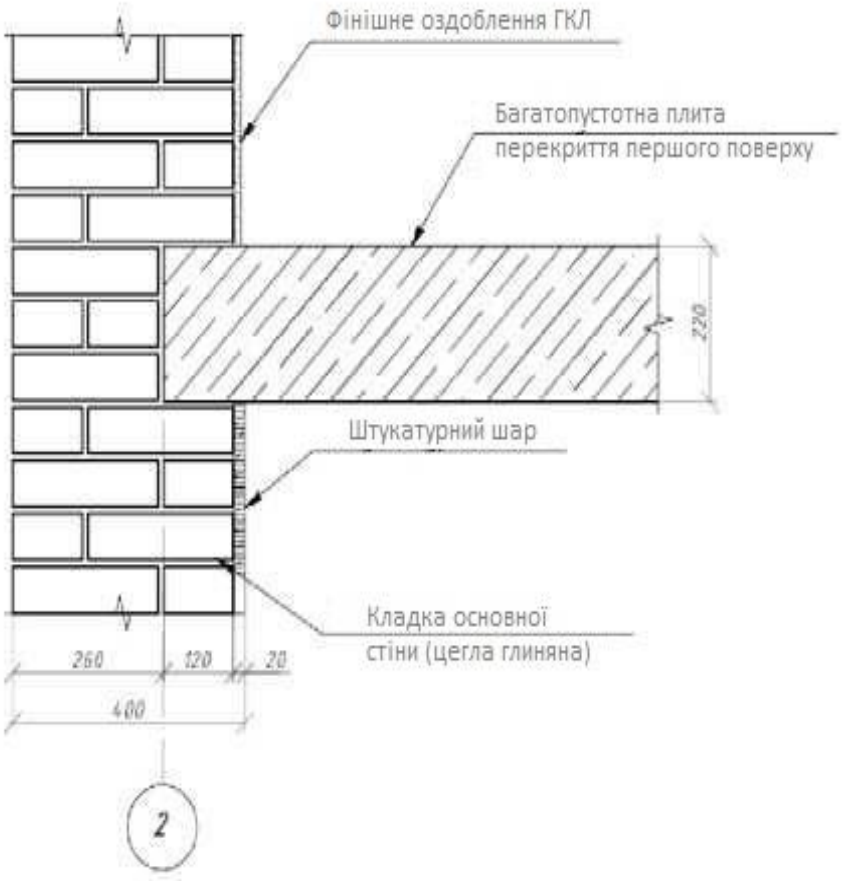




Рисунок 2.1 - Креслення та термограма вузла конструкції стику зовнішніх стен



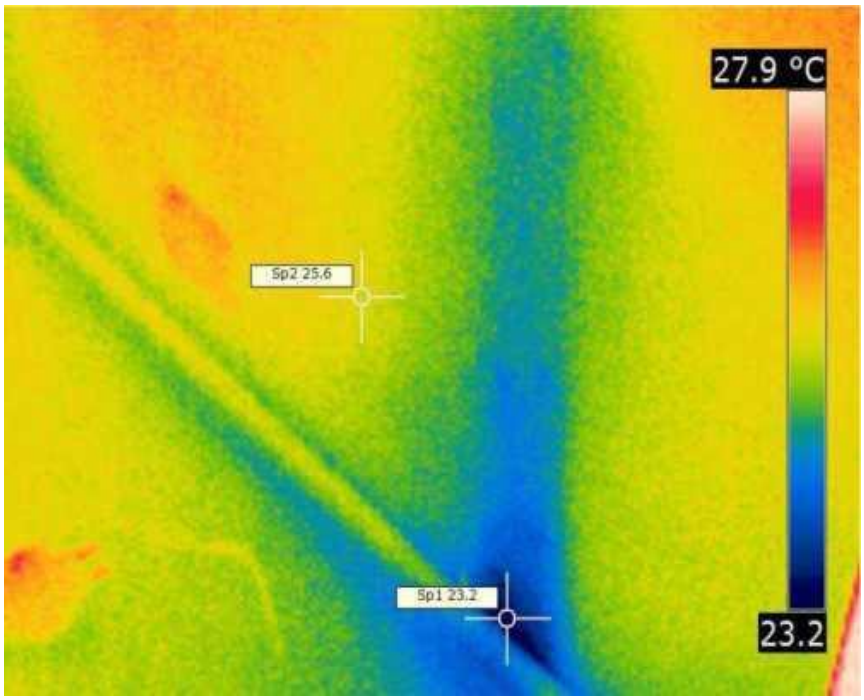




Рисунок 2.2 - Креслення та термограма конструкції вузла перекриття



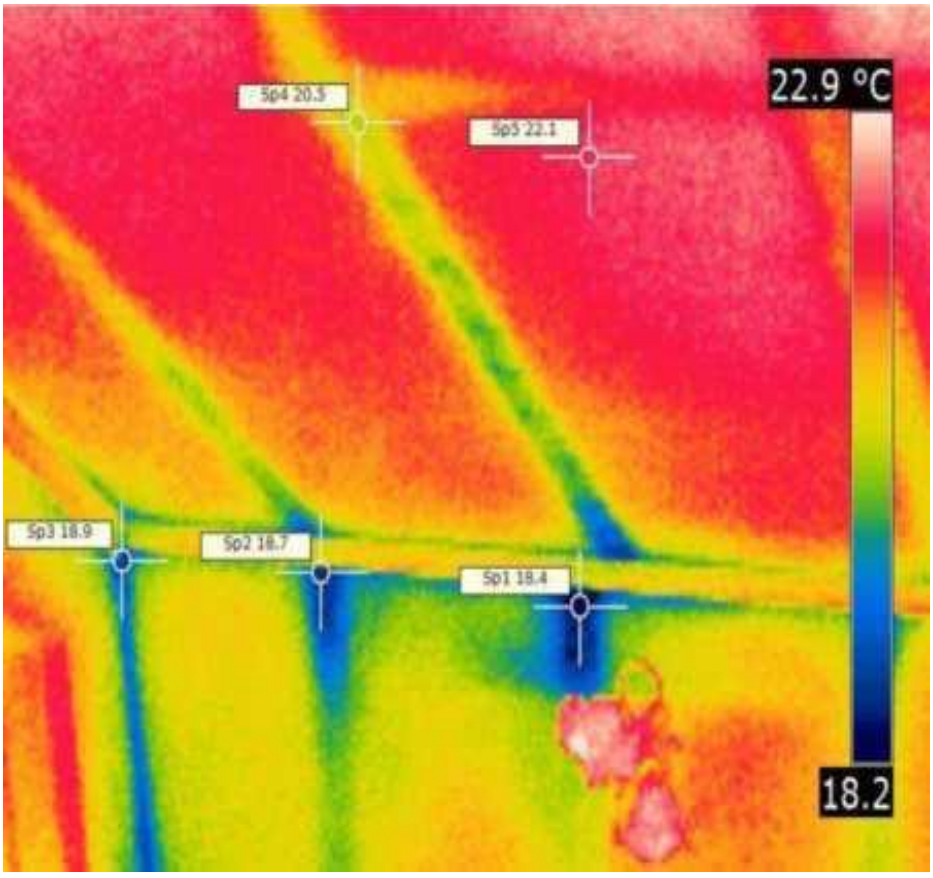




Рисунок 2.3 - Креслення карнизного вузла та термограма даної ділянки

Аналізуючи результати тепловізійного обстеження мансардного поверху, можна дійти висновку, що основними зонами утворення теплових мостів є стики та місця з’єднання різнорідних матеріалів.

Крайові ділянки будівлі особливо схильні до додаткових тепловтрат, а в умовах мансардного поверху ці втрати можуть бути суттєво більшими. Це пов’язано з тим, що конструкція мансарди має локально неоднорідні властивості з точки зору геометрії та теплофізичних характеристик.

На основі отриманих даних тепловізійного обстеження було прийнято рішення провести локальний розтин багатошарової покрівельної конструкції для виявлення таких можливих дефектів, як:

- підвищена вологість утеплювача;
- наявність грибкових уражень;
- зсув утеплювача (його "сповзання");
- тріщини або пустоти у конструкції.

Розтин конструкції здійснювався в літній період із внутрішньої сторони приміщення. Роботи виконувались за такою послідовністю:

1. Видалення фінішного оздоблювального шару з гіпсокартону (ГКЛ) товщиною t=12t = 12t=12 мм із внутрішньої частини приміщення. Розтин проводився шляхом виконання прямокутного пропилу розміром приблизно 400×300400 \times 300400×300 мм (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 - Розтин фінішного оздоблення з ГКЛ

Під час вилучення першого шару утеплювача товщиною t=50t = 50t=50 мм (матеріал утеплювача — мінеральна вата на основі кварцу «Isover»), було виявлено, що утеплювач містить пилові відкладення та сторонні домішки у своїй структурі (рисунок). Накопичення пилу, ймовірно, зумовлене інфільтрацією та ексфільтрацією потоків повітря, які виникають під впливом вітру через утворені щілини та порожнини в подальших шарах покрівельної конструкції.

При цьому у даному шарі не було виявлено зволожених зон, вогнищ грибка або ознак "сповзання" утеплювача.



Рисунок 2.5 - Наявність пилуватих відкладень у утеплювачі

1) Наступний шар утеплювача в конструкції покрівлі огороджений настилом зі шпунтових дощок t=40 мм. Для того щоб дістатися до наступного шару утеплювача, в настилі з дощок було випиляно вікно розмірами ~100х150 мм. рисунок 2.6.



Рисунок 2.6 - Розкриття шару покрівлі зі шпунтових дощок

Наступним шаром утеплювача, розташованим за настилом із шпунтованих дощок, є мінераловатна плита. Цей теплоізоляційний матеріал характеризується низькою якістю та неоднорідністю щільності. При огляді не було виявлено зволожених зон чи вогнищ грибка.

У процесі обстеження встановлено, що настил із шпунтованих дощок зазнав усадки під час експлуатації будівлі та внаслідок деформацій покрівлі. Це призвело до утворення нерівномірних щілин і зазорів (рисунок 2.7), які могли сприяти проникненню холодного повітря із зовнішнього середовища вглиб конструкції. Наявність пилових відкладень у товщі першого шару утеплювача (рисунок 2.5) підтверджує цей висновок.



Рисунок 2.7 - Наявність щілин та зазорів між настилом зі шпунтових дощок

2) Наступний, перший шар утеплювача з зовнішнього боку багатошарової конструкції, являє собою матеріал, що напилюється - Піноізол. Цей теплоізолюючий матеріал, за словами власника, практично відразу після нанесення дав значні тріщини та розриви, причинами яких стало усадження будинку та деформації конструкції.

Матеріал також закритий з внутрішньої сторони приміщення суцільним настилом з дощок t=32 мм., які, як і настил зі шпунтових дощок, не мають щільного прилягання один до одного. Дістатися повною мірою до цього шару утеплювача неможливо було через складність даної конструкції покрівлі. Тому для того щоб перевірити стан утеплювача та виявити в ньому наявність вологості, в настилі з теса було висвердлено отвір ~Ø3О мм. У ході розтину, підвищеної вологості, а також порушення структури утеплювача не виявлено.

3) Далі була спроба розкриття фінішної обробки з ГКЛ нижче ската покрівлі, з метою дослідження стану бруса-мауерлата і виявлення під ним щілин і пустот. Послідовність робіт аналогічна послідовності розтину покрівельного пирога.

Як і у разі розтину «покрівельного пирога», першим шаром є мінеральна вата на основі кварцу «Isover», в якій також містяться пилові відкладення, як і в попередньому місці розтину, рисунок 2.8.



Рисунок 2.8 - Пилові відкладення у утеплювачі в області бруса-мауерлату

Зміст пилових відкладень у товщі утеплювача говорить про те, що під оздоблювальним шаром із гіпсокартонних листів відбувається рясне проникнення потоків повітря. Найімовірніше проникнення повітря в утеплювач відбувається з боку покрівлі, тому що в процесі розтину було виявлено нещільне примикання стику шпунтових дощок з кладкою стіни, рисунок 2.9.

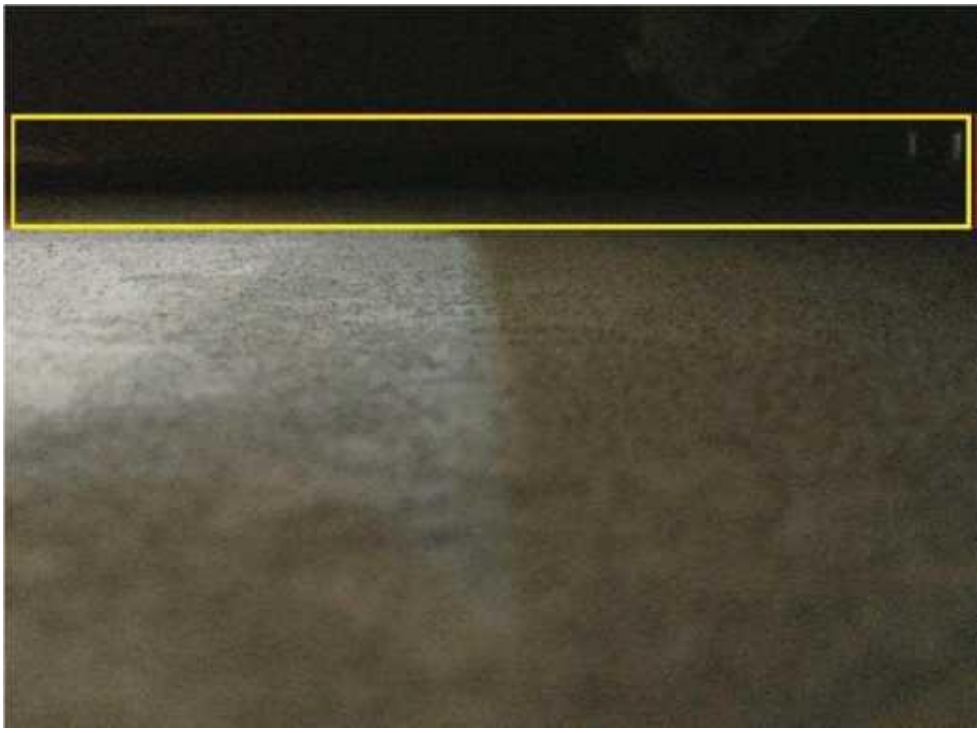


Рисунок 2.9 – Нещільне примикання настилу покрівлі з основною стіною. (прямокутником виділено щілину між настилом та кладкою стіни)

У зв'язку зі складністю пристрою фінішного шару з ГКЛ та наявністю шару штукатурки поверх кладки основної стіни аж до стику з покрівлею, обстежити стан бруса-мауерлату не вдалося. Однак відставання штукатурного шару та тріщини в ньому не виявлено, що свідчить про те, що підвищеної вологості в цьому шарі немає.

Проведене обстеження стану конструкції «покрівельного пирога» виявило ряд конструктивних недоліків, таких як щілини та зазори між чистовим та чорновим настилом, низька однорідність основного

теплоізоляційного шару та відсутність необхідного паро- та гідробар'єру як з боку приміщення, так і вітрозахисної мембрани з боку зовнішнього. контуру огороджувальної конструкції. Про необхідність та технологію влаштування пароізоляційних матеріалів у покрівлі мансардного поверху.

## 2.2 Теплотехнічний розрахунок існуючої конструкції покрівлі, розрахунок на паропроникність

Після проведеного дослідження, описаного в попередньому пункті, в першу чергу необхідно було провести теплотехнічний розрахунок для виявлення відповідності прийнятих конструктивних рішень при утепленні покрівельного пирога. Розрахунок здійснено відповідно до вимог нормативних документів [2, 4].

Вихідні дані:

• Район будівництва: м. Запоріжжя;

• Відносна вологість повітря: $\varphi_в$ = 55%;

• Тип будівлі чи приміщення: Житлові;

• Розрахункова середня температура внутрішнього повітря будівлі: $t_В$ = 23 ° С;

Відповідно до таблиці 1 [4] при температурі внутрішнього повітря будівлі $t_{int}$ = 23 ° С і відносної вологості повітря $\varphi_{int}$ = 50% вологий режим приміщення встановлюється як нормальний.

Визначимо базове значення необхідного опору теплопередачі $R_0^{ТР}$, виходячи з нормативних вимог до наведеного опору теплопередачі п. 5.2 [4] згідно з формулою 2.1:

$$R_0^{ТР} = a * ГДОП + b \quad (2.1)$$

де a та b - коефіцієнти, значення яких слід приймати за даними таблиці 3 [4] для відповідних груп будівель. Так даної огороджувальної конструкції,

a=0.00045, b =1.9.

Визначимо градусо-добу опалювального періоду ГДОП, °С * сут. за формулою 2.2 відповідно до пункту 5.2 [4]:

$$ГДОП = (t_B - t_{оп}) * Z_{от} \quad (2.2)$$

де $t_B = 23°$ С - розрахункова середня температура внутрішнього повітря будівлі;

$t_{от}$ = - 7.9 °С - середня температура зовнішнього повітря, прийнята за таблицею 1 [5] для періоду із середньою добовою температурою зовнішнього повітря трохи більше 8 °З цього типу будівлі - житлові;

$Z_{от}$ = 223 доби - тривалість у добах опалювального періоду, що приймаються за таблицею 1 [5] для періоду із середньою добовою температурою зовнішнього повітря не більше 8 °С для типу будівлі – житлові.

Тоді:

$$ГДОП = (23 - (-7.9)) * 223 = 7336.7 °С * діб. \quad (2.3)$$

За формулою 2.1 відповідно до таблиці 3 [5] визначимо базове значення необхідного опору теплопередачі $R_0^{ТР}$ (м$^2$ * °С /Вт):

$$R_0^{ТР} = 0.00045 * 7336.7 + 1.9 = 5.2 \text{ м}^2°С/Вт.$$

Оскільки місто Запоріжжя відноситься до сухої зони вологості, при цьому вологий режим приміщення - нормальний, то відповідно до таблиці 2 [5] теплотехнічні характеристики матеріалів огороджувальних конструкцій будуть прийняті як для умов експлуатації А.

Схема огороджувальної конструкції представлена на рисунку 2.10.

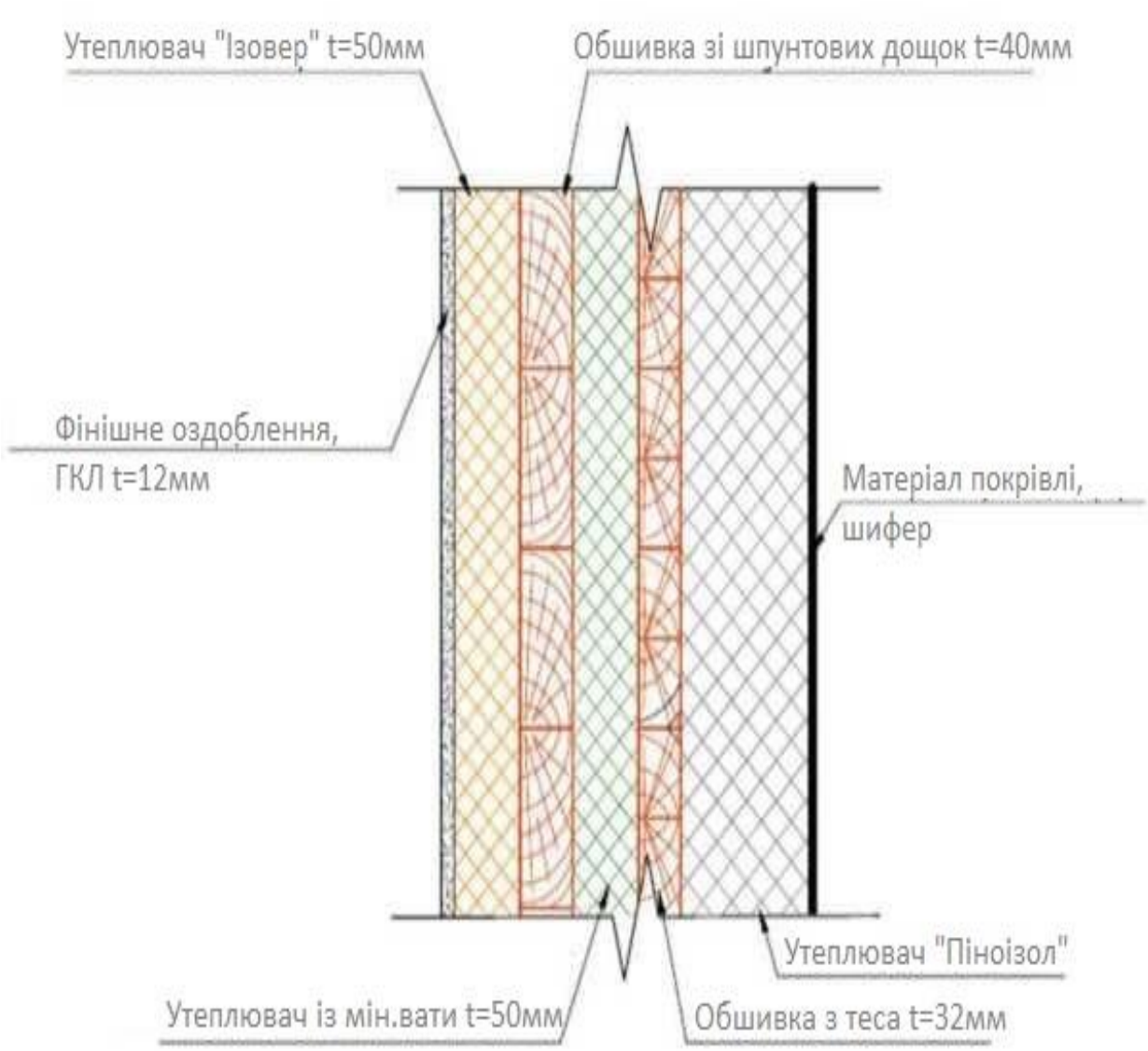



Рисунок 2.10 - Склад багатошарової конструкції

Елементи конструкції огорожі розташовані в порядку їхнього прямування від зовнішньої грані до внутрішньої, де:

1. Листи хвилясті азбестоцементні δ1=0.01 м, р=1800 кг/м.куб, коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{A1}$=0.47 Вт/(м°С), паропроникність $\mu_1$=0.03мг/(м*год*Па);

2. Теплоізоляція «Піноізол». Даний матеріал не враховується при розрахунку, оскільки має тріщини усадки з шириною розкриття до 20 мм.

3. Підшивний шар із дощок $\delta_2$=0.032 м, коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{A2}$=0.14 Вт/(м°С), паропроникність $\mu_2$=0.06 мг/(м*год*Па);

4. Мати мінераловатні, б.у. р=75 кг/м.куб, $\delta_3$=0.05м, коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{A3}$=0.058Вт/(м°С), паропроникність $\mu_3$=0.53мг/(м*год*Па);

5. Підшивний шар із шпунтових дощок $\delta_4$=0.04м, коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{A4}$=0.14 Вт/(м°С), паропроникність $\mu_4$=0.06 мг/(м*год*Па);

6. Утеплювач ISOVER Стандарт $\delta_5$=0.05 м, коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{A5}$=0.038 Вт/(м°С), паропроникність $\mu_5$=0.3 мг/(м*год*Па);

7. Фінішне оздоблення стіни гіпсоволокнистим листом $\delta_6$=0.012 м, р=800 кг/м.куб, товщина коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{A6}$=0.19 Вт/(м°С), паропроникність $\mu_6$=0.075 мг/(м*год*Па).

Умовний опір теплопередачі $R_0^{ум}$, м$^2$°С/Вт. визначимо за формулою 2.4:

$$R_0^{ум} = \frac{1}{\alpha_{int} + {\delta_n}/{\lambda_n} + {1}/{\alpha_{ext}}} \quad (2.4)$$

де $\alpha_{int}$ = 8.7 Вт/(м$^2$°С) - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огороджувальних конструкцій, Вт/(м$^2$°С).

$\alpha_{ext}$ = 12 Вт/(м$^2$°С) - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огороджувальної конструкцій для умов холодного періоду.

$$R_0^{ум} = \frac{1}{8.7 + \frac{0.01}{0.47} + \frac{0.032}{0.14} + \frac{0.05}{0.058} + \frac{0.04}{0.14} + \frac{0.05}{0.38} + \frac{0.12}{0.19} + \frac{1}{12}} = 2.97 \text{ м}^2\text{°С/Вт.}$$

Наведений опір теплопередачі RnP (м$^2$°С/Вт.) визначимо за формулою 2.5:

$$R_0^{но} = R_0^{ум} * r \quad (2.5)$$

де r = 0.97 - коефіцієнт теплотехнічної однорідності огороджувальної конструкції, що враховує вплив стиків, укосів отворів, ребер, що обрамляють, гнучких зв'язків та інших теплопровідних включень, тоді

$$R_0^{но} = 2,97 * 0,97 = 2,88 \text{ м}^{2o}\text{С/Вт.}$$

Порівнявши отримане значення за формулою 2.1, з результатом за формулою 2.5 $R_0^{но} = 2.88 < R_0^{ТР} = 5.2$ м$^{2o}$С/Вт., можна зробити висновок, що представлена конструкція, що захищає, не відповідає вимогам по теплопередачі.

Як уже зазначалося, на мансардному поверсі тиск водяної пари на покрівельну конструкцію досягає максимальних значень. Це зумовлено тим, що до тиску пари додається також тиск теплого повітря, яке в опалюваному приміщенні піднімається до верхньої точки — огороджувальної конструкції покрівлі [22]. У зв'язку з цим необхідно провести розрахунок паропроникності шарів огороджувальної конструкції.

Особливу увагу слід приділити дотриманню принципу поступового збільшення паропроникності матеріалів у напрямку зовнішньої поверхні. Якщо шар із нижчою паропроникністю розташований ближче до внутрішньої частини, він буде накопичувати вологу, не встигаючи її випаровувати. Це призводить до значного зниження теплоізоляційних властивостей утеплювача, оскільки вологий теплоізоляційний матеріал втрачає свої властивості в геометричній прогресії. У випадку з утепленою покрівлею така ситуація є вкрай небажаною.

Розрахунок паропроникності огороджувальної конструкції покрівлі здійснено відповідно до чинних норм [4]. Для визначення площини можливої конденсації визначимо для кожного шару значення комплексу $f_i(t_{м.у.})$, за формулою 2.6 [4].

$$f_i(t_{м.у.}) = 5330 * \frac{R_{з.о.} * (t_в - t_{з.пов.})}{R_0^{ум} * (e_в - e_{з.пов.})} * \frac{\mu_i}{\lambda_i} \qquad (2.6)$$

де $R_{з.о.}$ - загальний опір паропроникності огороджувальної конструкції м$^2$годПа/мг, що визначається згідно [4];

$$R_{з.о.} = \frac{0.01}{0.03} + \frac{0.032}{0.06} + \frac{0.05}{0.53} + \frac{0.04}{0.06} + \frac{0.05}{0.3} + \frac{0.12}{0.075} = 1.95 \text{ м}^2\text{*год*Па/мг.}$$

де $R_0^{ум}$ = 2.97 м$^{2*o}$С/Вт. - умовний опір теплопередачі однорідної багатошарової огороджувальної конструкції, що визначається за формулами [4];

$t_{з.пов.}$ = -16$^{o}$С - середня температура зовнішнього повітря для періоду з негативними середньомісячними температурами згідно таблиці 1 [4];

$t_B$ = 23°С - розрахункова температура внутрішнього повітря будівлі;

$e_в$ - парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря, Па, визначається за формулою 2.7:

$$e_в = (\varphi_в/100)E \quad (2.7)$$

де, Е - парціальний тиск насиченої водяної пари, Па, при температурі $t_в$ = 23°С, приймається за [4], звідси

$$E = 1.84 * 1011\exp(-\frac{5330}{273+25}) = 3141 \text{ Па.}$$

$$e_в = (\frac{50}{100}) * 3141 = 1571 \text{ Па.}$$

$e_{з.пов.}$ - середній парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря періоду місяців з негативними середньомісячними температурами, Па.

$$e_{з.пов.} = 1{,}84 * 10^{11}\exp(-5330/(273 + (-16)) = 181 \text{ Па,}$$

для температури $t_{з.пов.}$ = -16$^{o}$С згідно [4];

$\mu_i, \lambda_i$ - розрахункові коефіцієнти теплопровідності, Вт/(м°С), та паропроникності, мг/(м*год*Па), матеріалу відповідного шару.

Для кожного значення $f_i(t_{м.у.})$ необхідно визначити $t_{м.у.}$ і температуру на межі шарів $t_н$ та $t_к$ визначену за [4].

Для зручності значення кожного шару зведено таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики шарів огороджувальної конструкції.

| № шару | Найменування матеріалу | $fi_{(тм.у.)}$ | $t_{м.у.}$ | $t_н$ | $t_к$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Листи азбестоцементні плоскі (р=1800кг/м$^3$) | 6.6 | 2.9 | - 14.8 | - 14.6 |
| 2 | Сосна та ялина поперек волокон (Настил із теса) | 44.2 | 16.7 | - 14.6 | - 11.4 |
| 3 | Мати мінераловатні (р=75 кг/м$^3$) | 943.2 | - 29.3 | - 11.4 | 0.5 |
| 4 | Сосна та ялина поперек волокон (Настил зі шпунтових дощок) | 44.2 | 16.7 | 0.5 | 4.4 |
| 5 | ISOVER Стандарт | 814.9 | - 26.9 | 4.4 | 22.6 |
| 6 | Листи гіпсові обшивочні (р=800 кг/м$^3$) | 40.7 | 17.8 | 22.6 | 23.5 |

Відповідно до [4], площина максимального зволоження знаходиться між шарами №2 та №3 тобто на поверхні шару «Мати мінераловатні» (р=75 кг/м.куб).

Визначимо паропроникність $R_п$,м$^2$* год * Па/мг., що захищає конструкції (в межах від внутрішньої поверхні до площини можливої конденсації):

$$R_п = \frac{0,12}{0,075} + \frac{0,05}{0,3} + \frac{0,04}{0,06} + \frac{0,05}{0,53} = 1,09 \text{ м}^2\text{* год * Па/мг.}$$

Опір паропроникненню $R_п$м$^2$*год*Па/мг., має бути не меншим за нормовані опори паропроникнення, що визначаються за формулами 2.8 і 2.9, відповідно до норм [4].

$$R_{n1}^{тр} = (e_в - E) * R_{п.н.}/(E - e_н) \quad (2.8)$$

$$R_{n2}^{тр} = 0,0024 * z_о * (e_в - E_о)/(p_w\delta_w\Delta W_{av} + \eta) \quad (2.9)$$

де $e_в$ - парціальний тиск водяної пари внутрішнього повітря, Па, при розрахунковій температурі та відносній вологості цього повітря, що визначається за формулою 2.7.

E - парціальний тиск водяної пари, Па, у площині можливої конденсації за річний період експлуатації, що визначається за формулою 2.10.

$$E = (E_1z_1 + E_2z_2 + E_3z_3) /12 \quad (2.10)$$

де $E_1$, $E_2$, $E_3$ - парціальний тиск водяної пари, Па, прийняті за температурою $t_i$, в площині можливої конденсації, що визначається при середній температурі зовнішнього повітря відповідно зимового, весняно-осіннього та літнього періодів;

$z_1$, $z_2$, $z_3$, - тривалість, місяців, відповідно зимового, весняно-осіннього та літнього періодів, що визначається з урахуванням наступних умов, де :

а) до зимового періоду відносяться місяці із середніми температурами зовнішнього повітря нижче мінус 5°С;

б) до весняно-осіннього періоду відносяться місяці із середніми температурами зовнішнього повітря від мінус 5 до плюс 5°С;

в) до літнього періоду відносяться місяці із середніми температурами зовнішнього повітря вище плюс 5 °С.

Для визначення $t_i$ визначимо ∑R - термічний опір шару огородження в межах від внутрішньої поверхні до площини можливої конденсації:

$$\sum R = \frac{0,05}{0,058} + \frac{0,04}{0,14} + \frac{0,05}{0,038} + \frac{0,012}{0,19} + \frac{1}{8,7} = 2,64 \text{ м}^2*\text{°С/Вт}$$

Встановимо для періодів їх тривалість zi, доби, середню температуру $t_i$, °С відповідно до [4] та розрахуємо відповідну температуру у площині можливої конденсації $t_i$, °С, за формулою [4], для кліматичних умов населеного пункту міста Запоріжжя.

Зима (січень, лютий, березень, листопад, грудень):

$$z_1 = 5 \text{ місяців;}$$

$$t_1 = \frac{[(-25.5) + (-18.5) + (-8.5) + (-9.5) + (-17.9)]}{5} = -16\ ^\circ C$$

$$t_1 = 25 - (25 - (-16)) * \frac{2.64}{2.97} = -11.4\ ^\circ C$$

Весна-осінь (квітень, жовтень):

$$z_2 = 2 \text{ місяці;}$$

$$t_2 = \frac{[(2.9) + (1.6)]}{2} = 2.3\ ^\circ C$$

$$t_2 = 25 - (25 - (2,3)) * \frac{2.64}{2.97} = 4,4\ ^\circ C$$

Літо (травень, червень, липень, серпень, вересень):

$$z_3 = 5 \text{ місяців;}$$

$$t_3 = \frac{[(10.5) + (17.3) + (19.5) + (16.4) + (9.9)]}{5} = 14.7\ ^\circ C$$

$$t_3 = 25 - (25 - (14.7)) * \frac{2.64}{2.97} = 15.8\ ^\circ C$$

За температурами ($t_1$, $t_2$, $t_3$) для відповідних періодів року визначимо за формулою 2.10 парціальний тиск ($E_1$, $E_2$, E3) водяної пари:

$$E_1 = 260,8 \text{ Па.}$$

$$E_2 = 855.5 \text{ Па.}$$

$$E_3 = 1776.6 \text{ Па.}$$

Визначимо парціальний тиск водяної пари Е, Па, у площині можливої конденсації за річний період експлуатації огороджувальної конструкції для відповідних тривалостей періодів $z_1$, $z_2$, $z_3$:

$$E = \frac{260.8*5+855.5*2+1776.7*5}{12} = 991.5 \text{ Па.}$$

Опір паропроникненню $R_{п.н.}$ м$^2$*год*Па/мг. частини огороджувальної конструкції, розташованої між зовнішньою поверхнею і площиною можливої конденсації [4]:

$$R_{п.н.} = \frac{0,01}{0,03} + \frac{0,032}{0,6} 0.87 \text{ м}^2 \text{ *год* Па/мг}$$

Середній парціальний тиск водяної пари зовнішнього повітря $e_н$, Па, за річний період визначається [5], звідси:

$$e_н = \frac{120+140+260+430+670+1170+1500+1320+880+490+250+160}{12} = 616 \text{ Па.}$$

За формулою 2.8 визначимо опір паропроникнення, що нормується, з умови неприпустимості накопичення вологи за річний період експлуатації:

$$R_{n1}^{тр} = (1571 - 991.5) * \frac{0,87}{991,5-616} = 1.34 \text{ м}^2 \text{ *год*Па/мг.}$$

Для розрахунку нормованого опору паропроникненню $R_{n2}^{тр}$ з умови обмеження вологи за період із негативними середніми місячними температурами зовнішнього повітря беремо визначену за таблицею 5.1 [5] тривалість цього періоду $z_0$ = 151 діб, середню температуру цього періоду $t_{з.нег}$ = -16℃

Температуру $t_0$,°С у площині можливої конденсації для цього періоду визначаємо за [4]:

$$t_0 = 25 - (25 - (-16)) * 2.64)/2.97 = -11.4°C$$

Парціальний тиск водяної пари $E_0$, у площині можливої конденсації при $t_0 = -11.4°C$ , визначають відповідно до формули пункту 8.8 [4], звідси:

$$E_0 = 1.84 * 10^{11}\exp * (-\frac{5330}{273+(-11.4)}) = 260.8 \text{ Па.}$$

Гранично допустиме збільшення розрахункового масового відношення вологи в матеріалах «Мати мінераловатні щільністю р=75 кг/м$^3$ та «Сосна та ялина поперек волокон» (шар шпунтових дощок в огорожі), згідно з таблицею 10 [4], мають показники рівні $\Delta w_1$ =3% і $\Delta w_2$ = 7.5% відповідно.

За розрахунком, середня пружність водяної пари зовнішнього повітря періоду місяців з негативними середніми місячними температурами дорівнює $e_{з.нег}$ = 186 Па.

Коефіцієнт п визначається за формулою 2.11 відповідно до пункту 8.5 [4].

$$\eta = 0{,}0024 * \frac{(E_0 - e_{з.нег}) * z_0}{R_{п.н.}} \qquad (2.11)$$

Звідси:

$$\eta = 0{,}0024 * (260.8 - 186) * \frac{151}{0.87} = 31.2$$

За формулою 2.9 визначимо $R_{n2}^{тр}$ :

$$R_{n2}^{тр} = 0.0024 * 151(1571 — 260.8)/(75 * (\frac{0.05}{2} * 3 + \frac{0.032}{2} * 7.5) + 31.2 =$$

$$= 10.36 \text{ м}^2 * \text{год} * \text{Па/мг}.$$

Таким чином, необхідна умова паропроникності не виконуються:

$R_п = 1.09 < R_{n1}^{тр} = 1.34$, $R_п = 1.09 < R_{n2}^{тр} = 10.36$.

Згідно з отриманими результатами, можна зробити висновок, що дана захисна конструкція не повністю відповідає вимогам [2, 4]. Це може призвести до випадання конденсату на межі шарів №2 і №3, що в свою чергу спричинить надмірне намокання утеплювача. Проте під час обстеження стану утеплювача цей факт не був виявлений, ймовірно, через те, що роботи проводилися в літній період, коли теплоізоляційний матеріал встиг висохнути.

Наявність вологи в теплоізоляційному шарі неприпустима, оскільки для збереження сухості утеплювача необхідно дотримуватись правильної технології при влаштуванні покрівельного пирога. Важливо розуміти, що перезволоження утеплювача, особливо на основі волокнистих матеріалів, не тільки збільшує тепловтрати, а й призводить до деградації матеріалу: вата, насичена вологою, може осідати, і її термін служби в такому стані значно скорочується.

Отже, для забезпечення належної теплоізоляції підпокрівельного простору та запобігання утворенню додаткових мостів холоду, волокнистий утеплювач має бути захищений з верхньої сторони гідровітрозахисною плівкою, а з нижньої — пароізоляцією.

## 2.3 Обчислення об'єму інфільтруючого повітря, що проникає через щілини та порожнечі в огороджувальній конструкції покрівлі

Обстеження стану утеплювача покрівлі мансардного поверху виявило наявність факторів, що сприяють руху інфільтруючого повітря через один із теплоізоляційних шарів. Отже, необхідно провести розрахунок обсягу зовнішнього повітря, що проникає в приміщення, щоб визначити його фактичний вплив на тепловтрати будівлі.

Розрахунок витрат зовнішнього повітря, що надходить у приміщення через інфільтрацію в заданих умовах, залежить від ряду факторів, зокрема, від об'ємно-планувальних рішень будівлі, щільності вікон, дверей тощо. Задача розрахунку тепловтрат через інфільтрацію зводиться до визначення кількості

повітря, що проникає через окремі огородження кожного приміщення. Однак відповідно до сучасних норм проектування, інфільтрація через стіни та покрівлю зазвичай вважається незначною, тому її часто ігнорують [43]. Однак проведене дослідження стану покрівлі мансардного поверху виявило, що через щілини в багатошарових конструкціях інфільтрація холодного повітря може бути значною.

Метою цього розрахунку є визначення витрати інфільтруючого повітря (кг/год) через щілини та порожнечі багатошарової конструкції покрівлі мансардного поверху на одиницю площі цієї конструкції.

Відповідно до [4], $\sum G_i$ - витрата інфільтруючого повітря, кг/год, що проникає через огороджувальні конструкції приміщення, визначається за формулою 2.12:

$$\sum G_i = 0.216 * \sum A_1 * \left(\frac{\Delta p_i^{0.67}}{R_{inf}}\right) + \sum A_2 * G_h * (\triangle p_i/\triangle p_1)^{0.67} + 3456 + \sum A_3 * \triangle p_i^{0.5} \quad (2.12)$$

де, $A_1 = 0$ м$^2$ -площа світлових отворів (вікон, балконних дверей, ліхтарів);

$A_2 = 1$ м$^2$ - площа стін (без площі світлових отворів);

$A_3 = 0.02$ м$^2$ - площа щілин і нещільностей у зовнішніх огороджувальних конструкціях;

$\Delta P_1$ - розрахункова різниця тисків на зовнішній та внутрішній поверхні огородження на рівні підлоги першого поверху, Па;

$\Delta P_i$ - те саме на розрахунковому поверсі, Па;

$R_{inf}$ - опір повітропроникненню зовнішніх огороджуючих конструкцій, м$^2$годПа/кг, визначається за формулою 2.13:

$$R_{inf} = \frac{1}{G_h} * \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_0}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.13)$$

$$R_{inf} = \frac{1}{0.5} * \left(\frac{29.23}{8.6}\right)^{\frac{2}{3}} = 4.71 \text{ (м}^2\text{*год* Па)/кг}$$

де $G_h$ = 0.5 кг/м$^2$год - нормована поперечна повітропроникність огороджувальних конструкцій, відповідно до таблиці 9 [4];

$\Delta P$- різниця тисків повітря на зовнішній і внутрішній поверхнях конструкцій, що захищають, Па. Визначається за формулою 2.14 відповідно до [4]:

$$\triangle p = 0.55H * (\gamma_{ext} - \gamma_{int}) + 0.03\gamma_{ext} * V^2 \quad (2.14)$$

$$\triangle p = 0.55*4.5*(14.99-11.58) + 0.03*14.99*6.8^2 = 29.23 \text{ Па.}$$

де $\gamma_{ext}$, $\gamma_{int}$ - питома вага відповідно зовнішнього та внутрішнього повітря, Н/м, визначаємо за формулою 2.15:

$$\gamma = 3463/(273 + t) \quad (2.15)$$

де, t - температура повітря,$^o$C: внутрішнього (для визначення $\gamma_{int}$) і зовнішнього повітря найбільш холодної доби, з забезпеченістю 0.98, рівна -42.0 $^o$C [5], (для визначення $\gamma_{ex}$ ). Звідси:

$$\gamma_{int} = \frac{3463}{273+26} = 11.58 \text{ Н/м}$$

$$\gamma_{ext} = \frac{3463}{273+(-42)} = = 14.99 \text{ Н/м}$$

Розрахункова різниця тисків $\Delta P_i$, Па визначається за формулою 2.16:

$$\triangle p_i = (H - h_i) * (\gamma_{ext} - \gamma_{int}) + 0\text{-}5 p_{ext} * V^2 (C_e - C_{e.з.} * K_1 - P_{int} \quad (2.16)$$

$$\triangle p_i = 1\text{-}5 * (14\text{-}99 - 11.58) + 0\text{-}5 * 1.15 * 6.8_2 * (0.8 - 0.6) 0.65 - 0 = 8.6 \text{Па}$$

де H=4.5 м - висота будівлі від рівня землі до верху карнизу;

$h_i$ = 6 м - розрахункова висота від рівня землі до верху вікон чи до середини стінових панелей; у разі це висота до середини покрівельної конструкції стіни будівлі.

$p_{ext}$ = 1.515 кг/м$^3$- густина зовнішнього повітря [4];

V= 6.8 м/с - швидкість вітру, що визначається для холодного періоду за параметрами Б [5];

$C_{e.}$ = 0.8 - аеродинамічний коефіцієнт для навітряної сторони будівлі [5];

$C_{e.з.}$ = -0.6 - аеродинамічний коефіцієнт для підвітряної сторони будівлі[5];

$K_1$ = 0.65 -коефіцієнт урахування зміни швидкісного тиску вітру залежно від висоти будівлі [5];

$P_{int}$ — умовно постійний тиск повітря в будівлі, даним параметром можна знехтувати і прийняти значення, що дорівнює нулю [4].

Таким чином, підставивши всі необхідні значення у формулу 2.12, отримаємо:

$$\sum G_i = 0 + \sum 1*6*(8.6^{0.67}/29.23)^{0.67} + 3456 \sum 0.02*8.6^{0.5} = 20.285 \text{ кг.год}$$

При цьому, відповідно до пункту 7 [4] опір повітропроникненню огороджувальних конструкцій $R_{inf.}$ має бути не менше нормованого опору повітропроникненню $R_u^{тр}$ (м$^2$*год*Па)/кг, що визначається за формулою 2.17:

$$R_u^{тр} = \Delta p / G_h \quad (2.17)$$

$$R_u^{\text{тр}} = 29.23/0.5 = 58.46 \text{ (м}^2\text{*год* Па)/кг.}$$

Таким чином, умова опору повітропроникненню огороджувальних конструкцій не виконується:

$R_u^{\text{тр}}$ = 58.46 (м$^2$*год*Па)/кг > $R_{inf}$ = 4.71 (м$^2$*год * Па)/кг., дана огороджувальна конструкція мансарди не відповідає нормативним вимогам пункту 7.1 [4].

Розрахунки інфільтрації повітря показали, що на 1 м² площі конструкції покрівлі мансардного поверху витрата інфільтруючого повітря через утворені щілини і порожнечі може досягати 20.285 кг/год. Хоча це значення є середнім показником, оскільки на рух повітря впливають різні фактори [43, 60, 26], а ширина щілин у конструкції варіюється, отриманий показник виявляється занадто високим. Це підтверджується також результатами обстеження стану покрівлі. На основі проведених розрахунків, фактичного стану огороджувальної конструкції покрівлі та даних тепловізійної зйомки можна зробити висновок, що ця конструкція має низьку ефективність і не відповідає вимогам теплової надійності [2].

## 2.4 Моніторинг тепловтрат мансардного поверху. Оцінка ефективності функціонування теплоізоляційного матеріалу

Зменшити тепловтрати на об'єктах нерухомості та підвищити ефективність енергоспоживання можна шляхом впровадження сучасних проектних рішень з теплоізоляції, дотримуючись встановлених технологічних вимог. Для досягнення необхідної енергоефективності будівлі на етапі проектування та будівництва необхідно впровадити систему теплотехнічних експертиз, що передбачає залучення фахівців для консультацій як на стадії проектування, так і під час експлуатації будівлі.

Для вже збудованих об'єктів нерухомості, які потребують підвищення енергоефективності та зниження теплових втрат, важливу роль можуть відігравати експертні рекомендації, отримані на основі моніторингу

тепловтрат конкретного об'єкта. На основі проведеного дослідження фахівець може надати точні поради, спрямовані на усунення конкретних проблем.

Однак покращення теплоізоляції будівлі в процесі реконструкції є набагато складнішим завданням, ніж під час початкового будівництва. Тому вже на етапі проектування варто особливо увагу приділяти характеристикам енергоефективності будівлі.

Таким чином, досвід фахівців з дефектології тепловтрат, ґрунтуючись на аналізі виявлених дефектів під час тепломоніторингу, стане основою для зменшення тепловтрат і покращення надійності теплового захисту як проектованих, так і реконструйованих будівель.

Одним із найбільш ефективних методів вирішення цієї проблеми є тепломоніторинг, що включає пошук мостів холоду та витоків тепла за допомогою тепловізора, а також програмування заходів щодо вдосконалення конструкцій у програмному комплексі Elcut. Для досягнення максимально точного результату важливо враховувати не лише теплові втрати через конструкції, але й інфільтрацію холодного повітря.

Після проведеного обстеження покрівлі мансардного поверху, як описано в пункті 2.1, було важливо оцінити ефективність утеплювача та визначити взаємозв'язок між погодними умовами та інтенсивністю тепловтрат на вивченій ділянці будівлі.

Експеримент з тепломоніторингу проводився на тому ж об'єкті, і включав чотири етапи роботи. Перший етап полягав у візуальному огляді вузла будівлі з метою виявлення дефектів, таких як тріщини чи щілини. Далі проводилось більш детальне інструментальне дослідження за допомогою тепловізора для виявлення прихованих дефектів. Тепловізор Flir B200, з чутливістю 0.08 °C і роздільною здатністю 200x150 пікселів, використовувався для тепловізійної зйомки як зсередини, так і ззовні приміщення при температурі зовнішнього повітря -27 °C. Температура всередині приміщення була стабільною, +22 °C, при вологості 55%. Моніторинг проводився протягом місяця.

Як і під час першого тепловізійного обстеження, найбільші витоки тепла були зафіксовані в місцях стиків зовнішніх стін, зокрема нижче розташування бруса-мауерлата, а також у конструкції «покрівельного пирога» мансардного поверху, як показано на рисунках 2.11 і 2.12.

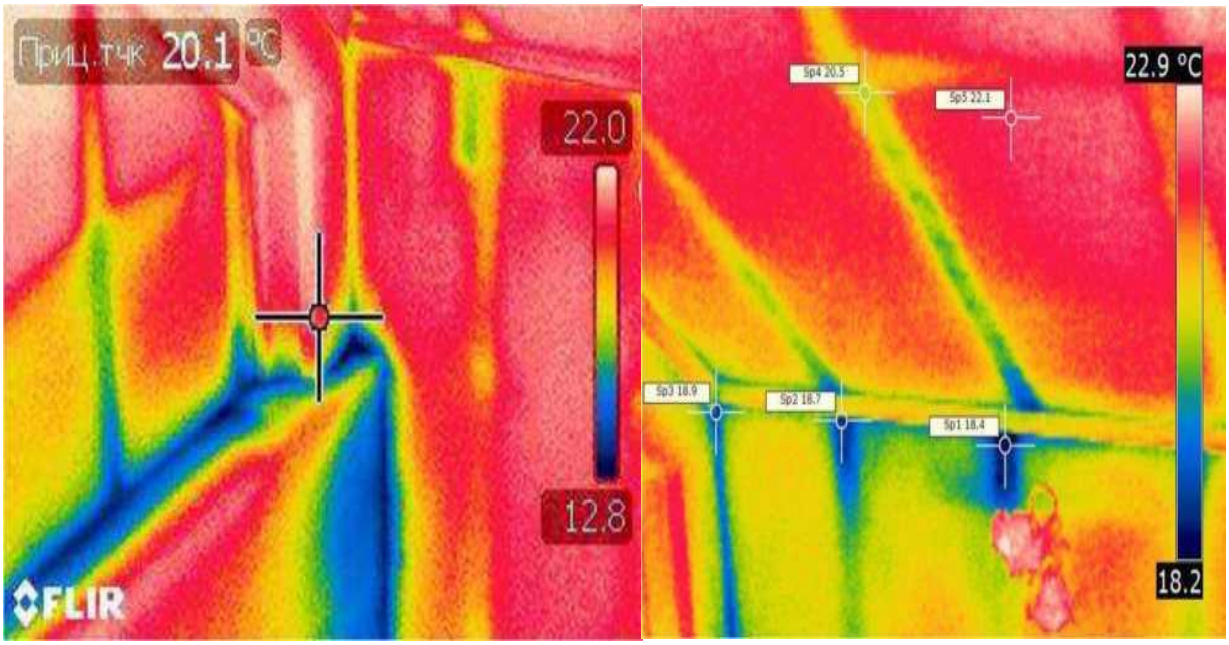



Рисунок 2.11 - Результати тепловізійної зйомки усередині приміщення.

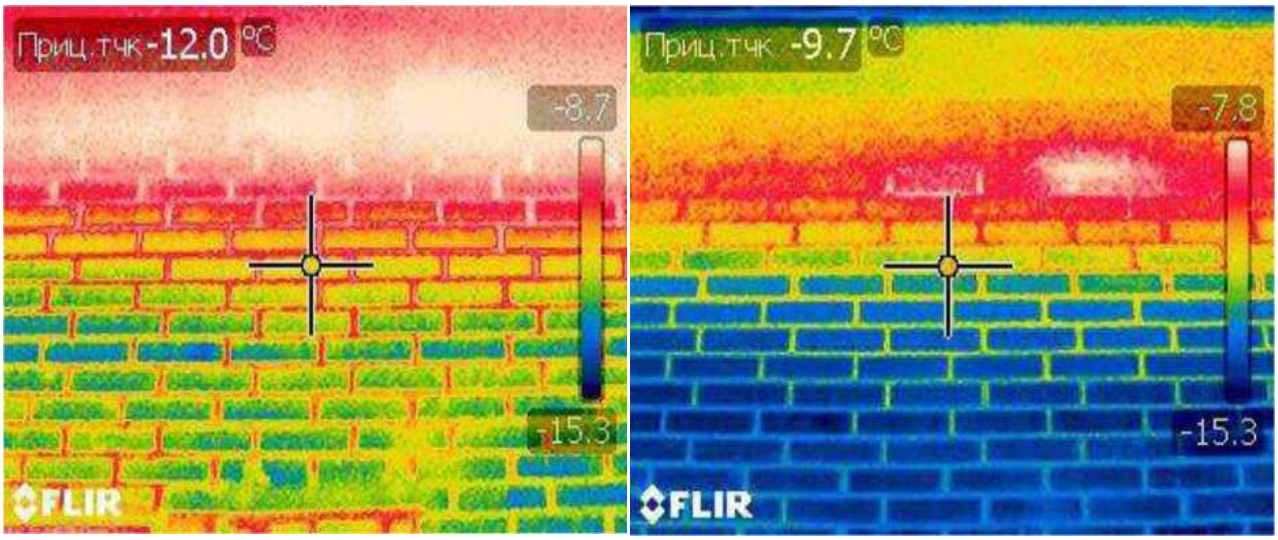



Рисунок 2.12 - Результат тепловізійної зйомки зовні приміщення

Другим етапом, на основі результатів тепловізійної зйомки, було прийнято рішення провести локальний розтин зовнішньої облицювальної верстви в зонах найбільших витоків тепла. Це розкриття було необхідне для визначення стану утеплювача та оцінки його ефективності за допомогою тепловізійного обстеження.

Після розтину облицювальної верстви були виявлені серйозні дефекти в основній конструкції цегляної стіни, зокрема відсутність розчину в деяких місцях кладки (рисунок 2.13), а також неоднорідність і низька якість утеплювача, що включає його малу товщину (рисунок 2.14).



Рисунок 2.13 – Дефекти у кладці у вигляді неоднорідності розчину та щілин.



Рисунок 2.14 - Неоднорідність та низька якість теплоізолюючого шару огороджувальної конструкції.

Після робіт з оголення теплоізолюючого шару, проводилася повторна тепловізійна зйомка, для фіксування змін теплопередачі, рисунока 2.15. Тепловізійна зйомка проводилася при температурі повітря $t_з$ = -13°С, ±3°С.

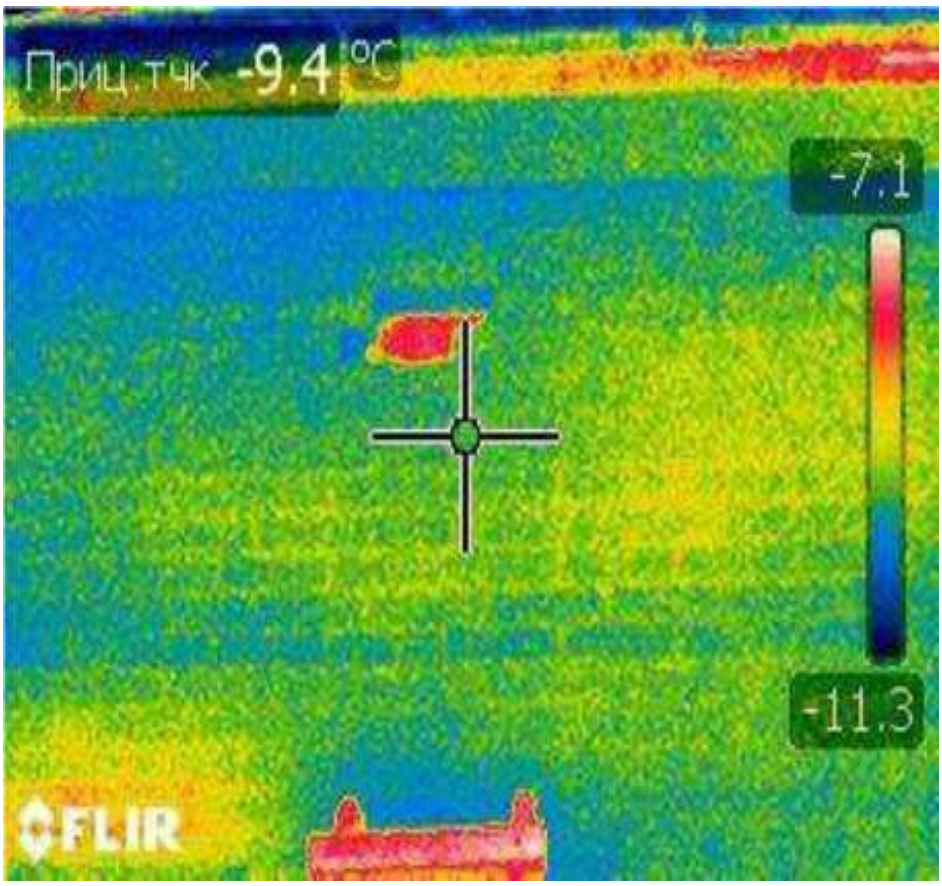



Рисунок 2.15 - Термограма ділянки після відкриття кладки

Як показано на рисунку 2.15, у місці розтину спостерігаються значні перепади температур, що свідчить про те, що тепле повітря з приміщення прагне виходити через дефекти в основній цегляній кладці. Різниця температур між холодною поверхнею кладки та відкритою порожниною склала 4.2°C. Після зняття показань теплоізоляційний шар з мінераловатного утеплювача був видалений, що призвело до повного оголення цегляної кладки основної стіни.

Третій етап полягає у проведенні тепловізійного моніторингу цієї ділянки: фіксувалися показники тепловізора до та після утеплення за різних погодних умов. За температури зовнішнього повітря tз = -22°C, ±3°C, при відсутності вітру показники тепловізора були наступними, як показано на рисунках 2.16 та 2.17. Різниця температур між поверхнею кладки облицювальної версти та відкритою порожниною склала 7.4°C. Показники

температури на холодній поверхні кута всередині приміщення виявилися на 2.5°С меншими, ніж на початковому етапі (рисунок 2.11).

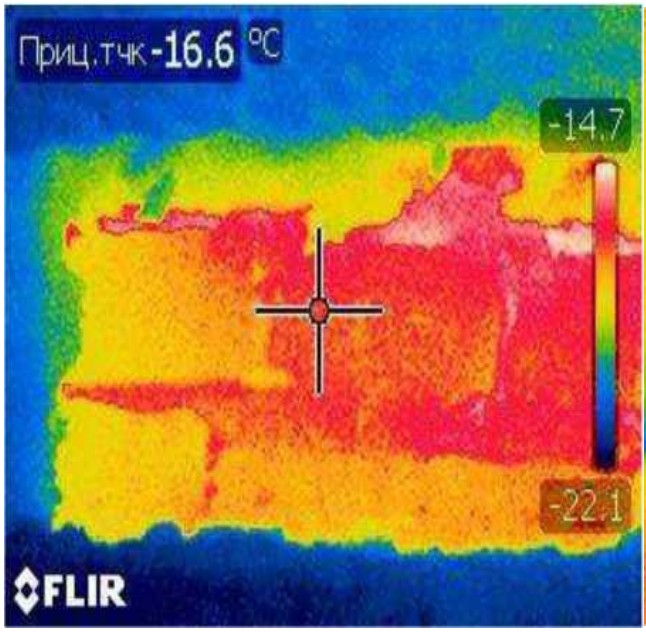



Рисунок 2.16 – Термограма відкритої порожнини кладки без утеплювача.

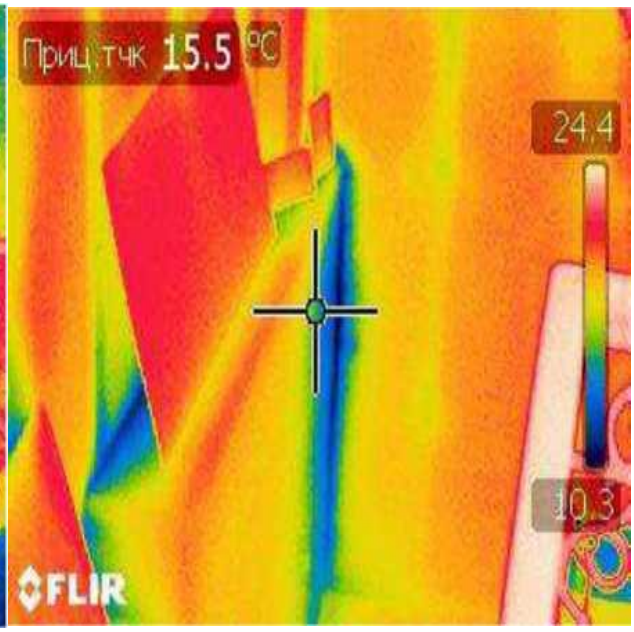



Рисунок 2.17 – Термограма вузла всередині приміщення.

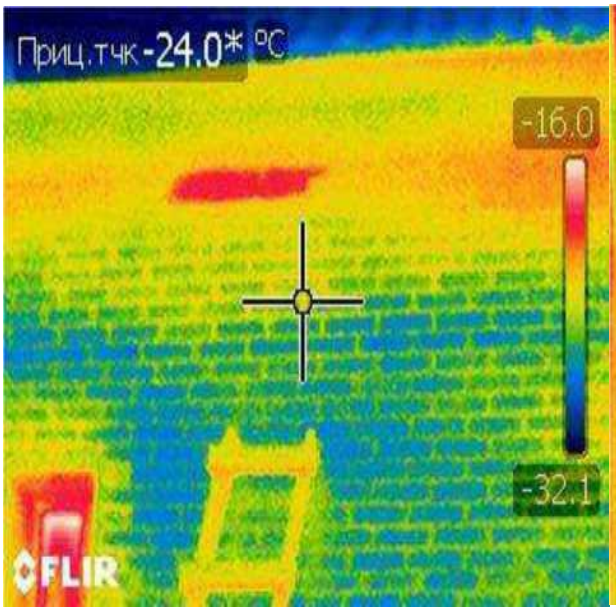



Рисунок 2.18 - Термограма зовнішньої поверхні при $t_з$ = -30°С.

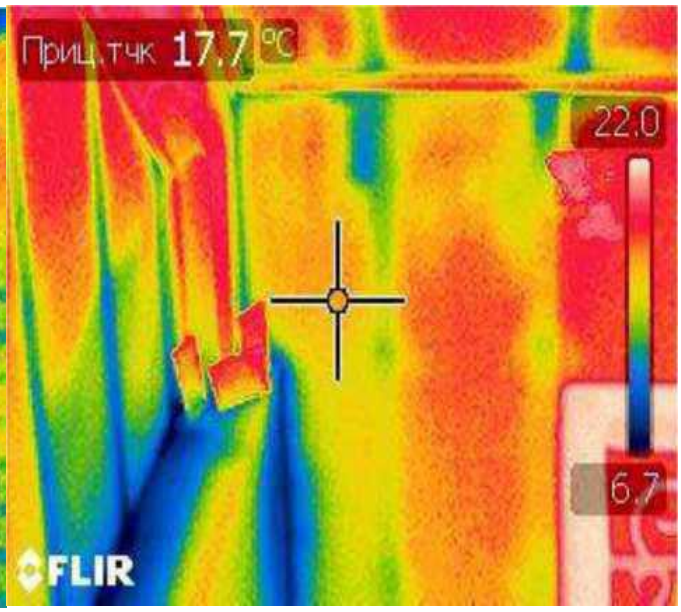



Рисунок 2.19 - Термограма внутрішньої поверхні вузла при $t_з$ = -30°С.

При температурі зовнішнього повітря tз = -30°С, ±3°С, тепловізійна зйомка виявила значні тепловтрати на досліджуваній ділянці. Різниця температур між оголеною кладкою стіни та основною поверхнею склала +16.1°С, а температура внутрішньої поверхні кута показала різницю 6.1°С порівняно з початковим показником. Результати тепловізійної зйомки відображено на рисунках 2.18 та 2.19.

Після незначного підвищення зовнішньої температури до tз = -25°С, ±3°С, показання тепловізора майже не змінилися в порівнянні з показниками при температурі tз = -30°С, ±3°С. Таким чином, втрати тепла через розкриту порожнину і загальні тепловтрати мансардного поверху призвели до практично рівної температури по всій поверхні стін мансардного поверху. Результати тепловізійної зйомки за температури tз = -25°С, ±3°С, представлені на рисунках 2.20 та 2.21.

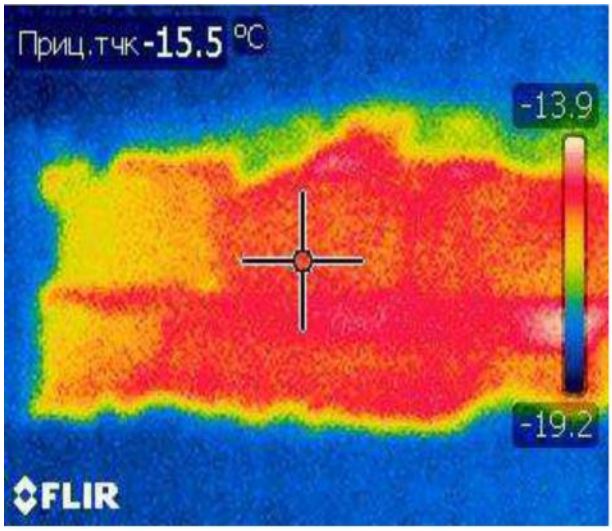
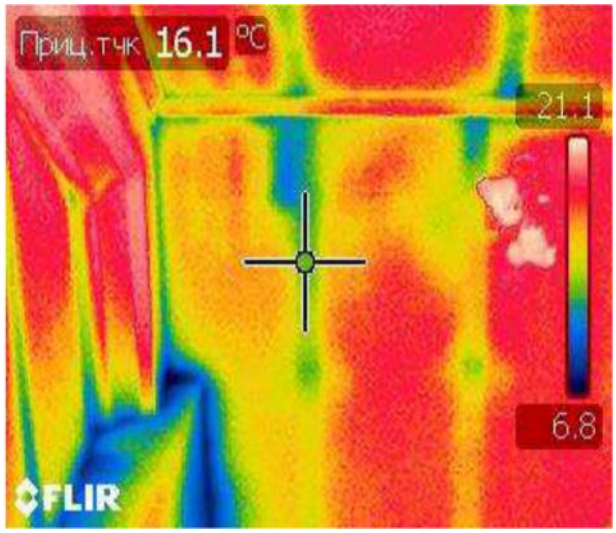



Рисунок 2.20 - Термограма розкритої порожнини при $t_з$= -25°С.




Рисинок 2.21 - Термограма внутрішньої поверхні вузла при $t_з$= -25°С.

Після того як відкрита порожнина була утеплена новим мінераловатним теплоізолюючим матеріалом на основі кварцу «Isover», була проведена повторна тепловізійна зйомка для фіксації можливих змін. Зняття показань тепловізора здійснювалося при зовнішній температурі tз = -22°С, ±3°С та відносній вологості повітря близько 63%. Після відновлення

теплоізоляційного шару показники тепловізора залишилися на попередньому рівні. Зокрема, різниця температур між поверхнею кладки та утепленою порожниною склала 5°С, а температура поверхні кута мансарди показала різницю 1.7°С порівняно з початковими результатами. Термограми поверхонь вузла мансарди після утеплення наведені на рисунках 2.22 і 2.23.

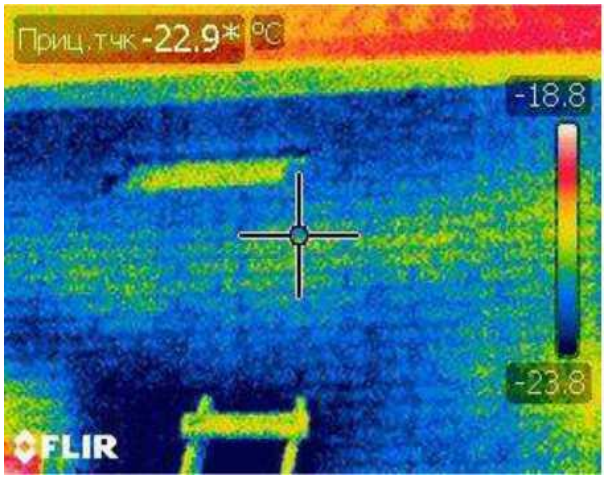



Рисунок 2.22 - Термограма зовнішньої поверхні після утеплення при $t_з$=-22°С

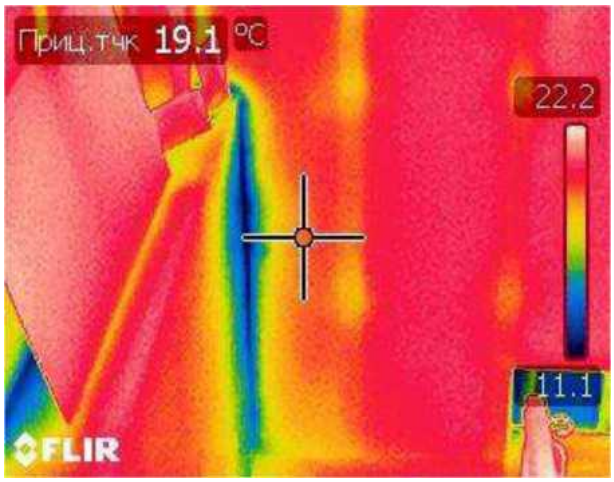



Рисунок 2.23 - Термограма внутрішньої поверхні при $t_з$= -22 ° С після утеплення.

Після зняття показань при різних температурах зовнішнього повітря, стало необхідно визначити, як зміняться показники тепловтрат за вітряної погоди. Як відомо, під час вітру тепловтрати майже завжди збільшуються, оскільки вітер вивітрює тепло з приміщення через щілини та нещільності в конструкціях. Це підтверджують пилові відкладення в товщі утеплювача, виявлені під час обстеження покрівельного пирога мансардного поверху (рисунок 2.5). Також під час вітру процес інфільтрації змінюється на зворотній — ексфільтрацію, що створює так званий економайзерний ефект, коли різниця тиску зовнішнього повітря, що перевищує внутрішній, сприяє виведенню тепла з приміщення. У цьому процесі втрата тепла буде посилюватися з навітряного боку будівлі, а виявлені щілини та порожнечі в основній кладці

несучої стіни (рисунок 2.13) можуть посилювати проникнення повітря через захисну конструкцію.

Тому для виявлення факторів та характеру тепловтрат було важливо провести зйомку тепловізором у вітряну погоду. Тепловізійна зйомка проводилася при температурі зовнішнього повітря tз.≈-12÷14 °С і швидкості вітру 16-18 м/с. Результати тепловізійної зйомки представлені на рисунках 2.24 і 2.25.

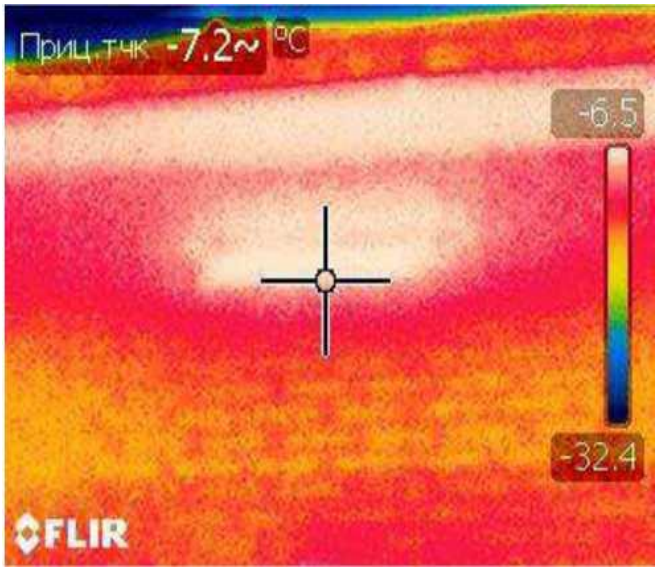



Рисунок 2.24 – Термограма зовнішньої поверхні вузла під час вітру

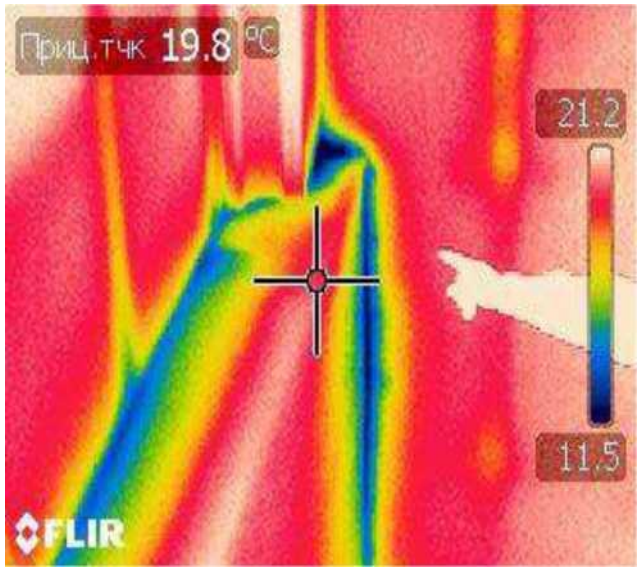



Рисунок 2.25 - Термограма внутрішньої поверхні вузла під час вітру

Як показує рисунок 2.24, навіть товстий шар утеплювача, покладений у розкриту порожнину, не здатний утримати значні втрати тепла під час вітру. Вітровий потік тепла розповсюджується майже по всій поверхні захисної конструкції, що свідчить про низьку якість утеплення та недостатню товщину шару утеплювача на всій площі стіни.

Заключним етапом цього експерименту є аналіз отриманих результатів.

Проведений експеримент виявив ряд конструктивних недоліків мансардного поверху з точки зору енергоефективності та теплозбереження.

Тепловізійне обстеження, що включало пошарове розкриття теплоізоляції, показало, що збільшення кількості шарів утеплювача не покращує якість теплозахисту будівлі.

Отже, результати дослідження дозволяють сформулювати нові припущення щодо природи теплового та вологоємного перенесення в багатошарових конструкціях, а також про можливість конденсації холодного повітря на теплій поверхні утеплювача. Виявлені дефекти можуть бути використані для класифікації та ранжування проблем мансардного поверху, а також для розробки заходів щодо їх усунення з метою зниження тепловтрат в будівлях.

## 2.5 Висновки щодо розділу 2

1. Було проведено обстеження теплої покрівлі мансардного поверху, яке виявило суттєві дефекти конструкції та технології її влаштування, що негативно впливають на забезпечення належної теплоізоляції приміщення.
2. Виконано теплотехнічний розрахунок конструкції, який показав, що покрівельний пиріг об'єкта не відповідає нормативним вимогам щодо теплопередачі в умовах поточного клімату [2, 4, 5]. Крім того, розрахунок паропроникності виявив можливість утворення точки роси в товщі мінераловатного утеплювача, що неприпустимо для цього матеріалу.
3. Було здійснено розрахунок інфільтрації повітря через захисну конструкцію, що показав, що через щілини та неповні з'єднання проходить значна кількість холодного повітря, що потребує додаткових енерговитрат для його нагрівання. Водночас не дотримується умова опору повітропроникненню, що відповідно до [4] свідчить про низьку якість цієї огороджувальної конструкції.
4. Експериментальним методом була оцінена ефективність роботи утеплювача в крайовій зоні мансардного поверху. Отримано характер

тепловтрат, що залежить від якості укладання та товщини теплоізоляційного шару конструкції при різних погодних умовах.

5. Для подальших досліджень багатошарової конструкції покрівельного пирога необхідно провести розтин покрівельного покриття (шифер) для огляду стану теплоізоляції «Піноізол» та внутрішньої поверхні шиферу.

# РОЗДІЛ 3
# КЛАСИФІКАЦІЯ КОНСТРУКТИВНИХ І ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ДЕФЕКТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТИПОЛОГІЇ НЕДОЛІКІВ У ВУЗЛАХ МАНСАРДНИХ ПОВЕРХІВ

Мансардний поверх включає різноманітні архітектурні вузли, проектування яких потребує оптимального поєднання конструктивної та теплотехнічної надійності. Для створення типології дефектів, окрім виявлення мостів холоду та їх відображення на кресленнях з демонстрацією температурних потоків, важливо змоделювати тепловий контур різних вузлів конструкції в програмному комплексі ELCUT. Це дозволить виявити та передбачити промерзання і рух температурних полів при низьких зовнішніх температурах, згідно з нормативами [5].

Моделювання є одним з найбільш ефективних і доступних методів прогнозування поведінки конструкцій на етапі проектування. Перевагою цього підходу є можливість узагальнення результатів, які можна поширити не лише на конкретну модель, а й на цілу групу подібних конструкцій, що можуть бути реалізовані в різних масштабах.

Такий метод може бути використаний для вибору оптимальних проектних рішень на стадії розробки споруд, що дозволяє своєчасно вносити корективи та забезпечити найкращий варіант для замовника.

## 3.1 Сфера використання, функціональні можливості та формулювання задачі в програмному комплексі ELCUT

ELCUT – це програмне забезпечення для моделювання двовимірних і тривимірних полів за допомогою методу кінцевих елементів. Основою цього комплексу є дві ключові концепції: розбиття досліджуваного об'єкта на кінцеву кількість елементів і шматково-елементна апроксимація функцій, що аналізуються [30, 53].

Програма дозволяє виконувати розрахунки полів електричної, магнітної та температурної природи, аналізувати механічні напруження і деформації, а також вирішувати задачі, що описуються рівняннями Лапласа, Пуассона та дифузії. Це можливе для плоскопаралельних і осесиметричних розрахункових областей довільної форми.

Для аналізу вузлів і розробки оптимальних рішень щодо покращення теплотехнічних характеристик огороджувальних конструкцій мансарди використовується модуль для розрахунку стаціонарної та нестаціонарної теплопередачі.

Можливості модуля «Теплопередача»:

- Облік нелінійних і анізотропних властивостей матеріалів.
- Використання розподілених, лінійних і точкових джерел тепла.
- Застосування джерел тепла, залежних від температури.
- Врахування джерел тепла, що виникають через електричні втрати.
- Завдання температурних умов і теплових потоків на межах.
- Граничні умови з урахуванням тепловідведення за допомогою конвекції чи випромінювання.
- Аналіз результатів: розподіл температур, теплові потоки, градієнт температур, сумарні теплові втрати в обраних областях тощо.

Етапи створення геометричної моделі та розрахунку:

1. Побудова геометричних об'єктів або імпорт з CAD-систем.
2. Задання фізичних властивостей, джерел тепла та граничних умов.
3. Створення сітки кінцевих елементів.
4. Розрахунок задачі.
5. Аналіз результатів.

Геометрична модель визначається набором підобластей, які є криволінійними багатокутниками (одно- чи багатозв'язними) і не перетинаються між собою. Кожній підобласті присвоюються фізичні властивості. Розрахункова область відділяється від решти простору за допомогою зовнішніх ребер, тоді як внутрішні ребра формують межі об'єкта.

Аналіз результатів:

Програмний комплекс ELCUT забезпечує візуалізацію результатів у вигляді поля з можливістю отримання таких даних:

- Локальні значення поля.
- Інтегральні показники.
- Графіки та таблиці в просторовій і часовій залежностях.
- Експорт даних (таблиць, графіків, зображень, результатів розрахунку) до інших програм.

Завершивши створення геометричної моделі та присвоївши їй фізичні властивості, виконується розрахунок, результати якого представлені у вигляді температурного чи теплового поля, готового до детального аналізу.

## 3.2 Аналіз дефектів у вузлах мансардного поверху: Моделювання теплового контуру в програмному середовищі ELCUT

### 3.2.1 Карнизний вузол та покрівельний пиріг мансардного поверху.

Однією з ключових проблем, що виникають ще на етапі будівництва, є недооцінка забудовником особливостей мансардного даху. Така конструкція повинна виконувати подвійну функцію: захищати будівлю як дах і забезпечувати комфортні умови проживання в приміщенні під нею. Для досягнення цих цілей важливо розуміти принципи конструкції та враховувати специфіку її монтажу.

Одним із критичних аспектів є облаштування карнизного вузла. Як показав аналіз об’єкта, основна проблема полягає у з’єднанні основної стіни будівлі з мауерлатом і правильному монтажі кроквяної системи. У більшості випадків мауерлат укладають уздовж периметра будівлі без додаткових заходів для його надійного кріплення до стіни, що згодом може спричинити утворення щілин через усадку матеріалу або напруги, які передаються на нього від верхніх елементів покрівлі.

На рисунку 3.1 зображено виявлені дефекти, а також показано потенційні шляхи проникнення холодного повітря в товщу огороджувальної конструкції мансардного поверху. Ці містки холоду утворилися внаслідок неправильного монтажу покрівельних елементів і експлуатаційних навантажень на будівлю.

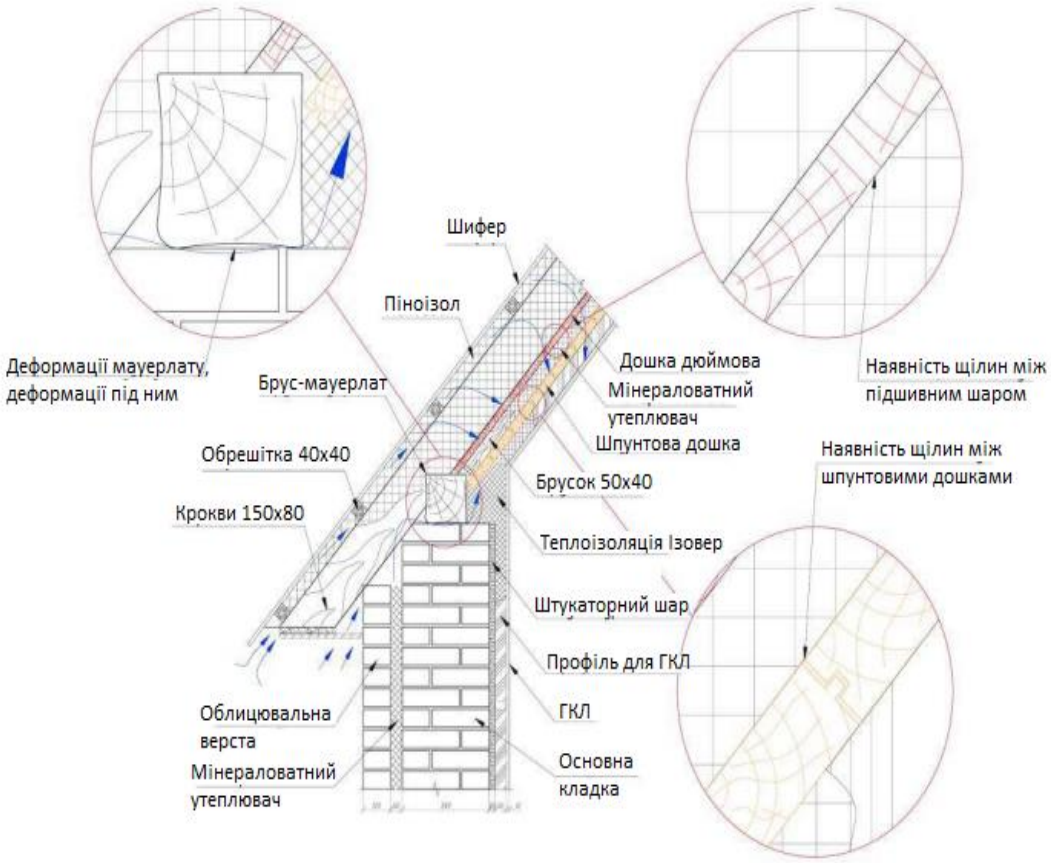
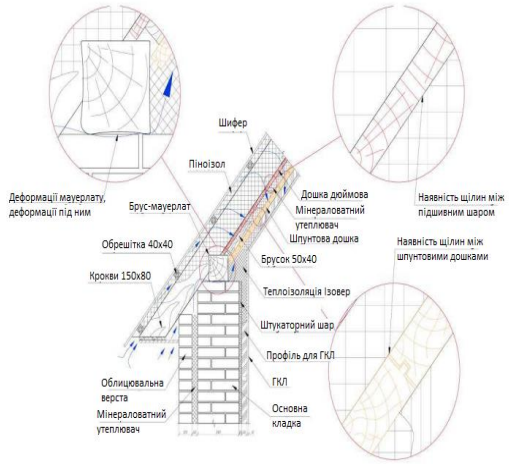
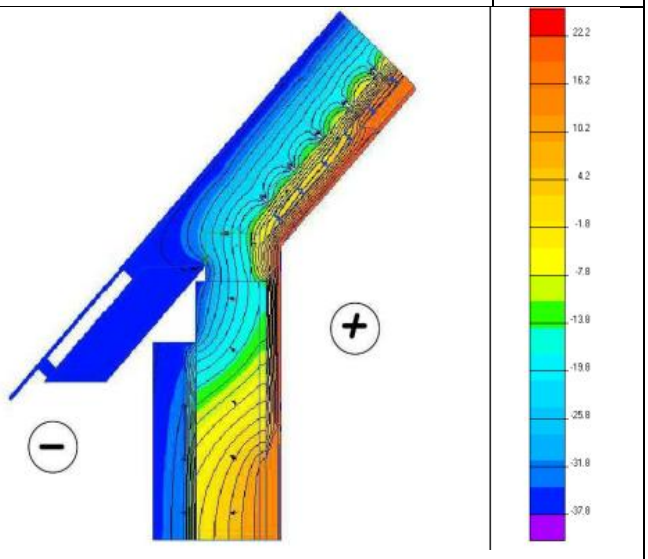



Рисунок 3.1 – Дефекти карнизного вузла

Як показано на рисунку 3.1, холодне повітря проникає через характерні дефекти, такі як щілини та зазори між брусом-мауерлатом і підшивним шаром із дюймової або шпунтованої дошки, а також тріщини в утеплювачі «Піноізол». Це сприяє подальшому охолодженню конструкції. Відсутність пароізоляції призводить до того, що тепле, насичене вологою повітря з

приміщення, потрапляючи на холодну поверхню, конденсується, зволожуючи теплоізоляційний шар і знижуючи його ефективність.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку вузла 1: конструкція карнизного вузла теплою

| Температура зовнішнього повітря $t_з$ = -37°C; | | |
|---|---|---|
| Температура повітря всередині приміщення $t_в$ = *+22C;* | | |
| Конструкція вузла | Температурне поле | T, °C |
|  |  | |



Теплотехнічні характеристики матеріалів у напрямку від внутрішнього контуру

| Найменування шару | Товщина шару, мм | Тепловий потік, Вт. | Середня температура поверхні Ts,°C. |
|---|---|---|---|
| ГКЛ | 12 | 39.08 | 20.28 |
| "Isover стандарт" | 50 | 18.36 | 9.64 |
| Дошка шпунтова | 36 | 11.72 | 8.55 |
| Мінераловатний утеплювач | 50 | 10.98 | 2.03 |
| Дошка дюймова | 25 | 11.44 | -12.03 |
| «Пінoізол» | ~150 | 3.32 | -18.42 |
| Штукатурний шар | 25 | 30.97 | -0.31 |

| Теплотехнічні характеристики матеріалів у напрямку від зовнішнього контуру | | | |
|---|---|---|---|
| Шифер | 6 | 3.48 | -36.89 |
| «Піноізол» | ~150 | 3.47 | -34.36 |
| Кладка лицювальна | 125 | 14.57 | -36.14 |
| Мінераловатний утеплювач | 50 | 14.73 | -30.25 |
| Кладка стіни | 380 | 27.98 | -15.16 |
| Брус-мауерлат | 180 | 1.50 | -27.25 |

За результатами розрахунків в програмному комплексі Elcut Professional для нижчих, нормативних температур зовнішнього повітря, можна зробити висновки, що навіть без урахування тріщин та порожнин у матеріалі теплоізоляції «Піноізол», найбільша різниця температур спостерігається саме в цьому шарі. Однак головним містком холоду в даному вузлі є розташування бруса-мауерлата, оскільки саме тут найвужча частина огороджувальної конструкції і недостатній шар теплоізоляції. Розрахунки показують, як ізотерми в цьому місці змінюють свою поведінку та починають згинатися. Водночас гіпотеза про значне проникнення інфільтруючого повітря через щілини під брусом-мауерлатом не підтвердилася. Тепломоніторинг показав, що основні потоки холодного повітря йдуть через дефекти в теплоізоляційному шарі стіни.

Рекомендації щодо усунення виявлених дефектів: Для вирішення конструкційних недоліків і запобігання або зменшення впливу інфільтрації та ексфільтрації в даному вузлі необхідно здійснити комплексне переоснащення конструкції мансардної покрівлі, зокрема, замінити теплоізоляцію «Піноізол» на мінераловатний утеплювач і забезпечити належну вентиляцію. Також важливо усунути щілини між дощатими настилами або замінити їх на деревно-

плитні матеріали, додавши пароізоляційний шар між фінішною обробкою і теплоізоляцією для зниження ексфільтрації.

Для запобігання виникнення подібних дефектів на етапі будівництва мансардної покрівлі важливо правильно спроектувати конструкцію цього вузла, щоб вона відповідала нормам [3]. При встановленні бруса-мауерлата на каркас будівлі, для надійного його кріплення до несучих стін, слід використовувати металеві шпильки, які міцно зв'язують конструкцію з армопоясом. Між брусом-мауерлатом і стіною необхідно прокласти не тільки гідроізоляційний, але й теплоізоляційний шар. Це рішення, порівняно з традиційними методами кріплення, такими як обв'язка металевим дротом або використання анкерних пластин, має кілька переваг: шпильки дозволяють притягнути брус-мауерлат до стіни, зменшуючи ймовірність утворення щілин, а також підвищують надійність конструкції. Крім того, шпильки, розташовані в матеріалі, зменшують проникнення холодного повітря порівняно з іншими методами кріплення.

Карнизний вузол мансардного поверху вимагає не лише якісного кріплення бруса-мауерлата, але й правильно закріплених кроквяних ніг. Як показує практика, багато будинків мають дефекти у вузлі спирання крокв на брус-мауерлат. Найбільш ефективним способом є жорстке закріплення кроквяних ніг, із запилюванням під мауерлат і зміцненням опорними брусками або шпонками. Це забезпечить стабільність системи та зменшить деформацію покрівлі.

Для комфортного перебування у мансарді необхідно забезпечити якісну теплоізоляцію та правильну конструкцію «покрівельного пирога». Важливо дотримуватись технології «пошарової» теплоізоляції, використовуючи пароізоляційну плівку і гідровітрозахисну мембрану, щоб запобігти проникненню водяної пари зсередини та атмосферних опадів ззовні.

Найбільш ефективним варіантом для утеплення мансарди є використання технологічних рішень від провідних виробників тепло- та гідроізоляційних матеріалів, таких як «ТехноНІКОЛЬ» і «ROCKWOOL».

### 3.2.2 Перекриття мансардного поверху, коньковий вузол

Конструкція даху мансардного поверху має дві основні конфігурації: перша — це використання всього підпокрівельного простору, найчастіше з двосхилим дахом, друга — це спорудження додаткового каркаса у підпокрівельному просторі для створення правильних форм приміщення, що характерно для двосхилих ламаних або вальмових дахів.

На рисунку 3.2 зображено схеми найбільш популярних та широко використовуваних типів каркасів мансардних поверхів у приватному будівництві.

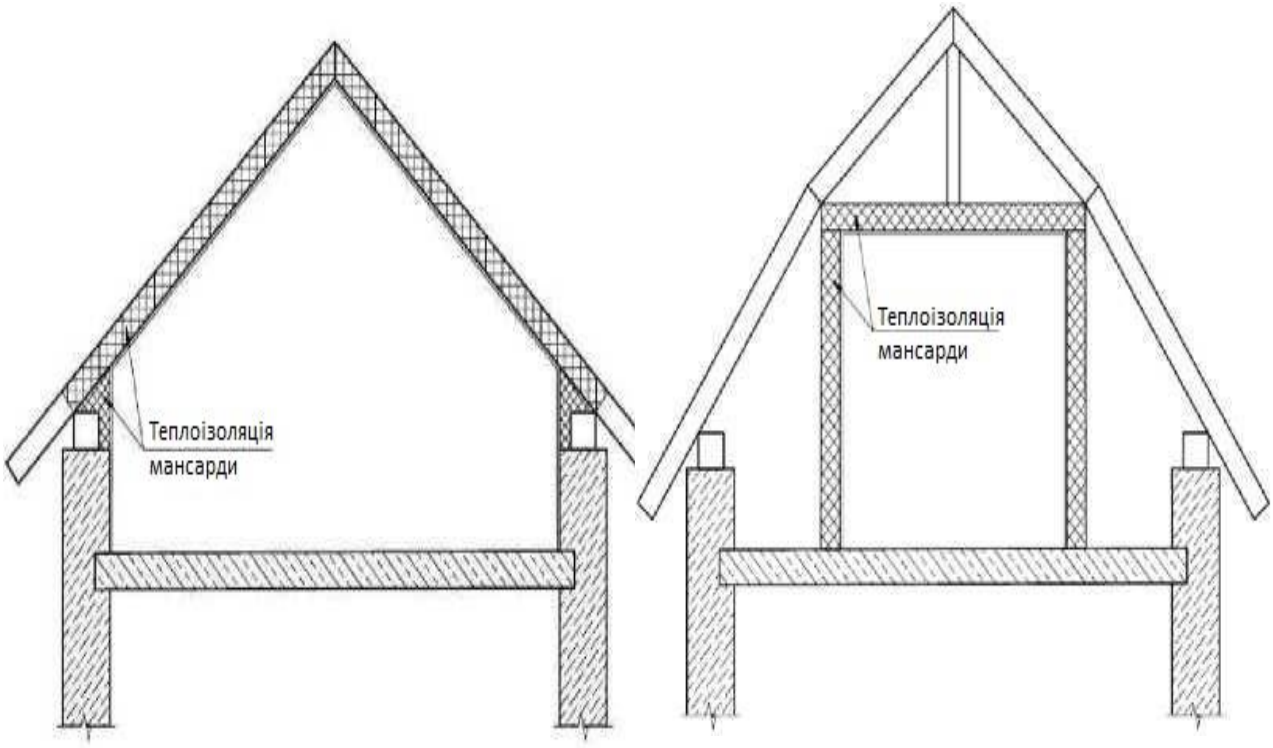



Рисунок 3.2 – Схема основних типів каркасу мансардного поверху

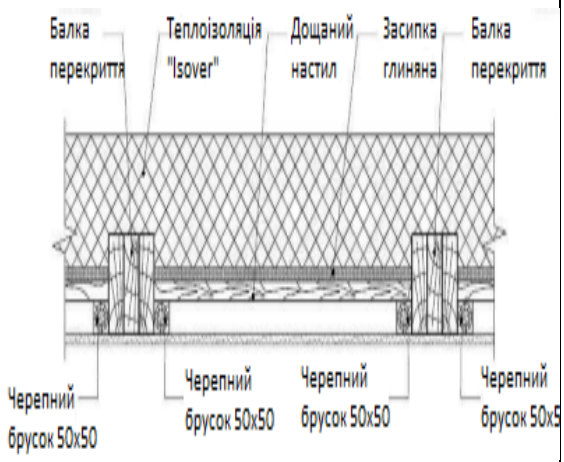
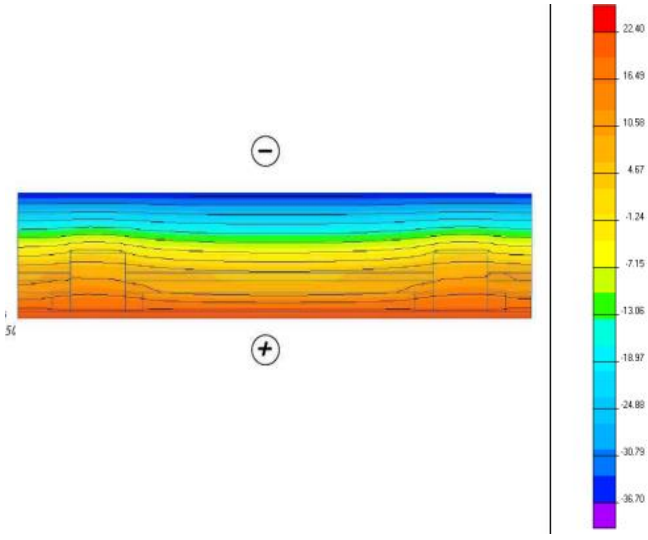
Принципова схема конструкції мансардного поверху об'єкта, що розглядається, є комбінованим варіантом двох описаних типів. Одна частина мансардного приміщення виконана з дерев'яного «зрубу» з бруса розміру

100х180 мм, а інша частина збудована за допомогою дерев'яного каркаса, стіни якого обшиті дошками з теплоізоляційним матеріалом «Піноізол» між ними. Зовнішні стіни мансардного приміщення оштукатурені глиняною штукатуркою по дранці, а теплоізоляція брусової стіни відсутня.

Перекриття мансардного поверху виконано на дерев'яних балках, з'єднаних плахами розміру 180х50 мм, при цьому крок балок відповідає кроку кроквяних ніг даху. Теплоізоляція перекриття виконана з мінераловатних матеріалів «Isover Standart», що укладені на глиняну засипку.

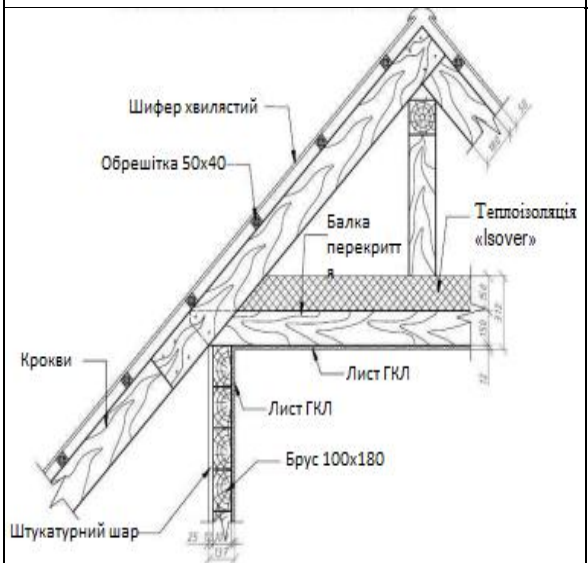
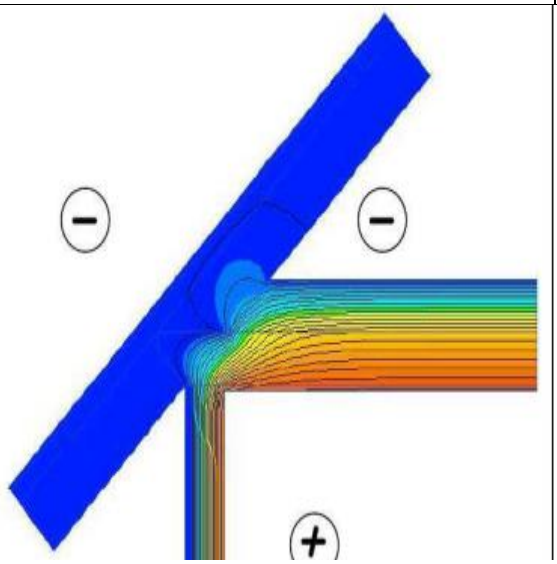
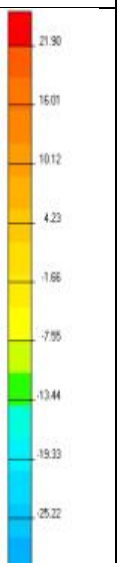
Креслення конструкції та результати розрахунку вузла перекриття і стику перекриття зі стіною мансарди наведені в таблицях 3.2 та 3.3.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку вузла 2: перекриття мансардного поверху

| Температура зовнішнього повітря $t_з$ = -37°С; | | |
|---|---|---|
| Температура повітря всередині приміщення $t_в$ = *+22С;* | | |
| Конструкція вузла | Температурне поле | Т, °С |
|  |  | |

| Теплотехнічні характеристики матеріалів у напрямку від внутрішнього контуру | | | |
|---|---|---|---|
| Найменування шару | Товщина шару, мм | Тепловий потік, Вт. | Середня температура поверхні Ts,°C. |
| ГКЛ | 12 | 12.04 | 22.03 |
| Дощатий підлога | 30 | 6.48 | 8.17 |
| Глиняне засипання | 20 | 6.75 | 6.61 |
| Теплотехнічні характеристики матеріалів у напрямку від зовнішнього контуру | | | |
| Теплоізоляція «Isover» | 200 | 12.34 | -34.58 |
| Глиняне засипання | 20 | 6.50 | 6.52 |

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку вузла 3: стик перекриття зі стіною мансардного поверху

| Температура зовнішнього повітря $t_з$ = -37°C; | | |
|---|---|---|
| Температура повітря всередині приміщення $t_в$ = *+22C;* | | |
| Конструкція вузла | Температурне поле | T, °C |
|  |  |  |

| Теплотехнічні характеристики матеріалів у напрямку від внутрішнього контуру | | | |
|---|---|---|---|
| Найменування шару | Товщина шару, мм | Тепловий потік, Вт. | Середня температура поверхні Ts,°C. |
| ГКЛ | 12 | 49.82 | 20.03 |
| Балка перекриття | 180 | 16.21 | 15.27 |
| Теплоізоляція «Isover» | 150 | 11.67 | 0.57 |
| Брус сосновий | 100 | 34.32 | 12.94 |
| Теплотехнічні характеристики матеріалів у напрямку від зовнішнього контуру | | | |
| Теплоізоляція «Isover» | 150 | 9.6 | -36.55 |
| Балка перекриття | 180 | 15.33 | -3.89 |
| Штукатурний шар | 25 | 33.83 | -35.17 |
| Брус сосновий | 100 | 33.78 | -33.85 |

Розрахунок стаціонарного теплоперенесення, виконаний в програмному комплексі Elcut professional, показав, що теплоізоляція перекриття мансарди відповідає вимогам до теплопередачі, і мости холоду не були виявлені. Однак відсутність пароізоляційного шару може негативно впливати на стан утеплювача з мінераловатних матеріалів. Також слабким місцем є дерев'яна балка перекриття, виготовлена з трьох відрізків дощок, але товщина теплоізоляції 200-250 мм значно знижує ймовірність проникнення холодного повітря через можливі щілини в цій конструкції.

Розрахунок стику перекриття з дерев'яною стіною мансарди (таблиця 3.4) показав, що, як і в інших випадках, місце стику конструкцій є найбільш

схильним до утворення мостів холоду. Найбільш низькі температури спостерігаються в зоні сполучення балки перекриття та кроквяної ноги.

В ході розрахунку також було встановлено, що товщина стін з бруса 100х180 мм в мансарді є недостатньою для забезпечення необхідних умов теплоізоляції, і для досягнення бажаного рівня теплоізоляції потрібно додати теплоізоляційний матеріал ззовні.

Під час дослідження конструкції покрівлі були виявлені дефекти в розташуванні кроквяних ніг. Зокрема, стик кроквяних ніг суміжних ухилів виконано внахлест на цвяхах, що не забезпечує достатньої жорсткості конструкції в поперечному напрямку під впливом вітрового навантаження. Шарнірне з'єднання крокв у коньковій частині може призводити до надмірних деформацій при вітровому тиску. Це переміщення може викликати утворення деформаційних щілин і порожнеч у місцях стику кроквяних ніг і балок перекриття, що порушує цілісність конструкції.

Рекомендації щодо усунення виявлених дефектів:

1. Для забезпечення жорсткості конькового вузла та запобігання переміщенням конструкції необхідно забезпечити надійне з'єднання крокв у коньковій частині покрівлі. Найбільш ефективним рішенням є встановлення дерев'яної затяжки в ковзані покрівлі, що посилить жорсткість конструкції в поперечному напрямку.

2. Щоб уникнути промерзання стін з бруса 100х150 мм, необхідно передбачити додаткову теплоізоляцію стін з підбором товщини утеплювача згідно з розрахунками за діючими нормами [4].

Вузол сполучення зовнішніх стін мансардного поверху: Для збільшення простору мансардного поверху, а також забезпечення необхідних умов висоти стель відповідно до вимог [3], можуть бути варіанти, коли зовнішні стіни піднімаються над перекриттям першого поверху, забезпечуючи необхідну пропорцію висоти до площі 1/2 [61], що створює більш комфортні умови для перебування людей.

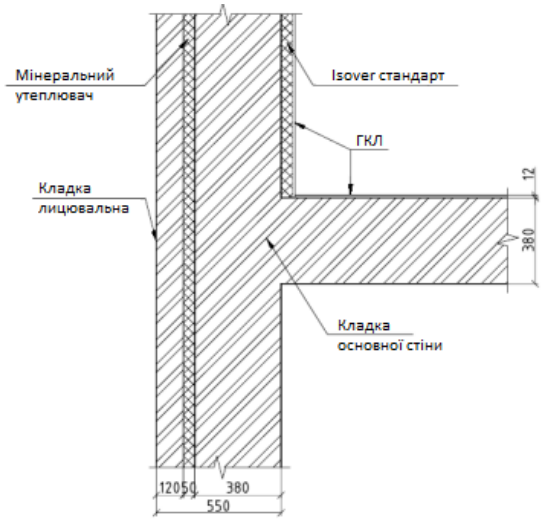
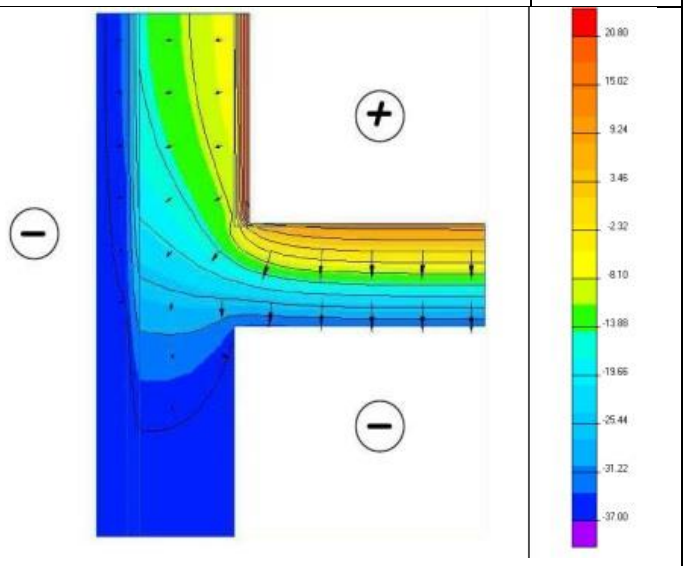
Матеріал і конструкція таких стін, зазвичай, аналогічні стінам основної будівлі, що є найбільш раціональним рішенням. Однак існують варіанти, коли несучі стіни мансарди виконуються з легших матеріалів або каркасної конструкції. Важливо, щоб різнорідні матеріали були правильно з'єднані, оскільки різні матеріали можуть мати різні ступені усадки, що може спричинити деформації конструкції під час експлуатації.

Конструкція стін мансардного поверху об'єкта складається з різних матеріалів на різних рівнях: на рівні підлоги та сходового маршу використовується цегла, вище — брус розміру 200х200 мм. Розрахунок теплоперенесення на основі конструктивних даних показав значні тепловтрати в місцях стику зовнішніх стін, а також у з'єднаннях різнорідних матеріалів огороджувальних конструкцій, результати яких наведено в таблицях 3.4 та 3.5.

Аналіз розрахунків для вузла 3 показав, що товщина теплоізоляції зовнішньої стіни 50 мм є недостатньою, оскільки температура поверхні стіни по внутрішньому контуру досягає -7.41°С, що неприпустимо. На практиці, ці показники можуть бути ще гіршими через дефекти теплоізоляції, виявлені раніше (рисунок 2.14), що сприяють втраті тепла.

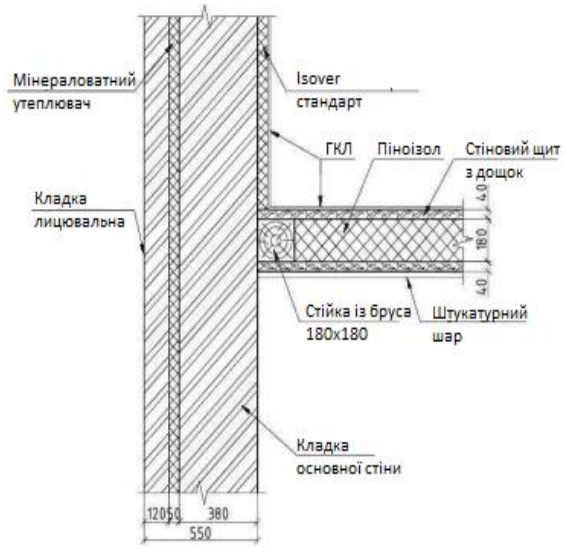
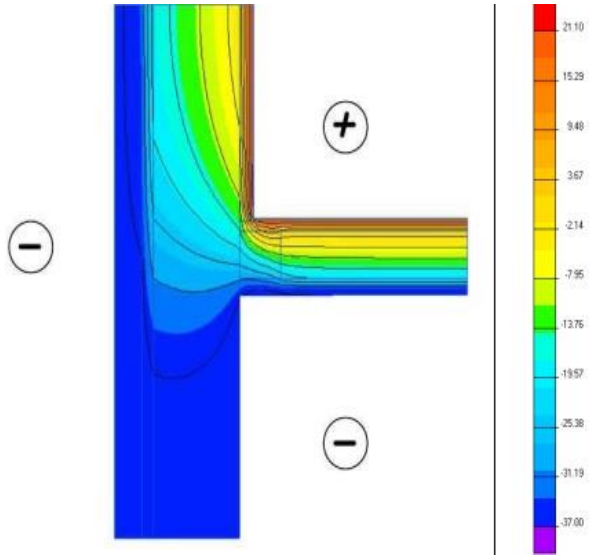
У вузлі 4 картина теплового поля схожа, з найбільшими втратами на місці стику зовнішніх стін. Промерзання цього стику може бути результатом низької щільності з'єднань, оскільки забезпечити щільне прилягання бруса до цегляної стіни дуже важко. Однак, завдяки кращим теплофізичним властивостям матеріалу дерев'яної стіни, вузол 4 показує більш позитивні результати температурного поля порівняно з вузлом 3.

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку вузла 3: конструкція стику цегляних зовнішніх стін мансарди

| Температура зовнішнього повітря $t_з$ = -37°C; | | |
|---|---|---|
| Температура повітря всередині приміщення $t_в$ = *+22C;* | | |
| Конструкція вузла | Температурне поле | T, °C |
|  |  | |

| Теплотехнічні характеристики матеріалів у напрямку від внутрішнього контуру | | | |
|---|---|---|---|
| Найменування шару | Товщина шару, мм | Тепловий потік, Вт. | Середня температура поверхні Ts,°C. |
| ГКЛ | 12 | 101.07 | 16.29 |
| «Isover стандарт» | 50 | 16.23 | 13.61 |
| Кладка стіни | 380 | 101.53 | 0.64 |
| Теплотехнічні характеристики матеріалів у напрямку від зовнішнього контуру | | | |
| Кладка лицювальна | 125 | 15.82 | -36.66 |
| Мінераловатний утеплювач | 50 | 15.82 | -30.65 |
| Кладка стіни | 380 | 15.81 | -25.61 |

Таблиця 3.5 - Результати розрахунку вузла 4: конструкція стику зовнішніх стінок мансарди з різнорідних матеріалів.

<table>
<tr><td colspan="4">Температура зовнішнього повітря $t_з$ = -37°C;</td></tr>
<tr><td colspan="4">Температура повітря всередині приміщення $t_в$ = +22C;</td></tr>
<tr><td>Конструкція вузла</td><td colspan="2">Температурне поле</td><td>T, °C</td></tr>
<tr><td>
</td><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td colspan="4">Теплотехнические характеристики материалов по направлению от внутреннего контура.</td></tr>
<tr><td>Найменування шару</td><td>Товщина шару, мм</td><td>Тепловий потік, Вт.</td><td>Середня температура поверхні Ts,°C.</td></tr>
<tr><td>ГКЛ</td><td>12</td><td>48.95</td><td>19.75</td></tr>
<tr><td>«Isover стандарт»</td><td>50</td><td>15.44</td><td>14.33</td></tr>
<tr><td>Кладка стіни</td><td>380</td><td>15.84</td><td>-6.77</td></tr>
<tr><td>Стіновий щит із дощок</td><td>40</td><td>33.88</td><td>10.95</td></tr>
<tr><td>Піноізол</td><td>180</td><td>29.42</td><td>1.39</td></tr>
</table>

| Теплотехнічні характеристики матеріалів у напрямку від зовнішнього контуру | | | |
|---|---|---|---|
| Кладка лицювальна | 125 | 12.53 | -36.73 |
| Мінераловатний утеплювач | 50 | 12.53 | -35.47 |
| Кладка стіни | 380 | 12.54 | 18.29 |
| Штукатурний шар | 25 | 32.48 | -35.50 |
| Стіновий щит із дощок | 40 | 31.59 | -29.66 |
| Піноізол | 180 | 28.82 | -18.83 |

Рекомендації щодо усунення виявлених дефектів:

Для усунення дефектів у вузлі сполучення зовнішніх стін будівлі необхідно провести комплексний підхід, що передбачає повну переробку схеми теплоізоляції цього вузла.

Щоб знизити проникнення холодного повітря та виправити недоліки кладки, слід зашпаклювати всі щілини та пори в кладці несучої стіни цементно-піщаним розчином. Для забезпечення ефективної теплоізоляції необхідно вибрати відповідний утеплювач і визначити його товщину згідно з нормативними вимогами [4].

Під час укладання теплоізоляції важливо забезпечити її надійне та герметичне прилягання до стіни. Якщо використовується кілька шарів утеплювача для досягнення необхідної товщини, потрібно розмістити їх так, щоб шви перекривалися, не утворюючи щілин та прогалин.

Для запобігання промерзанню кута будівлі, необхідно утеплити його з обох боків, при цьому теплоізоляційний матеріал має нахльостуватися на стіну, що сполучається, на відстань не менше ніж 500 мм. Крім того, стик між

кладкою та дерев'яною стійкою слід герметизувати за допомогою ущільнювальних стрічок або матеріалів, що наносяться напиленням.

Оскільки мансардне приміщення не займає весь підпокрівельний простір, потрібно забезпечити теплоізоляцію не лише зовнішніх стін, а й тих, що межують із горищним простором.

Ці заходи дозволять зменшити тепловтрати, що виникають через неоднорідні ділянки огороджувальних конструкцій, які можуть мати різні геометричні чи теплофізичні характеристики.

## 3.3 Висновки щодо розділу 3

1. Було виявлено основні конструкційно-теплоізоляційні недоліки в облаштуванні мансардних поверхів на прикладі експлуатованого об'єкта.
2. Виконано розрахунок вузлів мансардного поверху на стаціонарне теплоперенесення за допомогою програмного комплексу Elcut Professional. Під час розрахунку були виявлені мости холоду та отримані значення температур на межах матеріалів.
3. Оцінено дефекти конструкції мансардного поверху та надано рекомендації щодо їх усунення, зокрема в вузлах, які впливають на загальні тепловтрати будівлі.
4. Моделювання теплового контуру будівлі було проведено в програмі Elcut Professional для розрахунку стаціонарного теплопереносу. Однак під час обстеження з'ясувалося, що під певними умовами інфільтраційні потоки холодного повітря можуть значно впливати на тепловтрати будівлі. Отже, для точного формування теплового поля вузла конструкції необхідно враховувати вплив цих потоків, чого програма не передбачає.
5. За результатами обстеження мансардного поверху експлуатованої будівлі визначено такі основні дефекти в його облаштуванні: неправильне розташування бруса-мауерлату та відсутність герметичності між основною стіною та конструкцією покрівлі, неправильне кріплення кроквяних ніг при

формуванні підпокрівельного простору, порушення технології влаштування багатошарових конструкцій покрівлі, а також недбале ставлення до теплоізоляції та забезпечення жорсткості каркасу мансардного поверху.

# ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1) Сучасні технології зведення мансард у приватному будівництві мають низку недоліків, зокрема на етапі будівництва. Аналіз літературних джерел дозволив виявити основні технології та умови проектування енергозберігаючих будівель.

2) Під час обстеження експлуатованого мансардного поверху було виявлено конструкційні дефекти, які негативно впливають на ефективність теплозахисту будівлі. Зафіксовано рух інфільтраційних потоків через щілини та нещільності в багатошарових конструкціях теплої покрівлі. Здійснено розрахунок інфільтраційного потоку, що виявив значні обсяги повітряного потоку на 1 м² площі огороджувальної конструкції.

3) Розроблено методику моніторингу тепловтрат, яка передбачає тепловізійну зйомку в різних погодних умовах. За її результатами зроблено висновок про низьку ефективність теплоізоляційного шару в огороджувальній конструкції мансардного поверху досліджуваного об'єкта.

4) Виконано програмне моделювання теплового контуру вузлів мансарди в розрахунковій програмі Elcut Professional для оцінки впливу конструктивної схеми на теплотехнічні параметри. Запропоновано рекомендації щодо удосконалення конструкції теплої покрівлі та усунення мостів холоду у вузлах мансардного поверху. Покращення конструктивних рішень огороджувальних конструкцій дозволяє знизити трансмісійні та конвекційні тепловтрати, а також зменшити витрати енергії на опалення під час експлуатації будівлі. Таким чином, зменшення втрат тепла через мости холоду, щілини та нещільності в конструкціях може призвести до значного енергозбереження.

# СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бачинська Л.Г. Архітектура житла: Проблеми теорії та практики структуроутворення. Київ: Грамота, 2004. 402с.

2. Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення: ДБН В.2.2- 15:2019. Вводяться на заміну ДБН В.2.2-15-2005. [Введені 01.12.2019]. Київ: Мінрегіон України, 2019. 42 с.

3. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. Норми проектування. Київ: Мінбуд України, 2009р. 30с.

4. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Київ: Мінбуд України, 2007. 59 с.

5. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія.

6. Сухонос М. К., Молодченко Т. Г., Прасол. В. М. Аналіз технічного стану житлового фонду України та пропозиції щодо його оцінки: Економічний вісник Донбасу, 2014. № 1(35). С. 51–55.

7. Гнесь І. П. Проблеми і перспективи нового будівництва в районах масової житлової забудови 60-70-х рр. XX ст.: Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Архітектура, 2004. № 505. С. 261–264.

8. Про архітектурну діяльність: Закон України від 20.05.1999 № 687-XIV. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/687-14#Text. (дата звернення 17.010.2024).

9. Омельчук В. О. Державне регулювання будівництва житла: зарубіжний досвід. / Економіка та держава. 2012. № 8. С. 24–27.

10. EN 1991-1-3. Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-3: General actions – Snow loads. – CEN, 2003. – 56 p..

11. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації,

безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд. – [Чинні від 1997-11-27]. Київ : Держ. Комітет буд-ва, архіт. та житлової політики України, Держнаглядохоронпраці України, 1997. 145 с.

12. Дончак І.О., Линда С.М. Пристосування житлового середовища для потреб людей з обмеженими фізичними можливостями: Навчальний посібник. Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2002.

13. Король В.П. Архітектурне проектування житла: Навч. посібник для вузів. Київ: Фенікс, 2006. 208с.

14. Бачинська Л.Г. Архітектура житла: Проблеми теорії та практики структуроутворення / Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. Київ : Грамота, 2004. 407с. : іл. – Бібліогр.:с.398-401.

15. ДБН В.2.2-15-2005. Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення : на зміну СНиП 2.08.01-89 та ДБН 79-92: чинний з 2006-01-01. Київ : Мінбуд. України, 2006. 65 с.

16. ДБН В.2.2-9-2009. Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення : на зміну ДБН В.2.2-9-99 : чинний з 2009-07-01. Київ: Укрархбудінформ, 2009. 47 с.

17. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель : на зміну СНиП II-3-79 : чинний з 2007-04-01. Київ : Мінбуд. України, 2006. 65 с.

18. ДБН В.2.6-31:2006. Теплова ізоляція будівель. Зміна №1 [Текст] // Інформаційний бюлетень МРУ. № 5. 2013. С. 3–11.

19. ДСТУ-Н Б В.2.6-87:2009. Конструкції будинків і споруд. Настанова з проектування конструкцій будинків із застосуванням сталевих тонкостінних профілів : чинний з 2010-08-01. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 55 с.

20. ДБН В.1.1-7-2002. Пожежна безпека об’єктів будівництва : на зміну СНиП 2.01.02-85 :чинний з 2003-05-01. Київ : Держбуд України.– 2003. 43 с.

21. ДБН В.1.2.-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки

будівельних об’єктів. Навантаження і впливи : чинний з 2007-01-01. Київ : Мінбуд України, 2006. 56 с.

22. ДСТУ Б В.2.6-101:2010. Методи визначення опору теплопередачі огороджувальних конструкцій. Київ : Мінбуд. України, 2010. 84 с.

23. Розпорядження Кабінету Міністрів України №1228-р від 25.11.2015 «Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2020 року» [Електронний ресурс].

24. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огороджувальних конструкцій / Г.Г. Фаренюк. Київ, Гама-Принт, 2009. 242 с.

25. Фаренюк Г.Г. Теплова надійність огороджувальних конструкцій та енергофективність будинків при новому будівництві та реконструкції./ Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня докт. техн. наук, 2009 р. 39 с.

26. Фаренюк Г.Г. Методологічні аспекти забезпечення енергоефективності та теплової надійності будинків / Г.Г. Фаренюк // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. – Вып. 50, – Днепропетровск : ГВУЗ ПГАСА, 2009. С. 593–597.

27. Скребнєва С.М. Дисертаційна робота. Ефективні енергозберігаючі огороджуючі конструкції житлових будинків та споруд / С.М. Скребнєва // Київ, 2013. 167 с.

28. Температурні впливи на огороджувальні конструкції будівель / В. А. Пашинський, Н. В. Пушкар, А. М. Карюк. Одеса : ОДАБА, 2012. 180 с.

29. Теплотехнічні властивості огороджувальних конструкцій із замкнутими повітряними прошарками : дис. … канд. техн. наук : 05.23.01 / Гирман Лілія Віталіївна. Полтава, 2011. 172 с. – Бібліогр. : с. 143–154.

30. ДСТУ Б В.2.7-105-2000 (ГОСТ 7076-99). Матеріали і вироби будівельні. Метод визначення теплопровідності і термічного опору при стаціонарному тепловому режимі : чинний з 2000-12-14. Київ: Держбуд України, 2001. 25 с.

31. ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування і забудова територій», чинний з 1 жовтня 2019 р.

32. ДБН В.2.1-10:2018. «Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення». Київ: Держбуд України, 2018.

33. ДБН В.1.1-7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва». Чинний від 2017-06-01 – 38с.

34. Гетун Г.В., Румянцев Б.М., Жуков А.Д. Системи ізоляції будівельних конструкцій. Навчальний посібник. Дніпро: Журфонд , 2016 р. 676 с.

35. Монастирська Т.Б. Облік та контроль в організаціях з обслуговування житлового фонду: дисертація на здобуття наукового ступеня к-та економ. наук: спец. 08.00.09. Тернопіль, 2016. 240с.

36. Орлова О.О. Екологічний фактор формоутворення в дизайні: навчальний посібник / Харків: ХНАМГ, 2003. 20 с.

37. Прищенко С. В. Кольорознавство: навчальний посібник / Київ: Альтерпрес, 2010. 354 с.

38. Сьомка С. В. Ергономіка та ергодизайн : підручник / Київ. : НАКККіМ, 2017. 604 с.

39. Сьомка С. В., Антонович Є. А. Дизайн інтер'єру, меблів та обладнання : підручник. Київ : НАКККіМ, 2018. 360 с.

40. Сингаївська О. І. Структура залежностей між природними умовами, природними процесами та інженерними спорудами. Архітектурний вісник КНУБА. 2015. №5. С. 193–204.

41. Сучасні проблеми архітектури та містобудування : науково-технічний збірник. Вип. 59 / МОН України, Київський національний університет будівництва і архітектури ; Товбич В. В., ред. - Київ : КНУБА, 2021. - 368 с.

42. Типологія громадських будинків і споруд : навчальний посібник / Л. М. Ковальський, В. М. Лях, А. Ю. Дмитренко, Г. Л. Ковальська ; МОН МС України, Полтавський національний технічний університет імені Юрія

Кондратюка, Київський національний університет будівництва і архітектури. - Київ : Основа, 2012. - 272 с. – ISBN 978-966-699-702-2.

43. Чабаненко, Петро Миколайович Утримання міської забудови : навчальний посібник / П. М. Чабаненко ; МОН МС України, Одеська державна академія будівництва і архітектури. - Одеса : Астропринт, 2012. - 136 с. - ISBN 978-966-190-498-8.

44. Alajmi, A. Energy audit of an educational building in a hot summer climate / A. Alajmi // Energy and Buildings. - 2012. - Vol. 47. - pp. 122-130.

45. Cowan, H.J. Science and Building. Structural and environmental design in the nineteenth and twentieth centuries / H. J. Cowan. New-York, Sydney, 1978. - 356 p.

46. Cheng, Y. Thermal comfort models: A review and numerical investigation / Y. Cheng, J. Nin, N. Gao // Building and Environment. - 2012. - Vol. 47. - pp. 13-22.

47. Gustavsson L., Joelsson A. Life cycle primary energy analysis of residential buildings // Energy and Buildings. 2010. Vol. 42. Issue 2. Pp. 210-220.

48. Hauser G., Stiegel H. Warmebrucken-Atlas fur den Holzbau. Wiesbaden, 1992.

49. Hauser G., Stiegel H. Warmebruckenatlas fur den Mauerwerksbau. Wiesbaden, 1997.

50. Levy, M.M., J. Cell. Plast. (1966) 2 (1), p. 37.

51. Monitoring and safety evaluation of existing concrete structures // FIB (CEB- FIP) Bulleteen. 2003. - P. 153-161.

52. Mittasch, H., Plaste Kautsch. (1969) 16 (4), p. 268.

53. Pauak, I., Mater. Constr. Paris (1973) 6, p. 31.

54. Reconstruction of administrative buildings of the 70's: The possibility of energy modernization / N.I. Vatin, D.V. Nemova, V. Murgul [and others] // Journal of Applied Engineering Science. - 2014. - No. 1. - pp. 37-44.

55. Rode, C. Empirical validation of a transient computer model for combined heat and moisture transfer / C. Rode, D.M. Burch // Thermal Performance

of the Exterior Envelopes of Building VI, December 4-8. Clearwater Beach, FL: 1995. - pp. 283295.

56. Tenpieric, M. An Analytical Model for Calculating Thermal Bridge Effects in High Performance Building Enclosure / M. Tenpieric, W. Van der Spoel, H. Cauberg // Journal of Building Physics. - 2008. - No. 31. - pp. 361-387.

57. Jones, J.C. Desing methods / J. C. Jones. New-York: John Wiley&Sons, 1982.