

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

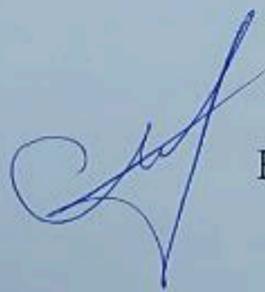
Кафедра будівництва, міського господарства та архітектури
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

Технології підвищення вогнестійкості світлопрозорих фасадних систем у сучасному будівництві

Виконав: студент 2-го курсу, групи Б-24м
за спеціальністю 192 – «Будівництво та
цивільна інженерія»

 В. С. Томчук
(підпис, ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц. І.М. Меть
(науковий ступінь, вчене звання,
ініціали та прізвище)

«12» грудня 2025 р.
(підпис)

 Опонент к.т.н. доц. Слободян Н. М.
(науковий ступінь, вчене звання, кафедра)
(підпис, ініціали та прізвище)

«12» 12 2025 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри БМГА
к.т.н., доц. В. В. Швець
(ініціали та прізвище)
«12» 12 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет: будівництва, цивільної та екологічної інженерії

Кафедра: будівництва, міського господарства та архітектури

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

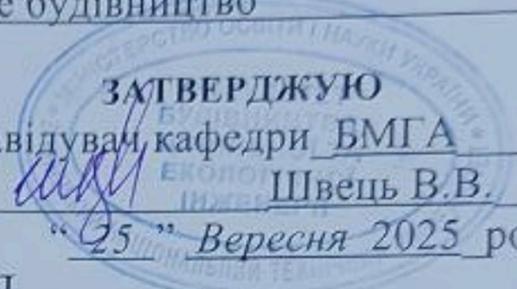
Галузь знань 19 – Архітектура та будівництво

(шифр і назва)

Спеціальність 192 – Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Промислове та цивільне будівництво


ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри БМГА
Швець В.В.
"25" Вересня 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТА

Томчука Віталія Станіславовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Технології підвищення вогнестійкості світлопрозорих фасадних систем у сучасному будівництві»

керівник роботи Меть І. М., к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "24" вересня 2025 року №313.

2. Строк подання здобувачем роботи 01.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Фрагмент ситуаційного плану, карта місцевості, нормативна література

4. Зміст текстової частини: Вступ (актуальність та новизна наукових досліджень, об'єкт, предмет, мета і задачі, практична значимість, методи досліджень, апробація)

розділ 1 Аналіз стану питання по фасадних конструкціях будівель. Види фасадних світлопрозорих конструкцій (ФСК) будівель. Методи та теоретичні підходи до оцінювання стійкості фасадних світлопрозорих конструкцій у разі пожежі. Висновок за розділом 1

розділ 2 Моделювання роботи фасадних конструкцій у умовах впливу вогневих навантажень. Характерні особливості перебігу пожежі в безпосередній близькості до фасадних конструкцій. Вплив вогню на фасади з різних конструктивних матеріалів. Вогнестійкість та особливості поведінки склопакетів у пожежних умовах. Комплексне забезпечення пожежної безпеки фасадів і будівель. Висновок за розділом 2

розділ 3 Аналіз і узагальнення результатів досліджень (показники руйнування світлопрозорих конструкцій під час пожежі). Опис методу захисту фасадної світлопрозорої конструкції. Методика вогневого випробування. Висновок за розділом 3

розділ 4 Технічна частина. Архітектурно-будівельні рішення. Рішення генплану. Організація рельєфу. Об'ємно-планувальні рішення. Архітектурно-конструктивні рішення. Теплотехнічний розрахунок. Опорядження фасадів та внутрішніх приміщень. Технологічні рішення. Область застосування. Визначення складу робіт. Організація і технологія виконання робіт. Послідовність виконання робіт. Калькуляція трудовитрат та заробітної плати. Технологічний розрахунок та графік виробництва робіт. Техніко-економічні показники. Висновок за розділом 4

5. Економічна частина. Висновки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Науково-дослідний розділ – 9 арк. (плакати, що ілюструють результати науково-дослідної роботи)
 2. Архітектурно-будівельні рішення – 3 арк. (візуалізація об'єкту дослідження, фасади, план першого поверху, план покрівлі, розріз 1-1, план фундаментів, план покриття, план перекриття)
 3. Розділ Технологічні рішення – 1 арк. (Конструктивне рішення протипожежних поясів в світлопроточних фасадах, схема утеплення кута будівлі, календарний графік виконання робіт по об'єкту, схема кріплення мінераловатних плит до стіни, вказівки).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Вступ, науковий розділ 1-3	Меть І. М. к.т.н., доцент кафедри БМГА		
Розділ 4. Технічна частина. Архітектурно-будівельні рішення	Меть І. М. к.т.н., доцент кафедри БМГА		
Розділ 4. Технічна частина. Технологічні рішення	Меть І. М. к.т.н., доцент кафедри БМГА		
Розділ 5. Економічна частина	Лялюк О. Г. к.т.н., доцент кафедри БМГА		

7. Дата видачі завдання 12.10.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Призначення
1	Складання вступу до МКР	13.10-17.10.25	
2	Науково-дослідна частина	15.09-17.10.25	
3	Архітектурно-будівельні рішення технічного об'єкту	20.10-29.10.25	
4	Організаційно-технологічні рішення	30.10-07.11.25	
5	Економічна частина	08.11-15.11.25	
6	Оформлення МКР	17.11-20.11.25	
7	Подання МКР на кафедру для перевірки	21.11-23.11.25	
8	Попередній захист	24.11-25.11.25	
9	Опонування	05.12-08.12.25	

Здобувач (підпис) Томчук (прізвище)

Керівник роботи (підпис) Меть (прізвище)

АНОТАЦІЯ

УДК 691.7:699.81:72.012.3

Томчук В. С., Технології підвищення вогнестійкості світлопрозорих фасадних систем у сучасному будівництві. Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія». Вінниця: ВНТУ, 2025. 106 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 40 назв; рис.:26; табл. 5.

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена дослідженню технологій підвищення вогнестійкості світлопрозорих фасадних систем будівель. Представлено аналіз сучасних типів фасадного скління, їх експлуатаційних характеристик та критеріїв руйнування під дією теплових потоків. Розглянуто закономірності розвитку пожежі вздовж площини фасаду, механізми вертикального поширення полум'я та вплив конвективних потоків на поведінку склопакетів. Проведено натурне та аналітичне моделювання теплових навантажень на світлопрозорі конструкції, наведено алгоритм визначення граничних станів скла та оцінки його поведінки в умовах пожежі. Запропоновано конструктивні та технологічні рішення щодо підвищення вогнестійкості фасадних систем із використанням вогнестійких склопакетів, протипожежних поясів, сталевих підконструкцій та локалізуючих елементів. Робота містить розділи з архітектурно-будівельних рішень, технології виконання робіт, теплотехнічних розрахунків та економічного обґрунтування. Отримані результати можуть бути використані для удосконалення нормативних вимог та підвищення рівня протипожежної безпеки сучасних будівель.

Ключові слова: вогнестійкість, світлопрозорі фасади, склопакети, теплові навантаження, пожежна безпека, моделювання, протипожежні пояси, конвекція, конструктивні рішення, теплозахист.

ANNOTATION

Tomchuk V. S., Technologies for increasing the fire resistance of translucent facade systems in modern construction. Master's degree thesis in specialty 192 - "Construction and civil engineering. Vinnytsia: VNTU, 2025. 106 p.

In Ukrainian. Bibliography: 40 titles; Fig.: 26; Table. 5.

The master's degree thesis is devoted to the study of technologies for increasing the fire resistance of translucent facade systems of buildings. An analysis of modern types of facade glazing, their operational characteristics and criteria for destruction under the influence of thermal flows is presented. The patterns of fire development along the facade plane, the mechanisms of vertical flame spread and the influence of convective flows on the behavior of double-glazed windows are considered. Full-scale and analytical modeling of thermal loads on translucent structures was carried out, an algorithm for determining the limit states of glass and assessing its behavior in fire conditions was presented. Constructive and technological solutions were proposed to increase the fire resistance of facade systems using fire-resistant double-glazed windows, fire-resistant belts, steel substructures and localizing elements. The work contains sections on architectural and construction solutions, technology of work execution, thermal calculations and economic justification. The results obtained can be used to improve regulatory requirements and increase the level of fire safety of modern buildings.

Keywords: fire resistance, translucent facades, double-glazed windows, thermal loads, fire safety, modeling, fire-resistant belts, convection, constructive solutions, thermal protection.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ПО ФАСАДНИХ КОНСТРУКЦІЯХ БУДІВЕЛЬ	8
1.1 Види фасадних світлопрозорих конструкцій (ФСК) будівель	8
1.2 Методи та теоретичні підходи до оцінювання стійкості фасадних світлопрозорих конструкцій у разі пожежі	11
Висновок за розділом 1	13
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ФАСАДНИХ КОНСТРУКЦІЙ У УМОВАХ ВПЛИВУ ВОГНЕВИХ НАВАНТАЖЕНЬ	15
2.1 Характерні особливості перебігу пожежі в безпосередній близькості до фасадних конструкцій	15
2.2 Вплив вогню на фасади з різних конструктивних матеріалів	18
2.3 Вогнестійкість та особливості поведінки склопакетів у пожежних умовах	26
2.4 Комплексне забезпечення пожежної безпеки фасадів і будівель	29
Висновок за розділом 2	32
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ (ПОКАЗНИКИ РУЙНУВАННЯ СВІТЛОПРОЗОРИХ КОНСТРУКЦІЙ ПІД ЧАС ПОЖЕЖІ)	35
3.1 Опис методу захисту фасадної світлопрозорої конструкції	35
3.2 Методика вогневого випробування	43
Висновок за розділом 3	66
РОЗДІЛ 4 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	68
4.1 Архітектурно-будівельні рішення	68
4.1.1 Рішення генплану	68
4.1.2 Організація рельєфу	70
4.1.3 Об'ємно-планувальні рішення	71
4.1.4 Архітектурно-конструктивні рішення	73
4.1.5 Теплотехнічний розрахунок	74

	3
4.1.6 Опорядження фасадів та внутрішніх приміщень	76
4.2 Технологічні рішення	77
4.2.1 Область застосування	77
4.2.2 Визначення складу робіт	79
4.2.3 Організація і технологія виконання робіт	80
4.2.4 Послідовність виконання робіт	83
4.2.5 Калькуляція трудовитрат та заробітної плати	85
4.2.6 Технологічний розрахунок та графік виробництва робіт	88
4.2.7 Техніко-економічні показники	89
Висновок за розділом 4	90
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	92
Висновок за розділом 5	101
ВИСНОВКИ	102
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	103
ДОДАТКИ	107
ДОДАТОК А – Протокол перевірки магістерської кваліфікаційної роботи	108
ДОДАТОК Б – Відомість графічної частини	109

ВСТУП

Актуальність теми.

У контексті сучасних архітектурних тенденцій в Україні спостерігається активне впровадження світлопрозорих конструкцій у житловому, громадському та промисловому будівництві. Такі елементи не лише покращують естетичні характеристики споруд, але й сприяють підвищенню рівня природного освітлення, інформативності фасадів та енергоефективності будівель.

До світлопрозорих конструкцій належать:

- віконні блоки;
- зовнішні прозорі огорожувальні системи;
- внутрішні перегородки;
- елементи скління дверей, воріт, фасадів;
- світлопрозорі покрівлі та куполи.

Ці конструкції можуть бути стаціонарними або трансформованими (розсувними, складними), що дозволяє адаптувати простір до функціональних потреб користувачів.

Найпоширенішим матеріалом для улаштування світлопрозорих конструкцій є силікатне скло, а також вироби на його основі, зокрема:

- листове прозоре скло (флоат-скло);
- армоване скло;
- багатошарове безпечне скло (триплекс);
- енергозберігаюче скло з низькоемісійним покриттям;
- прозорі будівельні блоки (склоблоки).

Силікатне скло характеризується високою міцністю, хімічною інертністю, стійкістю до атмосферних впливів, а також здатністю забезпечувати ефективну інсоляцію приміщень. Завдяки своїм оптичним властивостям воно сприяє зниженню потреби в штучному освітленні, що позитивно впливає на енергетичний баланс будівлі.

Застосування світлопрозорих конструкцій забезпечує низку переваг:

- **Естетична привабливість:** скло додає легкості, прозорості та сучасності архітектурному образу споруди.
- **Енергоефективність:** використання спеціального скла з низькою теплопровідністю дозволяє зменшити втрати тепла.
- **Функціональність:** можливість зонування простору без втрати освітлення.
- **Довговічність:** скляні конструкції мають тривалий термін експлуатації та не потребують складного обслуговування.
- **Екологічність:** скло є матеріалом, що підлягає вторинній переробці.

Метою даної МКР є комплексне визначення причин виникнення та аналіз наслідків загоряння фасадних систем, виготовлених із різних конструктивних матеріалів, на основі вивчення реальних випадків пожеж та результатів комп'ютерного моделювання. Особлива увага приділяється оцінці пожежної небезпеки фасадних конструкцій, виявленню критичних чинників, що сприяють поширенню вогню, та систематизації ризиків, які виникають під час пожеж у будівлях різного функціонального призначення.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити комплекс завдань, спрямованих на удосконалення підходів до оцінювання пожежної стійкості світлопрозорих фасадних систем висотних житлових будівель. Зокрема, передбачається:

- розробити алгоритм визначення необхідного та достатнього рівня стійкості світлопрозорого заповнення верхнього поверху щодо поверху, на якому виникла пожежа, з урахуванням сценарію її максимального розвитку. Алгоритм має враховувати інтенсивність теплового потоку, геометрію прорізів, швидкість висхідних конвективних потоків та вплив конструктивних елементів фасаду;
- створити методика проведення натурних вогневих випробувань світлопрозорих фасадів висотних житлових будівель з метою визначення їх фактичної пожежостійкості. Методика повинна містити вимоги до підготовки

зразків, процедури фіксації критичних параметрів, оцінки граничних станів та порівняння експериментальних результатів із нормативними критеріями;

- встановити характер просторового розподілу температурних полів по висоті фасаду будівлі під час розвитку пожежі до максимальних параметрів, включаючи визначення зон критичного температурного впливу на світлопрозорі конструкції;

- оцінити вплив міжповерхових поясів (парапетів, протипожежних відсічок) на ймовірність та інтенсивність вертикального поширення полум'я по площині світлопрозорого фасаду. Особлива увага приділяється ролі горизонтальних захисних елементів у зниженні теплового впливу на вищерозташовані поверхи;

- визначити залежність між площею віконного прорізу та фактичною висотою винесення полум'я вздовж фасаду будівлі, що дозволить уточнити умови теплового впливу на світлопрозорі конструкції та спрогнозувати їх потенційні граничні стани при високотемпературних потоках.

Об'єктом дослідження є світлопрозорі фасадні конструкції висотних житлових будівель, що функціонують як частина огорожувальної системи.

Предмет дослідження – пожежна стійкість світлопрозорих фасадних систем висотних будинків та їх здатність протистояти тепловому впливу відкритого полум'я під час пожежі.

Новизна роботи полягає у наступному:

- теоретично обґрунтовано алгоритм оцінювання стійкості світлопрозорих фасадних конструкцій під час розвитку пожежі у багатоповерхових житлових будівлях, що базується на аналізі теплових потоків, геометричних характеристик прорізів та параметрів газодинаміки;

- отримано узагальнені дані щодо вертикального розподілу температурних полів уздовж фасаду житлового будинку за умов максимального розвитку пожежі, що дозволяє прогнозувати теплове навантаження на конструкції, розташовані на суміжних поверхах;

- визначено критерії руйнування світлопрозорих заповнень, зокрема

температурні, механічні та деформаційні параметри, що характеризують настання граничних станів Н1 (втрата цілісності), Н2 (втрата теплоізолювальної здатності) та Н3 (втрата несучої здатності);

- встановлено залежність висоти винесення полум'я над віконним прорізом від площі зруйнованого заповнення, що має важливе практичне значення для прогнозування ризику пошкодження верхніх поверхів.

Теоретичне значення роботи полягає у:

- встановленні граничних станів та критеріїв руйнування світлопрозорих конструкцій під дією високотемпературних потоків під час пожежі у висотних житлових будівлях;

- визначенні залежності температурних полів по висоті фасаду від площі віконного прорізу приміщення – осередку пожежі, що дозволяє прогнозувати нагрів елементів фасадної системи;

- формуванні аналітичної залежності для прогнозування температурних полів уздовж фасадної площини залежно від середньооб'ємної температури у приміщенні, де виникла пожежа;

Публікації:

За результатами магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано 1 теза конференцій.

1. Томчук В. С., Швець В. В. Технології підвищення вогнестійкості світлопрозорих фасадних систем у сучасному будівництві. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції Енергоефективність в галузях економіки України-2025, Вінниця, 19-21 листопада 2025 р. Електрон. текст. дані. 2025. Режим доступу:

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2025/paper/viewFile/26446/2179>

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ПО ФАСАДНИХ КОНСТРУКЦІЯХ БУДІВЕЛЬ

1.1 Види фасадних світлопрозорих конструкцій (ФСК) будівель

У сучасному будівництві фасадні світлопрозорі конструкції (ФСК) займають провідне місце, оскільки вони поєднують функціональність, інноваційність і високі архітектурно-художні якості. Використання скла у фасадних системах забезпечує будівлям візуальну легкість, прозорість, сучасний дизайн та гармонійне поєднання з міським середовищем. Вони ефективно застосовуються як у новому будівництві, так і під час реконструкції об'єктів, підвищуючи їх естетичну та експлуатаційну цінність.

Фасадні системи мають універсальний характер: їх можна монтувати на будівлях будь-якої конфігурації, реалізуючи найскладніші проектні рішення. Світлопрозорі конструкції можуть розташовуватися як у вхідній зоні, так і на будь-якій іншій ділянці фасаду, забезпечуючи рівномірне природне освітлення приміщень та створюючи комфортне середовище для користувачів [1].

Особливу увагу під час проектування таких систем приділяють пожежній безпеці. Усі об'єкти цивільного будівництва належать до категорії пожежного навантаження класу «А» (тліючі та горючі матеріали), що потребує підвищених вимог до вогнестійкості фасадних елементів. У цьому контексті дослідження спрямовані на визначення сучасних методів оцінки вогнестійкості, аналіз експериментальних даних, виявлення чинників поширення вогню та розроблення ефективних засобів запобігання пожежам у ФСК.

Основні типи скла у світлопрозорих фасадних системах:

- Моностекло. Звичайне листове скло, що піддається термічній обробці при температурі до 700 °С, що підвищує його міцність.
- Армоване скло. Усередині конструкції розташована металева сітка, яка запобігає руйнуванню при механічних навантаженнях.

- Склопакети. Складаються з двох і більше шарів скла, з'єднаних дистанційною рамкою. Усередині може міститися інертний газ, що значно покращує теплоізоляційні властивості.

- Триплекс. Багатошарове скло з полімерним прошарком, який забезпечує високу безпеку при руйнуванні та стійкість до ударних навантажень.

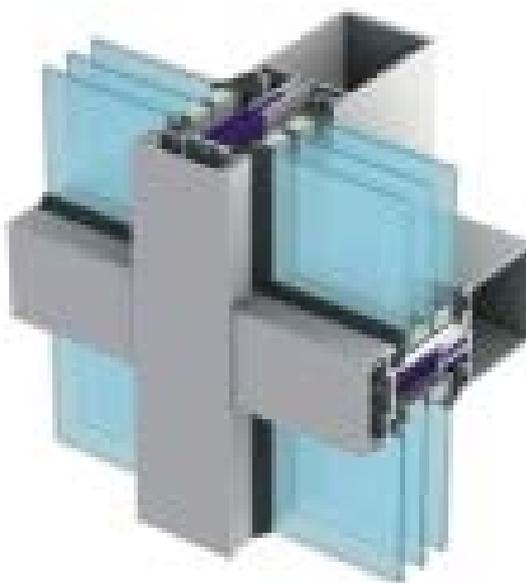
Залежно від дизайнерського рішення, ФСК можуть бути прозорими або тонованими.

- Прозоре скло має класичний вигляд, але відрізняється підвищеною міцністю та забезпечує захист майна і мешканців будівлі.

- Тоноване скло виконує функцію візуального бар'єра: зовні інтер'єр не проглядається, тоді як зсередини зберігається огляд навколишнього середовища.

Основні системи фасадного скління:

Стійко-ригельна система (рис. 1.1). Конструкція складається з вертикальних стояків і горизонтальних ригелів, які утримують скляні панелі. Зовнішня частина закривається декоративними планками, що формують сучасний і елегантний вигляд. Перевага полягає у широкій сфері застосування — від адміністративних до житлових будівель.



Риунок 1.1 – Стійко-ригельна система

Структурна система (рис. 1.2). Відмінною особливістю є відсутність видимих елементів кріплення. Скляні панелі приклеюються до каркасу герметиком, створюючи суцільну гладку поверхню. Такий фасад виглядає монолітним, елегантним та забезпечує високий рівень архітектурної виразності. Недоліком є вища вартість монтажу.



Риунок 1.2 – Структурна система

Навісні фасади зі скла. Скляні листи монтуються на каркас, який може містити системи теплоізоляції та вентиляції. Це забезпечує високі енергозберігаючі характеристики, що особливо важливо для офісних і промислових будівель.

Спайдерні системи (рис. 1.3). Кріплення здійснюється за допомогою спеціальних кронштейнів зі сталі (спайдерів). Відсутність рам та профілів дозволяє створювати абсолютно гладкі фасади, що візуально нагадують монолітну скляну стіну. Такі системи активно використовуються в будівлях із великими прольотами та у висотному будівництві.



Риунок 1.3 – Спайдерні системи

Отже, світлопрозорі фасадні конструкції є невід'ємною частиною сучасної архітектури, поєднуючи естетичність, надійність і технологічність. Вибір конкретного типу залежить від архітектурної концепції, функціонального призначення будівлі, вимог енергоефективності та пожежної безпеки.

1.2 Методи та теоретичні підходи до оцінювання стійкості фасадних світлопрозорих конструкцій у разі пожежі

Аналіз сучасних наукових досліджень, присвячених характеру руйнування скла під впливом високих температур, свідчить про існування низки ключових критеріїв, що визначають момент втрати його цілісності. На основі експериментальних досліджень було виділено три основні чинники, які зумовлюють руйнування світлопрозорих елементів фасадних та огорожувальних конструкцій [2]:

1. Досягнення критичного значення падаючого теплового потоку.
 - Для одно- та двокамерних склопакетів розміром $0,61 \times 0,61$ м та $0,91 \times 1,5$ м критичне значення становить 20–30 кВт/м².
 - Для листового скла розміром $0,5 \times 0,5$ м товщиною 3 мм цей показник складає всього 9 кВт/м² [1].
2. Різниця температур між відкритою та закритою частиною скла. Експериментально встановлено, що при зростанні температурного градієнта руйнування настає при таких значеннях:
 - 60 °С для скла товщиною 4 мм;
 - 95 °С для скла товщиною 5 мм;
 - 129 °С для скла товщиною 6 мм (розмір зразків – 370×270 мм) [2].
3. Температура на поверхні скла. Показники суттєво залежать від виду матеріалу:
 - 110 °С – для звичайного листового скла товщиною 6 мм;
 - 330–380 °С – для загартованого скла товщиною 6 мм;
 - 470–590 °С – для загартованого скла товщиною 10 мм [3].

Результати масштабних експериментів. У 2022 р. на базі було проведено великомасштабні випробування, присвячені дослідженню поведінки листового, загартованого та багат шарового скла при пожежах [4].

У ході дослідів застосовувалося листове скло завтовшки 4, 5 і 6 мм та розміром 1250×1605 мм. Теплове навантаження здійснювалося за стандартною температурною кривою пожежі (ISO 834). Результати показали:

- втрата цілісності листового скла товщиною 4–6 мм відбувалася при досягненні температури на необігріваній поверхні у діапазоні 90–128 °С;
- тепловий потік у момент руйнування становив 2,0–2,4 кВт/м² [5].

Ці результати підтверджують, що навіть порівняно низькі температури можуть стати критичними для скляних елементів, особливо у випадку їх використання у фасадних світлопрозорих системах.

Слід зазначити, що наведені критерії були отримані для випадків розвитку пожежі всередині приміщення та впливу температури на склопакет з внутрішнього боку. Водночас умови пожежі у верхніх поверхах будівель відрізняються: тепловий потік діє переважно ззовні, що може змінювати як критичні значення руйнування, так і характер пошкодження скла. Однак у науковій літературі відсутні систематизовані дані щодо поведінки склопакетів у таких умовах [2, 4].

Руйнування скляних елементів у вікнах, фасадних системах чи покрівельному склінні є визначальним етапом у прогресуванні пожежі. До моменту втрати цілісності світлопрозорої оболонки горіння підтримується за рахунок кисню, наявного у приміщенні. У міру його зменшення інтенсивність горіння природно знижується. Проте після руйнування скла відбувається приплив додаткового кисню, що призводить до різкого посилення горіння і може спричинити так званий «ефект факела» [1, 3, 5].

Таким чином, дослідження критеріїв руйнування скла в умовах пожежі є надзвичайно важливими для розроблення нормативних вимог до фасадних світлопрозорих конструкцій та підвищення рівня пожежної безпеки сучасних будівель.

Висновок за розділом 1

Узагальнюючи результати теоретичного аналізу та великомасштабних експериментальних досліджень, можна стверджувати, що руйнування скла в умовах пожежі зумовлюється комплексом взаємопов'язаних чинників, серед яких ключове значення мають критичний тепловий потік, температурний градієнт між частинами зразка та граничні температури на поверхні скла.

Встановлено, що критичні значення падаючого теплового потоку варіюють у широкому діапазоні: від 9 кВт/м² для листового скла товщиною 3 мм (0,5×0,5 м) до 20–30 кВт/м² для одно- і двокамерних склопакетів розмірами 0,61×0,61 м та 0,91×1,5 м. Отримані результати підтверджують безпосередню залежність термостійкості світлопрозорих конструкцій від товщини та конструктивної схеми скла.

Значущим фактором виявилася різниця температур між відкритою та закритою частиною скла, що становила: 60 °С для зразків товщиною 4 мм, 95 °С – для скла 5 мм та 129 °С – для скла 6 мм. При цьому площа досліджуваних зразків дорівнювала 370×270 мм. Подібна закономірність свідчить про зростання допустимих термонавантажень із підвищенням товщини скла.

Не менш важливим є вплив температури поверхні скла. Для звичайного листового скла товщиною 6 мм руйнування відбувалося при 110 °С, тоді як для загартованого скла зафіксовано значно вищі критичні значення: 330–380 °С для товщини 6 мм та 470 – 590 °С для товщини 10 мм. Це підтверджує перспективність застосування загартованих матеріалів у конструкціях підвищеної протипожежної безпеки.

У ході випробувань було визначено, що листове скло товщиною 4–6 мм (розмір 1250×1605 мм) втрачало цілісність при температурі на необігріваній стороні у межах 90–128 °С, тоді як тепловий потік не перевищував 2,0–2,4 кВт/м². Це свідчить про те, що для великих зразків характерні нижчі критичні параметри, ніж для малих лабораторних, що необхідно враховувати при прогнозуванні поведінки реальних будівельних конструкцій.

Окремо слід відзначити, що всі наведені критерії переважно стосуються випадків пожеж усередині приміщень. Для склопакетів, розташованих на фасадних поверхнях над осередком пожежі, умови теплового впливу істотно відрізняються, проте експериментальні дані з цього питання відсутні. Вказана наукова прогалина визначає напрям подальших досліджень.

Таким чином, отримані кількісні показники (тепловий потік 2–30 кВт/м², температурний градієнт 60–129 °С, температура руйнування скла 90–590 °С) мають важливе наукове та практичне значення. Вони становлять основу для удосконалення нормативних документів, сприяють підвищенню рівня протипожежної безпеки будівель та дозволяють більш обґрунтовано здійснювати вибір матеріалів для світлопрозорих огорожувальних конструкцій.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ФАСАДНИХ КОНСТРУКЦІЙ У УМОВАХ ВПЛИВУ ВОГНЕВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

2.1 Характерні особливості перебігу пожежі в безпосередній близькості до фасадних конструкцій

Розвиток пожежі по фасадних конструкціях будівлі зумовлюється низкою факторів, серед яких визначальними є: потужність осередку пожежі, горюче оздоблення фасаду, а також зовнішні умови (швидкість та напрям вітру, конвективні потоки), які сприяють підняттю полум'я на значну висоту [2–4].

Скло, як відомо, є негорючим матеріалом і не бере безпосередньої участі у поширенні полум'я по фасаду. Проте через низьку термостійкість воно здатне руйнуватися вже на ранніх етапах розвитку пожежі. У результаті цього утворюється шлях для виходу полум'я з приміщення через віконні прорізи, що може стати непрямим чинником поширення пожежі по фасаду будівлі [2–5].

При руйнуванні віконного заповнення відбувається інтенсивне надходження кисню до зони горіння. Це призводить до прискореного вигорання горючого навантаження та виділення значної кількості продуктів термічного розкладання. Частина цих продуктів, що не згоріла в об'ємі приміщення, викидається назовні крізь отвори, утворюючи конвективні та вітрові потоки з високою температурою, які піднімаються вздовж площини фасаду. Такий тепловий вплив викликає руйнування світлопрозорих заповнень на вище розташованих поверхах, спричиняючи ланцюговий перехід пожежі на верхні рівні будівлі [6–9].

При цьому дві пожежі, локалізовані одна над одною, мають тенденцію до взаємного підсилення, утворюючи більш потужні температурні поля. Як наслідок, поширення пожежі по фасаду набуває прогресуючого характеру із залученням не лише вертикально розташованих, а й горизонтально сусідніх приміщень. Тому одним з основних завдань системи пожежної безпеки є

запобігання виходу полум'я за межі приміщення або його переходу на суміжні поверхи.

Особливу роль у процесі поширення пожежі відіграє природна конвекція, яка формується через різницю температур між навколишнім повітрям та нагрітою сонячною радіацією площиною фасаду. Виникає вертикальний конвективний потік, спрямований вгору вздовж будівлі, що суттєво впливає на розвиток вогню [4].

Так, за результатами досліджень Ю.А. Табунщикова [10], для будівлі висотою 100 м при різниці температури між середовищем та поверхнею фасаду у 10 °С швидкість вертикального конвективного потоку сягає 3 м/с. Проте у сучасних методиках проектування [11] вертикальна складова вітру, як правило, не враховується, оскільки вважається малозначущою. Наприклад, на висоті 500 м швидкість вітру складає 9 м/с, а кут нахилу щодо горизонталі становить лише 2°, що практично не впливає на динаміку потоків у порівнянні зі швидкістю вітру 7 м/с біля землі [9].

З урахуванням наведених фактів можна стверджувати, що вертикальні конвективні потоки, що формуються уздовж фасадів висотних будівель, є важливим фактором поширення пожежі по вертикалі, особливо у випадках з наявністю великої кількості світлопрозорих елементів.

Для протидії поширенню вогню фасади будівель проектуються із застосуванням вогнестійких матеріалів або оснащуються спеціальними протипожежними бар'єрами, які перешкоджають переходу полум'я між поверхами [11]. Межа вогнестійкості світлопрозорих фасадів залежно від категорії будівлі та її поверховості встановлюється у межах E15–E30.

Забезпечення такої вогнестійкості досягається використанням вогнестійких склопакетів із заповнювачем на основі гелю, який при нагріванні зазнає фізико-хімічних змін (збільшення в'язкості, утворення пористої структури, зниження теплопровідності). Це дозволяє зменшити тепловий вплив на необігрівану поверхню склопакета та підвищує його стійкість (рис. 2.1).

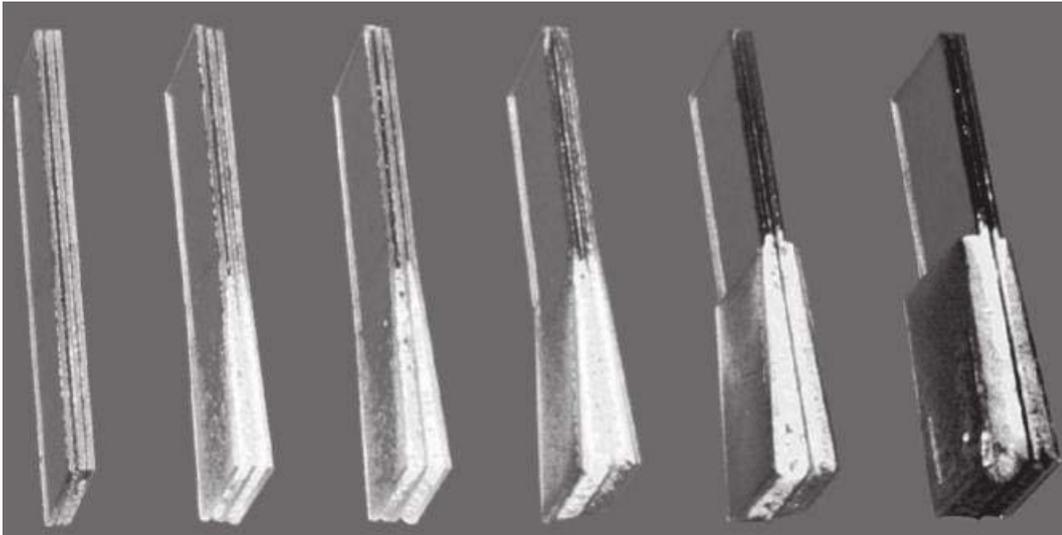


Рисунок 2.1 – Об'ємні зміни гелевого прошарку вогнестійкого склопакета

На практиці застосовуються дві технології виробництва вогнестійких склопакетів:

- багат шарова – включає декілька шарів скла товщиною 2–3 мм із прошарками гелю товщиною 1–2 мм (виробники: *Pilkington*, *AGC*, *Glas Trösch*) [12];
- гелезалівна – передбачає заповнення внутрішньої порожнини між двома загартованими стеклами вогнестійким гелем (поширена у РФ, виробники: «Фототех», «ДВР-Центр», «Гласспром») (рис. 2.2).

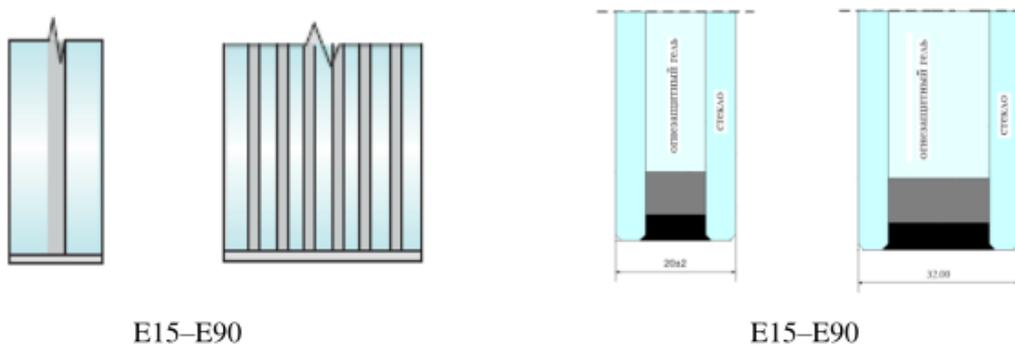


Рисунок 2.2 – Типи вогнестійких склопакетів: а) багат шарові; б) гелезалівні

Однак необхідно враховувати недоліки таких матеріалів. Наприклад, за даними Є.В. Зубкової [13], гелі, що використовуються у складі склопакетів

(AGC), є нестійкими до дії води та втрачають експлуатаційні характеристики при контакті з нею. Це створює проблему сумісності з водяними системами пожежогасіння.

Крім склопакетів, важливим елементом є каркас світлопрозорих фасадів. Стандартні алюмінієві профільні системи мають низьку межу вогнестійкості (R5–R10), оскільки при нагріванні до 200–250 °C втрачають міцність, а при 575–660 °C переходять у рідкий стан. Тому перевага надається сталевим або комбінованим профілям, які додатково посилюються термостійкими композиціями, армуванням, мінераловатними матеріалами, ущільнювальними термореактивними стрічками та фурнітурою з тугоплавких сплавів [14].

Альтернативним засобом локалізації пожежі є міжповерхові пояси з межею вогнестійкості, не меншою ніж у перекриття (EI45–60). Їх висота варіює у різних країнах: США – 0,914 м, Велика Британія – 1 м, Австралія – 0,9 м, Україна – 1,2 м [15].

У деяких проектах для компенсації зменшеної висоти поясів (900–1295 мм) застосовують системи водяного зрошення, однак їх ефективність у реальних пожежах поки не підтверджена.

Ще одним рішенням є протипожежні козирки, які відхиляють факел полум'я від площини фасаду. Наприклад, у США довжина козирка повинна становити не менше 0,762 м, в Австралії — 1,1 м, а за даними S. Yokoі [17], горизонтальна проекція довжиною 0,74 м здатна повністю захистити вище розташоване вікно від руйнування. Подібні результати були підтвержені комп'ютерним моделюванням, наведеним у роботі M. Pilar Giraldo та ін. [18].

2.2 Вплив вогню на фасади з різних конструктивних матеріалів

Широке застосування сучасних фасадних систем (ФС), зокрема навісних вентиляованих фасадів (НВФ), є важливим чинником вдосконалення архітектурного вигляду будівель та споруд, а також підвищення їх експлуатаційних характеристик. Використання подібних систем дозволяє не

лише досягати виразності архітектурних рішень, але й забезпечувати ефективний теплозахист, захист від атмосферних впливів та підвищення енергоефективності об'єктів.

Разом із тим, у наукових публікаціях [2–5] аргументовано підкреслюється наявність невирішених проблем, пов'язаних із забезпеченням пожежної безпеки фасадних систем. Наголошується, що протипожежні норми часто відстають від швидких темпів розвитку архітектурних і конструктивних рішень, що вимагає актуалізації нормативної бази.

У роботах [6–16] докладно розглянуто ключові проблеми, які виникають при експлуатації НВФ. Однією з найбільш критичних визначається небезпека поширення пожежі внаслідок застосування горючих матеріалів у конструкціях фасадних систем. Це стосується, зокрема, теплоізоляційних шарів, гідровітрозахисних мембран і облицювальних панелей.

Суттєвий науковий інтерес викликають дослідження, пов'язані з теплотехнічними та вологісними характеристиками огорожувальних конструкцій. Значний обсяг літератури [18–20] присвячено саме аналізу фасадних систем з вентиляваним зазором, що обумовлено різноманітністю їх конструктивних рішень та широким спектром будівельних матеріалів.

У публікації [17] узагальнено результати аналізу пожежної небезпеки фасадних систем. Розглянуто їх основні конструктивні елементи – несучий каркас, теплоізоляційний шар, гідровітрозахисні матеріали, облицювання – та наведено комплекс заходів, включаючи компенсуючі, спрямованих на підвищення рівня пожежної безпеки.

Дослідження, представлені у статтях [12], висвітлюють різні варіанти конструктивних рішень НВФ, що демонструє значний потенціал адаптації фасадних систем під різні архітектурні та інженерні завдання.

У публікації [21] наведено результати енергетичного аудиту будівель, обладнаних фасадними системами. Визначено рівень енергоспоживання, класи енергоефективності, розроблено рекомендації щодо зменшення енерговитрат та оптимізації теплового балансу.

Суттєвою є також робота [22], де розглянуто методику визначення гідравлічно оптимальних параметрів вентилярованих фасадів. У дослідженні [22] створено модель будівлі з НВФ у програмному середовищі TRNSYS, а параметри руху повітря розраховані за допомогою TRNFlow. Отримані результати було зіставлено з експериментальними даними, що дозволило підвищити точність прогнозування теплових та енергетичних характеристик фасадів, а також оцінити ефективність пасивних енергозберігаючих стратегій.

У статті [21] запропоновано методику визначення теплотехнічних параметрів вентилярованих фасадів як ручними розрахунками, так і шляхом комп'ютерного моделювання. Аналіз технологічних особливостей використання фасадних теплоізоляційних систем на основі «мокрих» процесів і систем з вентилярованим повітряним прошарком наведено у праці [19]. Показано, що за певних умов може відбуватися деградація теплоізоляційного шару, що впливає на довговічність та ефективність фасадної системи.

Варто підкреслити, що проблема поширення горіння по фасадах залишається недостатньо вивченою. Пожежна небезпека НВФ, як зазначено в [7], оцінюється за такими показниками:

- перевищення теплового ефекту від горіння чи термічного розкладання матеріалів із тривалістю понад 2 хвилини у проміжку від 7 до 35 хв;
- виникнення вторинних осередків займання тривалістю не менше 5 секунд;
- руйнування або обвалення конструктивних елементів масою понад 1 кг;
- площа пошкоджень матеріалів унаслідок дії високих температур.

Навісний вентиляований фасад є комплексною системою, тому неправильно пов'язувати ризики виникнення пожеж лише з одним його елементом. Причинами пожеж найчастіше стають неправильний вибір матеріалів та порушення технології виконання робіт, зокрема під час санації покрівель або інших ремонтних заходів. Аналіз наслідків резонансних пожеж

дозволив виокремити найбільш небезпечні фактори ризику та визначити оптимальні технологічні шляхи їх мінімізації (табл. 2.1).

Таким чином, сучасні наукові дослідження вказують на необхідність комплексного підходу до розробки та експлуатації фасадних систем із урахуванням не лише архітектурно-будівельних, а й пожежних та енергоефективних вимог.

Таблиця 2.1 – Фактори ризику при загорянні ФС

Фактори ризику	Технічні шляхи вирішення
1	2
Сильне задимлення (густий чорний їдкий дим, що виділяється при горінні утеплювача).	<ul style="list-style-type: none"> - зниження рівня виділення диму може бути досягнуто шляхом встановлення автоматичних спринклерних головок і обмеження використання горючих матеріалів в будівлі або в конструкції підлоги; - димовидалення може здійснюватися шляхом витяжки диму з атріуму як за допомогою zenітних прорізів, так і шляхом пристрою системи витяжної вентиляції, що дозволяє знизити концентрацію диму в верхній частині та обмежити його поширення в інші (суміжні) приміщення і т.п.; - обмеження використання утеплювача: пінополістирол - до 12 поверхів, мінеральні та силікатні системи - до 25 поверхів.
Горючі матеріали, що входять до складу системи НВФ. (Вогонь поширювався по фасадах, які були облицьовані АКП, що мають групи горючості Г4).	<ul style="list-style-type: none"> - в навісних фасадних системах слід застосовувати тільки композитні панелі, які успішно пройшли вогневі випробування в складі навісних фасадних систем; - при застосуванні в конструкціях горючих утеплювачів віконні та інші отвори по периметру слід обрамляють смугами шириною не менше 200 мм з мінераловатного негорючого утеплювача щільністю не менше 80-90 кг / м³; - обмеження використання утеплювача: пінополістирол - до 12 поверхів, мінеральні та силікатні системи - до 25 поверхів.
Повітряний зазор, що створює ефект тяги, що сприяє збільшенню швидкості поширення полум'я по фасаду будівлі.	<ul style="list-style-type: none"> - пристрій через кожні 6-9 м уздовж всього периметра будівлі сталевих горизонтальних розтинів, виконаних з тонколистової сталі товщиною не менше 0,55 мм, перекривають повітряний зазор і перешкоджають падінню палаючих крапель розплаву півки в разі можливої пожежі; - Точний розрахунок товщини повітряного зазору
Пожежна небезпека при використанні волого-вітрозахисних мембран.	<ul style="list-style-type: none"> - при застосування волого-вітрозахисних мембран в поєднанні з мінераловатними плитами, що мають "кешовану" зовнішню поверхню, суворо забороняється; - в зв'язку з цим, при проектуванні НВФ, від вітрозахисної півки необхідно або повністю відмовитися на користь більш досконалої теплоізоляції, або використовувати виключно негорючу мембрану; - влаштування протипожежного короба; - по висоті будівлі з певним кроком необхідна установка горизонтальних протипожежних отсечек вентиляованого фасаду.

Продовження табл. 2.1

1	2
<p>Обвалення облицювальних матеріалів в зону евакуації людей.</p> <p>Виліт скла з віконних прорізів в зону евакуації.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - установка над евакуаційними виходами з будівель навісів або козирків з негорючих матеріалів. Зазначені конструкції повинні перекривати всю ширину відповідного виходу. Довжина вильоту навісу від площини фасаду повинна становити не менше 1,2 м при висоті будівлі до 15 м і не менше 2 м при висоті більше 15 метрів; - збільшення кількості кляммерів поблизу віконних прорізів; - забезпечення кріплення кронштейнів фасадних систем безпосередньо до плит перекриття; - застосування поясів з пожежостійкість скління на висоту поверху вище і нижче протипожежного перекриття, включаючи застосування вогнестійких полімерних плівок.
<p>Монтажні, зварювальні, ремонтні роботи.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - використання сталевих елементів захисту по контуру віконних прорізів; - проектування протипожежних відсічок віконних прорізів. <p>При відстані між отворами по висоті менше 1,2 м, протипожежні відсічення виконуються по всьому периметру вікна. При відстані більше 1,2 м - нижня горизонтальна відсічення НЕ монтують.</p>
<p>Недотримання нормованого відстані між будівлями. Відсутність пожежних проїздів</p>	<ul style="list-style-type: none"> - застосування протипожежних завіс; - при проектуванні проїздів забезпечити можливість проїзду пожежних машин до будинків комплексу з усіх боків.

Чинні протипожежні нормативи України та міжнародні стандарти встановлюють підвищені вимоги до зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель висотою понад два поверхи, що суттєво обмежує або регламентує застосування горючих теплоізоляційних матеріалів у системах зовнішнього утеплення. Особлива увага приділяється фасадним системам, які за умов пожежі можуть виступати шляхом інтенсивного вертикального поширення полум'я та теплового впливу на суміжні поверхи будівлі.

Водночас існуючі підходи до оцінювання пожежної небезпеки фасадних систем не повною мірою враховують специфіку розвитку пожежі по зовнішній поверхні будівель. Зокрема, недостатньо враховується взаємодія суцільного теплоізоляційного шару, облицювання та підконструкції за дії вихідного факела полум'я з віконних прорізів, а також вплив вітрового навантаження, геометрії фасаду та дефектів монтажу.

Результати експериментальних досліджень і натурних вогневих випробувань свідчать, що традиційні методи класифікації будівельних матеріалів за показниками горючості, димоутворення та токсичності не завжди

забезпечують адекватне прогнозування реальної пожежної загрози для людей, несучих конструкцій і шляхів евакуації. Рівень пожежної небезпеки фасадних систем формується сукупністю факторів, серед яких ключову роль відіграють конструктивна схема утеплення, сумарна кількість горючих компонентів, спосіб їх кріплення, характер стиків та взаємодія елементів системи під час пожежі.

Відповідно до чинних нормативних документів, класифікація будівель за показниками пожежної небезпеки та умови випробувань фасадних систем базуються на виконанні таких критеріїв:

- пожежне навантаження в приміщеннях не перевищує 700 МДж/м^2 (що відповідає приблизно 50 кг/м^2 у перерахунку на деревину), а умовна тривалість пожежі становить не більше 35 хв;
- відстань між верхом віконного прорізу та підвіконням вищерозташованого поверху має бути не меншою за 1,2 м;
- сумарна кількість горючих матеріалів у складі теплоізоляційного та декоративно-оздоблювального шарів не повинна перевищувати 200 МДж/м^2 площі зовнішньої стіни (без урахування площі прорізів).

Зазначені параметри охоплюють практично всі житлові будівлі та більшість громадських споруд, у яких системи фасадного утеплення застосовуються найбільш широко.

Пожежна небезпека навісних та штукатурних фасадних систем визначається сукупністю ознак, що фіксуються під час вогневих випробувань, зокрема:

- наявністю теплового ефекту від горіння або термічного розкладання матеріалів, який проявляється у вигляді підвищеного тепловиділення чи температур протягом понад 2 хв у проміжку 7–35 хв від початку випробування;
- виникненням вторинних джерел запалювання у вигляді осередків полум'я з безперервною тривалістю горіння не менше 5 с;
- обваленням елементів фасадної конструкції або їх частин масою 1,0 кг і більше;

- характером та масштабами пошкоджень, зокрема відшаруванням облицювання, руйнуванням теплоізоляції, відкриттям її поверхні безпосередній дії полум'я.

Узагальнено фасадні системи утеплення доцільно поділяти на дві базові групи:

1. штукатурні системи зовнішньої теплоізоляції (ETICS), у яких переважають «мокрі» технологічні процеси;
2. навісні вентильовані фасади (НВФ), що мають повітряний зазор між теплоізоляцією та облицювальним екраном.

Для штукатурних систем характерним є використання полімерних утеплювачів, зокрема пінополістиролу або окремих різновидів пінополіуретану. Основним пожежним ризиком таких систем є можливість швидкого вертикального поширення пожежі при виході факела полум'я з віконного прорізу. За відсутності спеціальних конструктивних заходів фасад у цьому випадку стає шляхом передачі теплового впливу на верхні поверхи. З метою зниження пожежної небезпеки необхідно передбачати окантовки віконних і дверних прорізів з негорючих матеріалів, а також поверхові протипожежні пояси з мінераловатних плит. За відсутності таких розтинів пожежна небезпека суттєво зростає, особливо через можливе прогорання або відпадання штукатурного шару з полімервмісними декоративними покриттями.

Мінераловатні плити, що застосовуються для влаштування протипожежних розтинів, повинні мати температуру плавлення волокон не нижче 1000 °С, оскільки температура факела, який виходить з віконного прорізу під час реальної пожежі, може досягати або перевищувати зазначені значення. Це обґрунтовує обмеження щодо використання скловолокнистих теплоізоляційних матеріалів з нижчою температурою плавлення. Додатково важливим є підтвердження пожежно-технічних характеристик полімерних утеплювачів, зокрема показників горючості, димоутворювальної здатності та токсичності продуктів горіння, а також забезпечення тріщиностійкості

декоративно-захисного шару, оскільки тріщини та відшарування сприяють інтенсифікації горіння.

Навісні вентилязовані фасади характеризуються наявністю повітряного зазору та складнішою конструктивною схемою. Підконструкції НВФ виконують з алюмінієвих сплавів, вуглецевих сталей із захисними покриттями або корозійностійкої сталі. Типовими матеріалами облицювання є керамогранітні плити, алюмінієві композитні панелі, фіброцементні листи, металеві касети та інші індустриальні елементи. Як теплоізоляцію, як правило, застосовують негорючі мінераловатні плити щільністю 80–140 кг/м³, а для гідровітрозахисту – кашировані плити або паропроникні полімерні мембрани.

Найбільш вразливим елементом НВФ з погляду пожежної стійкості є підконструкція. Алюмінієві елементи істотно втрачають несучу здатність при температурах понад 600 °С, а тонколистові сталеві профілі можуть зазнавати значних деформацій, що призводить до втрати цілісності фасадного екрана. За результатами стендових і натурних випробувань найбільш надійними в умовах пожежі є системи на сталевих каркасах. У зонах віконних прорізів доцільно застосовувати сталеві елементи захисту та посилене кріплення облицювання, зокрема з використанням додаткових кляймерів. Для комбінованих систем з алюмінієвими напрямними рекомендовано передбачати сталеві елементи над вікнами та поблизу відкосів, а також враховувати ризик утворення палаючого розплаву, який може стати вторинним джерелом займання нижчих поверхів або суміжних конструкцій.

Аналіз практики пожеж і резонансних аварійних подій підтверджує, що розвиток пожежі по фасаду є одним із найбільш небезпечних сценаріїв і залежить від поєднання матеріалів, конструктивних рішень, якості проєктування та монтажу, наявності протипожежних відсічок і умов гасіння. Типові параметри переходу пожежі через віконні прорізи включають вихід полум'я назовні через 10–15 хв від початку пожежі, середню висоту факела 2,5–3,0 м, максимальну — до 4–6 м, теплову потужність порядку 1–2 МВт, а перехід пожежі з поверху на поверх через вікна може відбуватися вже через 15–20 хв.

Отже, пожежна небезпека фасадних систем визначається не лише групою горючості застосованих матеріалів, але й конструктивним виконанням системи, стійкістю підконструкції, характером вузлів примикання, наявністю та ефективністю протипожежних розтинів, а також фактичними параметрами пожежі. Основними шляхами поширення пожежі між поверхами є займання горючих компонентів фасаду, тепловий вплив вихідного факела з вікон, проникнення полум'я та диму через стики і технологічні отвори, а також утворення палаючих крапель або розплавів, що сприяють поширенню пожежі вниз по фасаду.

2.3 Вогнестійкість та особливості поведінки склопакетів у пожежних умовах

У конструкції віконного блоку найбільш уразливим елементом є склопакет, оскільки саме він першим піддається інтенсивному тепловому впливу під час пожежі. Ключова небезпека полягає в обмеженій жаростійкості звичайного силікатного скла: за дії теплового випромінювання та відкритого полум'я воно швидко нагрівається, зазнає нерівномірних температурних деформацій, внаслідок чого в склі виникають напруження, що призводять до його тріщиноутворення та подальшого руйнування.

Після руйнування склопакета віконний отвір фактично втрачає функції протипожежного бар'єра і перетворюється на канал інтенсивного доступу кисню ззовні. Це сприяє різкому наростанню інтенсивності горіння, активації конвективних потоків та збільшенню площі займання в межах приміщення. У результаті навіть локальне загоряння може за короткий проміжок часу перейти у масштабну пожежу, оскільки через зруйнований склопакет створюються сприятливі умови для розвитку повітряно-паливної суміші та підтримання високої температури в осередку горіння [1–4].

З метою запобігання руйнуванню склопакетів застосовуються спеціальні плівки, які у декілька разів підвищують ударостійкість скла та перешкоджають

обсипанню осколків у разі розтріскування. Виробники сучасних світлопрозорих систем посилюють їх міцність шляхом використання:

- загартованого скла, здатного витримувати підвищені температури;
- армованого скла, що забезпечує додаткову механічну стійкість;
- порожнистих склоблоків, які знижують теплопровідність;
- вогнезахисних фарб та плівок, що стримують поширення

полум'я [2].

Найбільш безпечними вважаються склопакети, які витримують вплив високих температур не менше 10 хвилин — часу, достатнього для прибуття пожежно-рятувальних підрозділів (рис. 2.3) [3].



Рисунок 2.3 – Багатошарове скло з розширюються проміжними шарами

Разом із тим, при температурі понад 400 °С можливе займання пластикових елементів профілю. Процес горіння супроводжується виділенням шкідливих речовин, однак кількість чадного газу значно менша, ніж при згоранні меблів, тканин чи побутової техніки. Це підтверджують експериментальні дослідження, які показали, що рівень токсичності продуктів горіння ПВХ-вікон не перевищує критичних показників у перші хвилини пожежі [4]. Таким чином, віконні системи з полівінілхлориду не становлять суттєвої небезпеки завдяки низькій пожежонебезпеці, відсутності здатності підтримувати горіння та наявності протипожежних добавок у складі матеріалу [5].

Механізм руйнування скла базується на виникненні внутрішніх напружень, які не можуть компенсуватися пластичною деформацією. Внаслідок цього при нагріванні або ударі скло руйнується. Ключовими критеріями є:

- досягнення критичного значення теплового потоку (20–30 кВт/м² для склопакетів середніх розмірів);
- різниця температур між відкритою та закритою частинами скла (60–129 °С залежно від товщини);
- температура на поверхні скла (110 °С для звичайного, 330–590 °С для загартованого) [2–6].

Експерименти, проведені у 2022 р. показали, що листове скло товщиною 4–6 мм руйнується при досягненні температури 90–128 °С на необігріваній стороні та при тепловому потоці 2–2,4 кВт/м² [7].

Випробування також довели, що звичайне скло руйнується через 3–4 хв після впливу вогню, тоді як загартоване може витримати 15–25 хв залежно від умов встановлення. Армоване скло демонструє ще вищу стійкість: воно розтріскується при 200 °С, однак не утворює наскрізних тріщин, а при температурі 870 °С починає випадати з палітурок через власну деформацію (рис. 2.4) [8].



Рисунок 2.4 – Зразки вогнестійкого багатошарового скла AGC Pyrobel після впливу вогню

Сучасні виробники також застосовують багат шарове вогнестійке скло, у якому проміжні шари під дією високої температури спучуються, утворюючи непрозору теплоізоляційну піну. Це значно підвищує стійкість панелей до теплового випромінювання і дозволяє зберегти цілісність фасадної оболонки на триваліший час (рис. 1.8) [9].

2.4 Комплексне забезпечення пожежної безпеки фасадів і будівель

Руйнування світлопрозорих фасадних конструкцій істотно впливає на розвиток пожежі. Втрата цілісності склопакетів сприяє виходу полум'я на зовнішню поверхню будівлі, що може призвести до поширення вогню на верхні поверхи. До того моменту, поки склопакети залишаються цілими, інтенсивність горіння обмежена кількістю кисню всередині приміщення. Проте після їх руйнування відбувається різке надходження кисню ззовні, що значно прискорює процеси горіння [1,5,10].

Для забезпечення комплексної пожежної безпеки світлопрозорих конструкцій використовуються спеціалізовані профільні системи. Вони передбачають заповнення камер усередині профілів вогнетривкими композитними матеріалами, що дозволяє підвищити межу вогнестійкості до 30–90 хв залежно від конструкції (рис. 2.5) [9].

Водночас важливо враховувати і вплив небезпечних факторів пожежі на людину. До них належать [26]:

- висока температура (порогові значення 60–70 °С при високій вологості);
- токсичні продукти горіння, серед яких найбільш небезпечним є оксид вуглецю (при концентрації 0,5% летальний ефект настає через 20 хв, а при 1,3% — протягом 2–3 вдихів);
- зниження концентрації кисню в приміщенні до 10–11%, що спричиняє смертельну небезпеку протягом кількох хвилин [4].

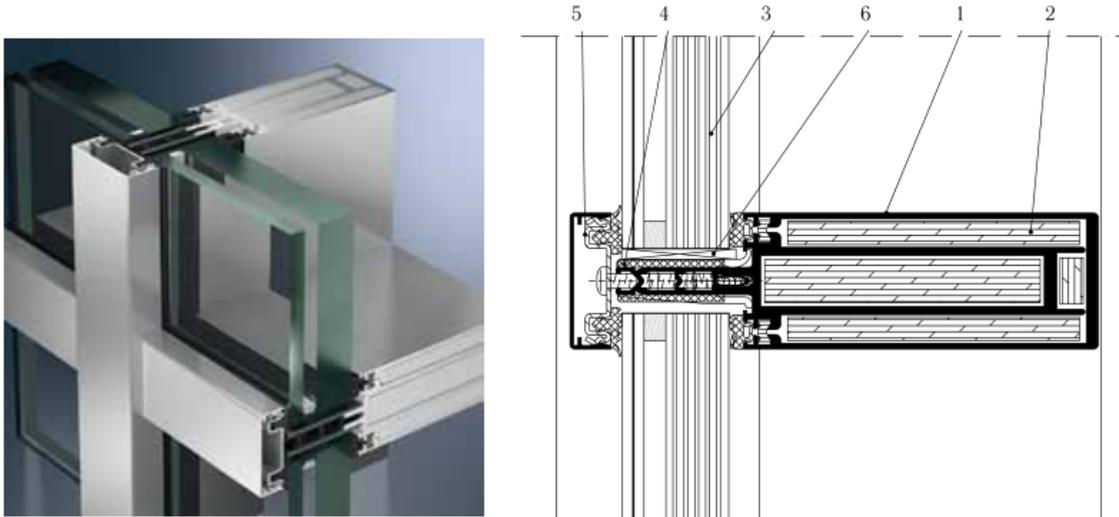


Рисунок 2.5 – Конструктивне рішення вогнестійкого світлопрозорого алюмінієвого фасаду з межею вогнестійкості 60 хвилин. 1 – алюмінієвий несучий профіль; 2 – вогнестійкі ізолювальні вставки, розміщені у порожнистих камерах профілю для запобігання теплопередачі; 3 – вогнетривке багат шарове скло, призначене для стримування термічного впливу протягом нормативного часу; 4 – термоспінювальна стрічка, встановлена вздовж ізолятора гвинтового каналу, яка активується при підвищенні температури та забезпечує герметизацію шва; 5 – сталева притискна планка, що фіксує світлопрозорий елемент у профільній системі; 6 – підкладка під склопакет, виготовлена з твердих негорючих матеріалів, яка забезпечує рівномірний розподіл навантаження та стійкість конструкції під час пожежі.

З метою зниження ризиків сучасні адміністративні будівлі обладнують автоматизованими системами пожежогасіння та димовидалення. Вони спрацьовують одночасно з моменту виявлення задимленості датчиками і забезпечують:

- інтенсивне видалення продуктів горіння через вентиляційні вікна з електричними або пневмоприводами;
- створення умов для ефективної роботи систем пожежогасіння;

- охолодження підпокрівельного простору, що є важливим не лише під час пожежі, але й у літній період для підтримання комфортного мікроклімату (рис. 2.6, 2.7) [3].

Таким чином, сучасна концепція пожежної безпеки скляних фасадів повинна ґрунтуватися на комплексному підході: використанні вогнестійкого скла, спеціальних профільних систем та інтегрованих систем протидимного захисту. Лише сукупність цих заходів може гарантувати захист життя людей та збереження конструктивної цілісності будівлі в умовах пожежі [2; 9; 10].

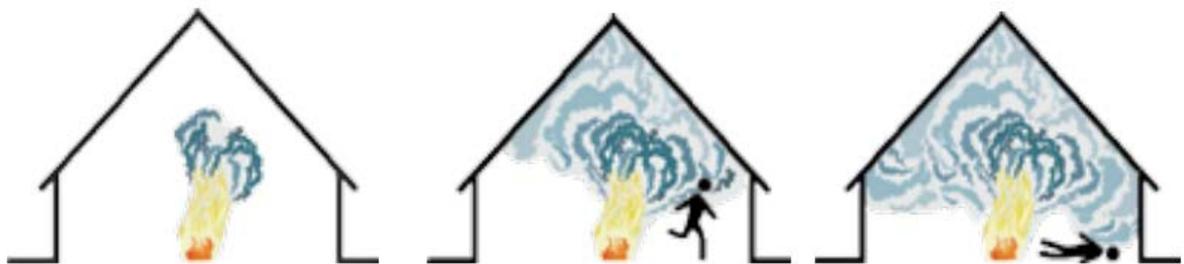


Рисунок 2.6 – Розвиток пожежі в будівлі, який не має системами димовидалення. Отруєння людини продуктами згоряння при пожежі

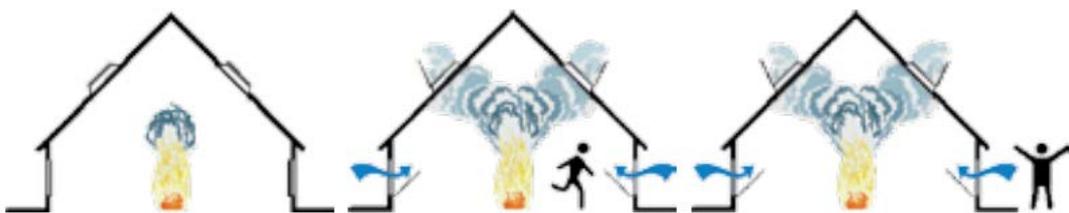


Рисунок 2.7 – Видалення продуктів згоряння через світлопрозорі конструкції, обладнані системами димовидалення

Висновок за розділом 2

Аналіз представленої матеріалу свідчить, що пожежна небезпека фасадних конструкцій є комплексною проблемою, яка визначається поєднанням архітектурно-конструктивних рішень, властивостей матеріалів та умов розвитку пожежі. Ключовими факторами поширення вогню по фасаду є: вихід полум'я крізь світлопрозорі елементи (вікна), утворення інтенсивних конвективних потоків, застосування горючих утеплювачів та облицювальних матеріалів, а також недосконалість конструктивного захисту у вигляді протипожежних відсічок і поясів.

Встановлено, що навіть негорючі матеріали, такі як скло чи алюмінієві профілі, у пожежних умовах не забезпечують належного бар'єрного ефекту: скло руйнується на ранніх стадіях горіння, а алюміній втрачає міцність вже при температурах 200–250 °С. Це відкриває шлях для виходу полум'я та продуктів горіння на фасад, спричиняючи прогресуюче поширення пожежі на верхні й сусідні поверхи. Особливо небезпечними є умови, коли дві пожежі розташовані одна над одною: у такому випадку відбувається взаємне підсилення теплових потоків та формування розширених зон займання.

Значну увагу приділено фасадним системам із використанням теплоізоляційних матеріалів. Навісні вентильовані фасади (НВФ) демонструють високі показники енергоефективності, проте їхня пожежна безпека суттєво залежить від вибору утеплювача та захисних мембран. Використання полімерних матеріалів, таких як пінополістирол чи поліуретан, створює ризик утворення густого токсичного диму, ефекту тяги у вентильованому зазорі та швидкого поширення полум'я по вертикалі будівлі. Практика показує, що навіть обмеження нормативами (наприклад, застосування пінополістиролу лише до 12 поверхів) не завжди запобігає пожежам катастрофічного масштабу.

Особливу небезпеку становлять штукатурні фасадні системи з полістирольними утеплювачами, які здатні інтенсифікувати перекидання полум'я на верхні поверхи. Відсутність протипожежних поясів і окантовок з

мінераловатних плит багаторазово збільшує ризик руйнування таких систем. Натомість мінераловатні матеріали з температурою плавлення понад 1000 °С забезпечують надійний бар'єр, здатний витримати тепловий вплив факела полум'я, що виходить з віконного прорізу.

Систематизація результатів наукових і прикладних досліджень у сфері пожежної безпеки будівельних фасадів засвідчує, що підвищення їхньої вогнестійкості є можливим лише за умови впровадження комплексного інженерного підходу, який включає такі основні напрями:

- застосування негорючих або слабкогорючих матеріалів, підтверджених відповідними протоколами випробувань на горючість, токсичність продуктів горіння та поширення полум'я;
- влаштування міжповерхових протипожежних поясів класу EI 45–60 та захисних козирків нормативної довжини (0,74–1,2 м залежно від національних стандартів), що забезпечують переривання шляху вертикального поширення полум'я;
- конструктивне підсилення фасадних каркасів шляхом використання сталевих профілів, термостійких ізоляційних елементів і спеціальних вузлів кріплення, здатних зберігати несучу та огорожувальну здатність за високих температур;
- обмеження або повну відмову від застосування полімерних утеплювачів у висотному будівництві, де теплові потоки під час пожежі характеризуються підвищеною інтенсивністю та тривалістю;
- проектування протипожежних відсічок у вентиляованих фасадах, встановлених із вертикальним кроком 6–9 м, що запобігає утворенню «димових труб» та прискореному поширенню вогню у повітряному зазорі;
- забезпечення ефективного димовидалення, доступності пожежної техніки та оперативного втручання під час ліквідації пожежі, що є критично важливими для будівель значної висоти та щільної міської забудови.

Таким чином, сучасні фасадні системи поєднують у собі низку безперечних переваг – високу енергоефективність, естетичну виразність, можливість швидкого монтажу, довговічність матеріалів. Проте поряд з ними існують і значні ризики пожежної небезпеки, пов'язані зі складністю їхньої конструкції, наявністю полімерних компонентів та утворенням повітряних каналів, які за певних умов сприяють інтенсивному поширенню полум'я.

Вирішення зазначених проблем можливе лише через:

- актуалізацію нормативної бази відповідно до сучасних міжнародних підходів,
- впровадження інноваційних вогнестійких матеріалів і конструктивних рішень,
- посилення контролю за якістю проектування, монтажу та експлуатації,
- розвиток експериментальних методик, включаючи повномасштабні вогневі випробування,

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ (ПОКАЗНИКИ РУЙНУВАННЯ СВІТЛОПРОЗОРИХ КОНСТРУКЦІЙ ПІД ЧАС ПОЖЕЖІ)

3.1 Опис методу захисту фасадної світлопрозорої конструкції

Встановлення переліку та ефективності компенсуючих заходів є важливим етапом системи забезпечення пожежної безпеки світлопрозорих фасадів. На основі аналізу експериментальних досліджень, нормативних вимог та практичного досвіду експлуатації висотних будівель сформовано такі ключові напрями застосування компенсуючих рішень [27]:

- внутрішнє зрошення скління світлопрозорих конструкцій на поверсі пожежі з метою зниження температури склопакета та стримування процесу його руйнування;
- забезпечення нормативної вогнестійкості елементів кріплення склопакета, включно з термостійкими опорними підкладками, герметиками та фіксувальними профілями;
- улаштування протипожежних відсічок, екранів та облицювань, призначених для локального обмеження температури зовнішнього факела та захисту несучих і кріпильних елементів фасадної системи;
- вогнезахисна обробка внутрішніх порожнин декоративних елементів та вогнегороджувальних поясів, що мінімізує можливість розповсюдження полум'я всередині каналів і порожнин;
- оцінювання доцільності та оптимізація поєднання зазначених заходів на стадії проектування з урахуванням конструктивних особливостей, поверховості та типу світлопрозорих елементів фасаду.

У спеціальних технічних умовах (СТУ), які є нормативно-правовою основою для проектування протипожежного захисту об'єкта, вимоги щодо світлопрозорих фасадних систем формулюються таким чином:

- забезпечити обмеження поширення пожежі між поверхами протягом щонайменше 60 хвилин;
- застосовувати вогнезахисні заходи для металевих кріпильних елементів світлопрозорих фасадів з межею вогнестійкості не менше R 60;
- використовувати вогнезахисні покриття та просочення, що перешкоджають поширенню полум'я по внутрішніх поверхнях декоративних елементів;
- застосовувати вогнестійке скління із межею вогнестійкості не менше E 60;
- у разі використання традиційного (невогнестійкого) скління — розробити додаткові заходи, що гарантують нерозповсюдження пожежі з поверху на поверх протягом 60 хвилин;
- усі прийняті інженерні рішення повинні бути підтверджені розрахунками, моделями та результатами вогневих випробувань.

Для визначення здатності будівельної конструкції протистояти вогневному впливу використовується показник межі вогнестійкості, що визначає час (у хвилинах), протягом якого елемент зберігає працездатність за стандартних умов випробування відповідно до температурної кривої ISO 834.

Нормативні документи визначають такі групи граничних станів:

- R – втрата несучої здатності (руйнування, втрата стійкості);
- I – втрата теплоізоляційної здатності (перевищення середнього підвищення температури на «холодній» поверхні понад 140 °C);
- E – втрата цілісності (утворення наскрізних тріщин, отворів або проникнення полум'я/продуктів горіння);
- W – перевищення гранично допустимого теплового потоку на нормованій відстані.

Слід зазначити, що нормативна база щодо оцінювання вогнестійкості світлопрозорих фасадів та великопрольотних покриттів залишається недостатньо розробленою. На практиці основним критерієм проектування є забезпечення безпечної евакуації людей до моменту можливого прогресуючого обвалення фасадної оболонки, а межа вогнестійкості світлопрозорих конструкцій найчастіше оцінюється за критерієм Е – втрата цілісності.

Одним із сучасних інженерних рішень є підвищення вогнестійкості алюмінієвих профілів шляхом заповнення їх центральних камер спеціальними термостійкими та теплопоглинальними композиціями, що містять армувальні елементи. У результаті:

- алюмінієвий профіль зберігає естетичність, корозійну стійкість і мінімальну видиму ширину,
- значно підвищується його жорсткість і стійкість до одностороннього нагрівання,
- компенсуються згинальні моменти, що виникають унаслідок температурної деформації,
- досягаються мінімальні прогини, які дозволяють улаштувати склопакети великих розмірів (>2 м) у протипожежних конструкціях.

Як світлопрозоре заповнення використовуються багат шарові композиційні стекла типу «Щит М» і склопакети на їхній основі. Основу конструкції становлять два або більше шари флоат-скла, розділених спеціальною гелевою термоспінювальною композицією.

Механізм забезпечення вогнестійкості склоблока:

1. При нагріванні першого скла до ≈ 200 °С термореактивна композиція починає спінюватися та опалесцювати.
2. У разі утворення тріщин у першому шарі гель розширюється у 5–10 разів, заповнюючи їх і забезпечуючи герметизацію.
3. Спінений шар блокує тепловий потік і обмежує нагрівання наступного скла.

4. За зростання температури аналогічний процес відбувається у наступних шарах, створюючи багатоступеневий тепловий бар'єр.

Таким чином, другий і наступні шари не перегріваються, не руйнуються і ефективно стримують теплове випромінювання та проникнення диму, забезпечуючи необхідний рівень пожежного захисту.

Після проходження сертифікаційних випробувань можливе застосування також інших типів вогнестійкого скління, зокрема таких, як Fireswiss Foam, що забезпечує клас вогнестійкості EI 90 для дверей і перегородок.

Світлопрозорі конструкції випробовуються на вогнестійкість за «Тимчасовою методикою випробувань» (ВНШПО, 1996) із застосуванням стандартного температурного режиму згідно з п. 6 [14]. Випробування проводяться за умов одностороннього нагрівання, що відповідає реальній дії полум'я при зовнішній пожежі.

Метою випробування є визначення часу до:

- втрати цілісності (E),
- втрати теплоізоляційної здатності (I).

Низка нормативів передбачала обов'язкове улаштування:

- вогнестійких підвіконь висотою не менше 90 см;
- надвіконних перемичок, нижня грань яких повинна розташовуватися не ближче ніж 25 см до стелі;
- незалежного кріплення вогнестійких плит до міжповерхового перекриття.

Висота протипожежного поясу при таких рішеннях відповідає типовим конструктивним схемам висотних будівель і забезпечувала локалізацію вертикального поширення пожежі за рахунок окремого кріплення фасадних елементів до перекриттів (рис. 3.1).

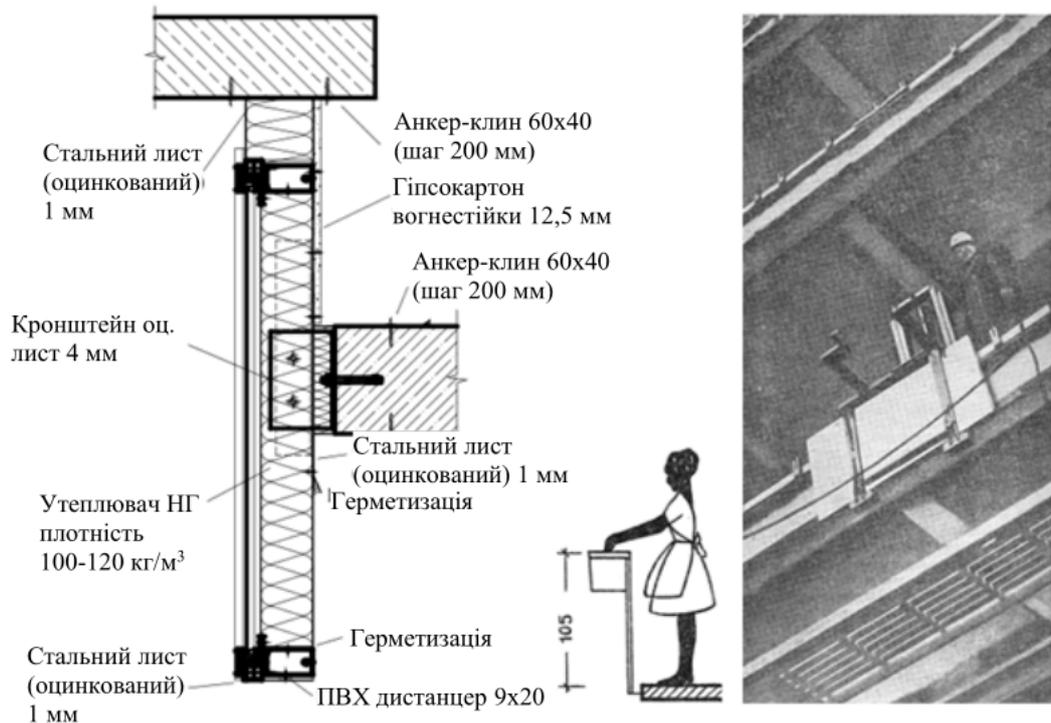


Рисунок 3.1 – Конструктивне рішення протипожежних поясів в світлопрозорих фасадах.

Запровадження зазначених конструктивних рішень дозволяло ефективно запобігати вертикальному поширенню полум'я по висоті багатоповерхових будівель із зашкеленими фасадами, а також мінімізувати ризик падіння людей з висоти у стані паніки, навіть за умов часткового або прогресуючого руйнування навісних фасадних систем [18].

У сучасних світлопрозорих фасадних системах вогнестійкий міжповерховий пояс висотою не менше 900 мм виконується переважно у вигляді непрозорих сендвіч-панелей на основі негорючих утеплювачів, обрамлених декоративним облицюванням — тонованим загартованим склом, керамогранітом або іншим матеріалом. Таке рішення дозволяє забезпечити необхідний рівень вогнестійкості без порушення загальної архітектурної концепції фасаду, надаючи архітектору широкі можливості для формування єдиного стилістичного образу будівлі.

Одним із способів підвищення пожежної стійкості світлопрозорих конструкцій є встановлення протипожежного коробу. Під цим елементом

розуміють металеве обрамлення дверних і віконних прорізів, конструкція якого може бути як збірною, так і монолітною.

Кріплення елементів виконується анкерним способом, що гарантує надійність з'єднання під час дії високих температур. Під сталевий профіль закладається шар негорючої мінераловатної плити, яка виконує функцію теплового бар'єра. У разі загоряння вентиляованого фасаду протипожежний короб істотно ускладнює проникнення полум'я у внутрішні приміщення будівлі, перешкоджаючи деформації отвору та локалізуючи термічний вплив.

Додатковим інженерним заходом є улаштування протипожежних розтинів (відсічок) по всій висоті фасаду. Вони встановлюються через визначені інтервали та створюють конструктивні бар'єри, що гальмують переміщення факела полум'я у повітряному зазорі вентиляованого фасаду.

Такі рішення мають особливе значення, оскільки загоряння вітрозахисної мембрани або облицювальних шарів може спричинити руйнування усєї фасадної системи. Протипожежні відсічення частково перекривають повітряний прошарок, зменшують тягу, стримують рух гарячих газів і розпечених часток.

У низці рішень використовуються перфоровані металеві елементи, що здатні затримувати розжарені краплі матеріалів, які плавляться при пожежі, та перешкоджати їх поширенню.

Важливо, щоб такі елементи відповідали як конструктивним вимогам навісних фасадів, так і регламентам протипожежного захисту. Проте сучасні альбоми технічних рішень часто не містять чітких рекомендацій щодо розмірів перфорації та конфігурації відсічок, що потребує додаткових досліджень та стандартизації.

У будинках, де перші поверхи відведено під комерційні об'єкти, виникає потреба у підвищеному рівні пожежного розділення між ними та житловими поверхами. Це пов'язано з тим, що торгові площі зазвичай мають значно більший клас пожежного навантаження, а відповідно – вищий ризик виникнення пожежі.

Тому при проєктуванні необхідно передбачати:

- протипожежні розтини на межі поділу функціональних зон,

- незалежне кріплення фасадних елементів у зонах з підвищеною пожежною небезпекою,
- використання матеріалів підвищеної вогнестійкості навколо прорізів і зон евакуації.

Виробники вітрозахисних і гідрозахисних мембран уже розглядають можливість підвищення їх вогнестійких властивостей, однак переважна більшість таких рішень знаходиться на стадії досліджень. Тому проєктувальникам і забудовникам необхідно використовувати комплекс наявних методів протипожежного захисту, особливо в зонах, де мембрани є елементом повітряного зазору.

Металеві елементи обрамлення віконних і дверних прорізів потребують підвищеної уваги, оскільки під час пожежі полум'я устремляється до верхнього укосу та може викликати його деформацію чи руйнування.

У зв'язку з цим облицювання навколо отворів має виконуватися з оцинкованої сталі або інших матеріалів з високою межею вогнестійкості, що забезпечує:

- стабільність геометрії отвору,
- стримування поширення полум'я,
- збереження працездатності фасадної системи у зоні підвищеного теплового впливу.

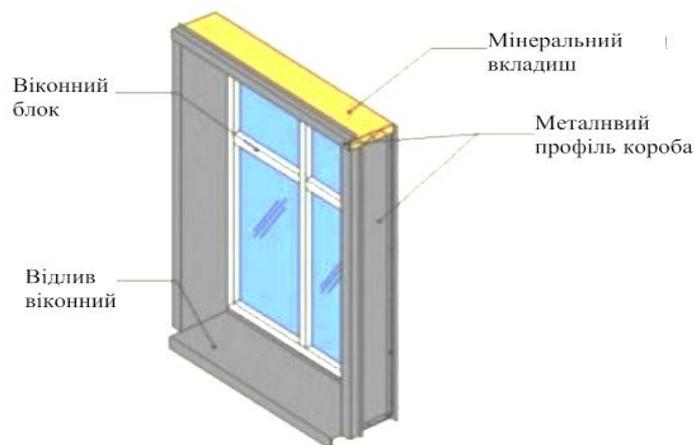


Рисунок 3.2 – Пожежний короб

Клас горючості матеріалів, що застосовуються у конструкції протипожежних коробів, повинен відповідати вимогам НГ (негорючі матеріали) або, щонайменше, Г1 (слабкогорючі матеріали) згідно з чинною класифікацією пожежної небезпеки. Всі вогневі випробування таких виробів проводяться в суворій відповідності до положень [8], який регламентує методи оцінювання пожежної небезпеки фасадних систем та їх елементів.

Для додаткового зниження теплопровідності протипожежних коробів і забезпечення стабільної роботи конструкції під час пожежі використовується ущільнювач із мінеральної вати щільністю не менше 50 кг/м³. Основна функція мінераловатного шару полягає у відведенні частини теплової енергії на власний нагрів, що дозволяє знизити інтенсивність теплового впливу та уповільнити розвиток пожежі в зоні прорізу.

Під час здачі будівлі в експлуатацію проводиться комплексна перевірка систем пожежної безпеки, відповідно до вимог законодавства та галузевих регламентів. Спеціально призначена комісія:

- здійснює експертну оцінку відповідності протипожежних рішень;
- аналізує застосовані матеріали та конструктивні елементи;
- перевіряє правильність виконання монтажних робіт;
- контролює наявність документів, які підтверджують відповідність

систем проектним та нормативним вимогам.

Обов'язковим документом є експертний висновок за результатами вогневих випробувань, без якого введення об'єкта в експлуатацію є неможливим.

Для систем вентильованих фасадів додатковою вимогою є розроблення альбомів технічних рішень, у яких повинні бути детально описані:

- конструктивні елементи фасаду;
- схеми протипожежного захисту;
- розташування й типи протипожежних відсічок;
- матеріали та їх групи горючості;
- конструкції протипожежних коробів, укосів і ізоляційних шарів;
- вузли примикання та вузли кріплення.

Такі альбоми є невід'ємною частиною технічної документації та використовуються під час експертизи, монтажу, а також подальшого обслуговування фасадних систем.

3.2 Методика вогневого випробування

Захист будівельних конструкцій від вогню набуває дедалі більшого значення під час проектування сучасних будівель та фасадних систем. У цьому контексті необхідно розрізнити дві ключові концепції пожежної безпеки:

1. реакція матеріалу на займання (reaction to fire);
2. вогнестійкість конструкції (fire resistance).

Перша концепція характеризує, наскільки матеріал сприяє розвитку або поширенню пожежі, тоді як друга визначає здатність конструкції зберігати свої функції під дією високих температур.

8 квітня 1999 року європейські органи нагляду затвердили документ «Концепція 98/319 ред. 3», що ввів нову уніфіковану систему європейської класифікації матеріалів за реакцією на загоряння. Згідно з цим рішенням, традиційні національні методики оцінки займистості мають поступово бути замінені новою системою, що ґрунтується на гармонізованих європейських стандартах.

Базовим нормативним документом є [5,7,9], який визначає правила присвоєння матеріалам певного класу пожежної небезпеки.

У рамках системи [11] будівельні матеріали класифікуються на сім основних класів: A1, A2, B, C, D, E та F, де:

- A1 та A2 – найвищі класи, що характеризують матеріали як такі, що не сприяють розвитку пожежі;
- B–E – класи зі зростаючим рівнем горючості та димоутворення;
- F – матеріали, що не пройшли випробування або демонструють незадовільну поведінку при займанні.

Матеріали класу A1 можуть бути класифіковані без проведення додаткових випробувань, якщо їхні фізико-хімічні властивості підтверджують повну негорючість.

Для підлогових конструкцій застосовується окреме позначення – FL (floor). Наприклад:

- AFL,
- BFL,
- CFL тощо.

Це дозволяє розділяти класифікацію підлогових та непідлогових будівельних матеріалів, оскільки умови їх експлуатації та динаміка теплових потоків суттєво різняться.

Під час оцінки реакції на займання матеріали випробовуються за трьома рівнями теплового впливу, які відповідають можливим сценаріям розвитку пожежі в будівлі:

1. низький рівень – початкова стадія займання;
2. середній рівень – розвиток локальної пожежі;
3. високий рівень – повністю розвинуте горіння.

У таблиці 3.1 наведено стандарти випробувань, що застосовуються для кожного рівня теплового навантаження (EN ISO 11925-2, EN 13823, інші).

Таблиця 3.1 – Стандарти випробувань на займистість

	Напольні матеріали	Інші продукти
Низький рівень навантаження	Навантаження в формі прямого контакту з вогнем (EN ISO 1 1925-2)	
Середній рівень навантаження	Навантаження в формі випромінювання від гарячих газів, що вивільняються в перекритому приміщенні (EN ISO 9239-1)	Навантаження в формі контакту з полум'ям єдиного джерела горіння (EN 13823)
Високий рівень навантаження	Масове загоряння горючих матеріалів в приміщенні (EN ISO 1716 і EN ISO 1 182)	

П'ять базових методик випробувань реакції на займання матеріалів інтегруються у систему ще двох обов'язкових стандартів, що регламентують класифікацію та підготовку випробувальних зразків, а саме: [11] (класифікація на основі випробувань) та [14] (вимоги до підготовки підкладки і умов проведення випробування).

У процесі класифікації додатково враховуються два важливих параметри поширення пожежі:

1. Класифікація за утворенням диму (індекс s)

Показник «s» (smoke) відображає інтенсивність димоутворення:

- s1 – низьке димоутворення;
- s2 – середнє димоутворення;
- s3 – неконтрольоване димоутворення або матеріал не пройшов

визначення параметра.

У класі s3, як правило, опиняються матеріали, що не проходять тест імпульсного займання або виділяють дим у невизначених кількостях.

2. Класифікація за утворенням палаючих крапель (індекс d)

Показник «d» (droplets) визначає поведінку матеріалу щодо утворення горючих крапель:

- d0 – відсутність утворення палаючих крапель протягом 600 с випробування (EN 13823);
- d1 – допускається утворення крапель, але вони не горять довше 10 секунд;
- d2 – матеріал не відповідає вимогам d0 або d1, або провокує займання фільтрувального паперу в тесті EN 11925-2.

Слід зазначити, що на відміну від класів єврокласифікації (A1–F), декларування індексів s і d не є обов'язковим, однак їх врахування суттєво покращує загальну картину пожежної безпеки.

Відповідно до офіційних документів ЄС 96/603/ЄС і 2000/605/ЄС, такі матеріали, як:

- флоат-скло,

- візерункове скло,
- термічно зміцнене,
- термічно загартоване,
- хімічно загартоване скло,
- скло з неорганічними покриттями і армуванням, вважаються такими,

що відповідають класу А1, і не потребують проведення випробувань на реакцію до вогню.

Постійний комітет з будівництва (Standing Committee on Construction), який контролює імплементацію Регламенту про будівельні вироби (CPR), затвердив європейську систему класифікації вогнестійкості виробів.

Вогнестійкість визначається в хвилинах та базується на трьох основних критеріях:

R — несуча здатність (Resistance)

Здатність елемента витримувати дію вогню без втрати стійкості або руйнування.

E — цілісність (Integrity)

Відсутність наскрізних тріщин, полум'я або проникнення гарячих газів.

I — теплоізоляційна здатність (Insulation)

Захист від перегріву неекспонованої поверхні.

Типові класи, що застосовуються до конструктивних елементів:

- REI tt – збереження R, E та I протягом заданого часу;
- RE tt – збереження R та E;
- R tt – стійкість несучих елементів;
- EI tt – збереження цілісності та теплоізоляції;
- E tt – лише цілісність.

Приклади класів для скла: EI 30, EI 60, EW 60, E 30 тощо.

Стандарти EN для визначення вогнестійкості:

- EN 13501-2 – класифікація елементів конструкцій (крім вентиляції);
- EN 13501-3 – класифікація протипожежних заслінок та вогнестійких повітроводів.

Для всіх видів скляних конструкцій необхідно застосовувати серію стандартів EN 1363 та EN 1364, яка охоплює різні сценарії теплових впливів.

EN 1363-1 — Загальні вимоги.

Встановлює базові умови, включаючи застосування стандартної температурної кривої.

EN 1364-1 — Випробування ненесучих стін.

Використовується для перевірки світлопрозорих перегородок.

Методика включає:

- розміщення повнорозмірного зразка перед вогневою піччю;
- нагрів за стандартною температурно-часовою кривою;
- контроль температури термопарами;
- вимірювання випромінення радіометром;
- оцінку втрати цілісності, теплоізоляції та випромінення

(критерій W).

Для проведення повномасштабних випробувань була обрана світлопрозора навісна система, виготовлена компанією ТОВ «Фототех», на базі стоечно-ригельної системи ALT F50.

Стіна містила:

- глухий міжповерховий пояс висотою 1,2 м;
- світлопрозоре заповнення з п'ятишарового склопакета формули:

6 + 12 + 4 + 12 + 6 мм.

Глухий пояс було виконано відповідно до альбомів технічних рішень компанії АЛЮТЕХ. Розріз міжповерхового поясу та схема його розміщення на полігоні наведені на рисунку 3.3.

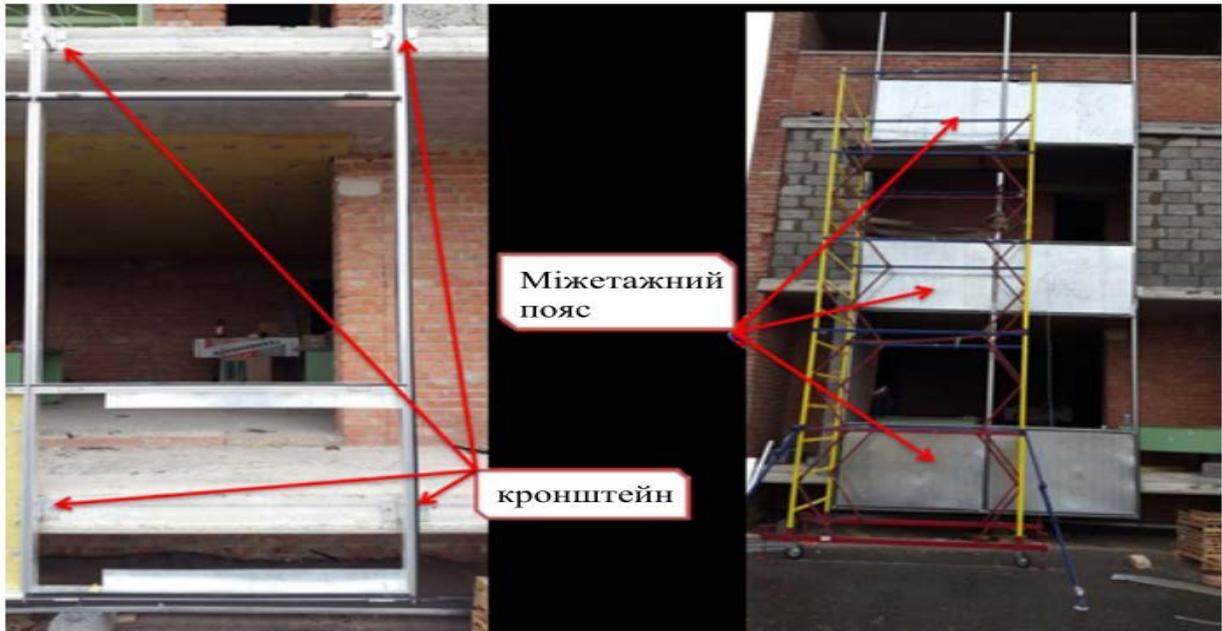


Рисунок 3.3 – міжповерхових пояс - установка на об'єкті випробувань

Фрагмент навісної світлопрозорої стіни виконано на три поверхи будівлі, загальною висотою 9125 мм, шириною 3200 мм.

Загальний вигляд об'єкта випробувань представлений на рисунку 3.4.

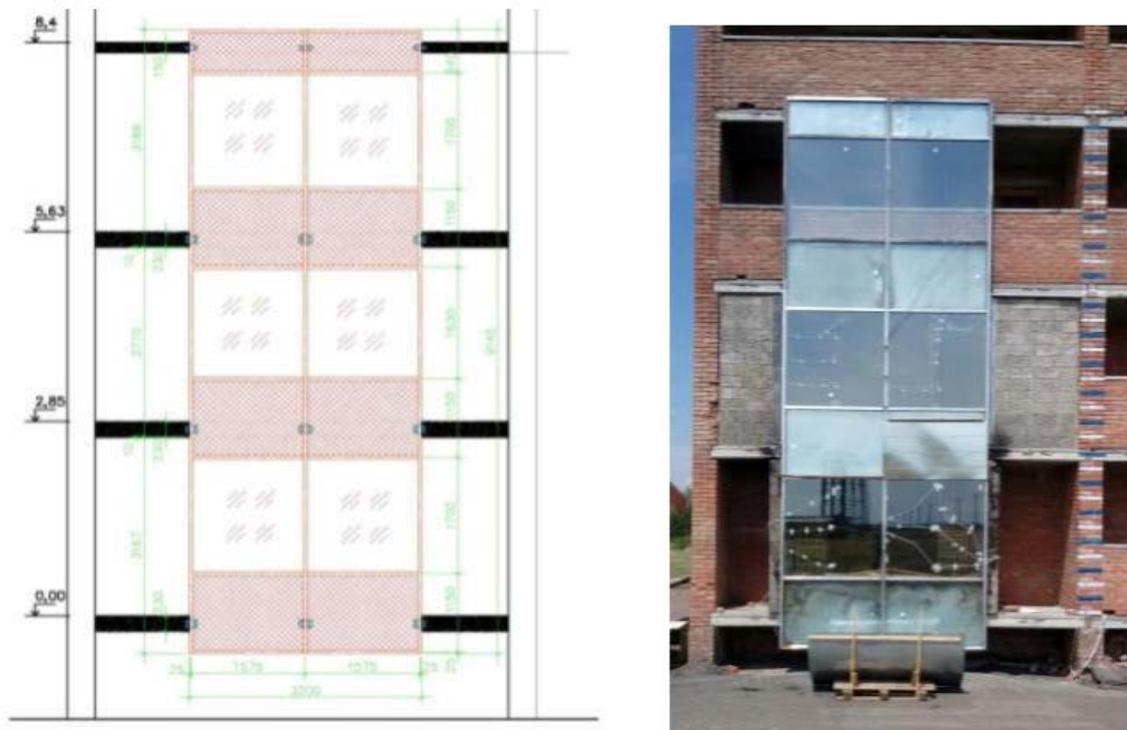


Рисунок 3.4 – Загальний вигляд об'єкта випробувань

Метою проведення натурального вогневого випробування є визначення пожежної стійкості світлопрозорих навісних фасадних стін, обладнаних глухим міжповерховим поясом висотою не менше 1,2 м та розрахованих на досягнення межі вогнестійкості не нижче EI 60.

Для досягнення зазначеної мети були сформульовані такі науково-прикладні завдання:

1. Визначення швидкості прогрівання склопакета та встановлення критичного температурного режиму, за якого відбувається руйнування скління й втрата його цілісності.

2. Оцінювання впливу площі віконного прорізу на висоту факела полум'я та формування температурних полів уздовж площини фасаду.

3. Визначення температур та щільності теплових потоків, які утворюються біля світлопрозорих огорожувальних конструкцій у приміщенні, розташованому над вогнищем пожежі.

4. Оцінювання впливу вітрових (конвективних) потоків, спрямованих вздовж фасаду, на геометричні параметри та інтенсивність температурних полів.

5. Аналіз стану несучих та огорожувальних елементів навісної фасадної системи після випробування, включаючи вузли примикання та стикові з'єднання.

6. Дослідження характеру та ступеня пошкодження світлопрозорих і глухих елементів навісної конструкції після дії пожежі.

Випробування виконувалися на повномасштабному макеті п'ятиповерхової будівлі, що забезпечує максимально наближені до реальних умови розвитку пожежі та теплового впливу.

Геометричні параметри макета:

- планові розміри: 12 × 13 м;
- загальна висота: 16 м;
- конструктивна система – традиційні будівельні матеріали та технології.

Використані конструкції:

- несучі стіни та перегородки – з повнотілої керамічної цегли М150 на розчині М100;
- міжповерхові перекриття – залізобетонні багатопустотні плити.

Осередок пожежі розташований на першому поверсі. Зовнішня стіна цього приміщення виконана у вигляді світлопрозорої фасадної системи, а бічні стіни – із червоної керамічної цегли.

Приміщення має:

- дверний проріз, що виходить у сходову клітку;
- бічний технологічний отвір $1,3 \times 1,4$ м, початково закритий теплоізоляційним матеріалом, який у процесі випробування використовувався для регулювання повітрообміну.

Площа приміщення становить 33 м^2 .

Температурний режим моделювався за рахунок горючого навантаження, щільність якого становила 50 кг/м^2 , що відповідає типовому пожежному навантаженню житлових приміщень.

Використовувані матеріали:

- деревина хвойних порід;
- вологість – не більше 12%;
- загальна маса – 1650 кг.

Спосіб укладання деревини забезпечував створення максимально критичного теплового впливу на зовнішні конструкції фасаду, що відповідає реальним умовам повномасштабних пожеж у квартирних приміщеннях (рис. 3.5).

Організація повітрообміну включала:

- приплив повітря через відчинений дверний отвір, який виходив до сходової клітки з прямим виходом назовні;
- викид димових газів через шахту димовидалення розмірами 300×400 мм, що мала приймальний отвір у перекритті першого поверху;

- керування площею бічного отвору для регулювання інтенсивності горіння.

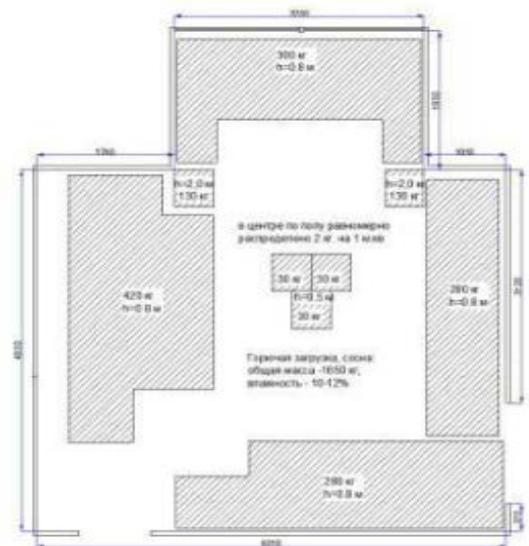


Рисунок 3.5 – Приміщення вогнища пожежі і характер розміщення горючого навантаження в приміщенні

Для моделювання умов, характерних для висотної забудови, зокрема впливу вертикально спрямованих вітрових потоків, що рухаються уздовж площини фасаду, була змонтована спеціальна експериментальна установка. Її принципова схема наведена на рисунку 3.6.

Установка включає:

- вентилятор підвищеної продуктивності, який забезпечує стабільний та керований повітряний потік;
- металевий напрямний лоток, призначений для формування рівномірного та спрямованого аеродинамічного потоку уздовж всієї ширини фасадної поверхні.

Конструктивно вентиляційний комплекс встановлено на рівні землі відповідно до схеми, представленій на рисунку 3.6. Розташування установки забезпечує створення вертикального вітрового потоку, який проходить уздовж

площини світлопрозорої навісної стіни, і досягає необхідних швидкісних характеристик.

Положення вентилятора та геометричні параметри лотка були підібрані так, щоб швидкість повітряного потоку у зоні середини віконного прорізу приміщення пожежі становила від 3 до 5 м/с, що відповідає типовим значенням висхідних вітрових потоків, характерних для висотних будівель у реальних умовах.

Таке технічне рішення дозволило:

- змоделювати додатковий конвективний вплив на фасад;
- дослідити його вплив на формування температурних полів;
- оцінити висоту та напрям факела полум'я, який виходить із віконного прорізу;
- забезпечити відповідність випробування реалістичним експлуатаційним умовам сучасних багатоповерхових споруд.



Рисунок 3.6 – Схема розміщення обладнання для створення вітрових потоків уздовж фасаду будівлі

Відповідно до поставлених завдань натурального вогневого випробування необхідним є збирання комплексних даних, які характеризують розвиток пожежі, тепловий режим у приміщенні та ступінь впливу теплових факторів на світлопрозорий фасад з зовнішнього боку будівлі [22,25].

У ході експерименту здійснювався контроль таких параметрів:

1. Середньооб'ємна температура повітря у приміщенні вогнища пожежі.
2. Потужність теплового потоку всередині приміщення.
3. Розподіл температурних полів вздовж площини фасаду по висоті.
4. Висота факела полум'я, що виходить з віконного прорізу приміщення пожежі.
5. Температура кожного листа склопакета світлопрозорої конструкції.
6. Тепловий потік на рівні віконного прорізу другого поверху.
7. Швидкість висхідних конвективних потоків повітря уздовж площини фасаду.
8. Температура зовнішнього атмосферного повітря.
9. Напрямок та швидкість природного вітру, що мав місце під час проведення випробувань.

Додатково здійснювалася відеофіксація процесу горіння всередині приміщення та зовні – на площині фасаду, що дозволяє аналізувати динаміку поширення полум'я та поведінку огорожувальних конструкцій у реальних умовах.

Після завершення випробування проводилась оцінка наслідків теплового впливу, включаючи визначення зон пошкодження, характеру руйнувань та ступеня деградації матеріалів.

Для аналізу поведінки фасаду в зоні пожежного впливу з тильного боку виконувалася тепловізійна зйомка високочутливою інфрачервоною камерою FLIR, що дозволило отримати:

- термограми з розподілом температур у реальному часі;
- локалізацію зон перегріву та руйнування;

- динаміку теплового впливу у вертикальному напрямку.

Додатково застосовувалися:

- переносні відеокамери;
- стаціонарні відеореєстратори;
- безпілотний літальний апарат (квадрокоптер), обладнаний відеокамерою, для отримання верхніх та бічних ракурсів.

Для визначення геометричних параметрів ушкоджень, характеру руйнувань та ступеня деформації конструкцій використовувалися:

- штангенциркулі;
- металеві лінійки;
- цифрові фото- та відеокамери.

Комплексний підхід до вимірювань дозволив отримати повну картину впливу пожежі на світлопрозорі та глухі елементи навісної фасадної системи.

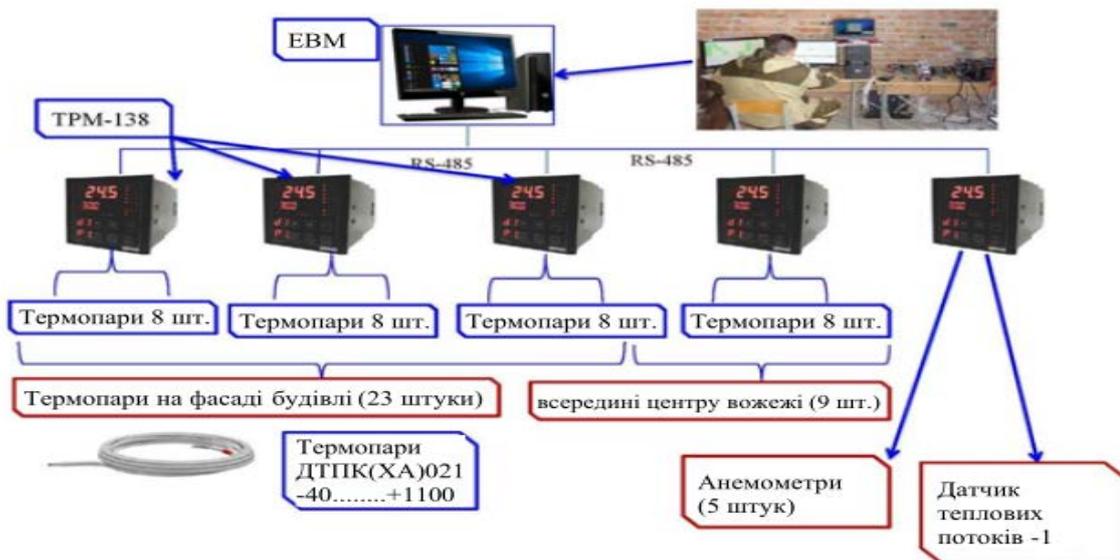


Рисунок 3.7 – Структурна схема системи вимірювання та обробки інформації

Для забезпечення повноти збору експериментальних даних щодо розвитку пожежі та впливу високотемпературних потоків на світлопрозорий фасад необхідно виконати коректне розміщення термопар як у приміщенні вогнища пожежі, так і на зовнішній поверхні фасаду.

1. Розміщення термопар усередині приміщення.

Розстановка термопар всередині приміщення вогнища пожежі повинна забезпечувати отримання достовірної інформації про зміну середньооб'ємної температури протягом усього періоду вогневого випробування.

Для цього:

- вимірювання температури здійснюється в чотирьох рівновіддалених точках,
- датчики встановлюються у трьох вертикальних площинах, розташованих на рівних відстанях одна від одної,
- створюється просторово репрезентативна схема вимірювань, яка дозволяє отримати усереднений температурний профіль приміщення.

Таке компонування дає можливість зафіксувати характер прогрівання повітряного середовища та межових зон, що є критично важливим для верифікації моделі розвитку пожежі.

2. Розміщення термопар на зовнішній поверхні фасаду.

Розстановка термопар з зовнішнього боку фасаду виконується з метою реєстрації:

- висоти та інтенсивності температурних полів, що формуються полум'ям, яке виходить із віконного прорізу приміщення пожежі;
- теплових потоків у зоні впливу відкритого полум'я на світлопрозору фасадну систему;
- динаміки прогрівання конструкцій протягом експерименту.

Термопари встановлюються:

- на відстані 150 мм від площини фасаду,
- відповідно до схеми розміщення, наведеної на рисунку 3.8,
- уздовж вертикальної осі, що проходить крізь центр віконного прорізу.

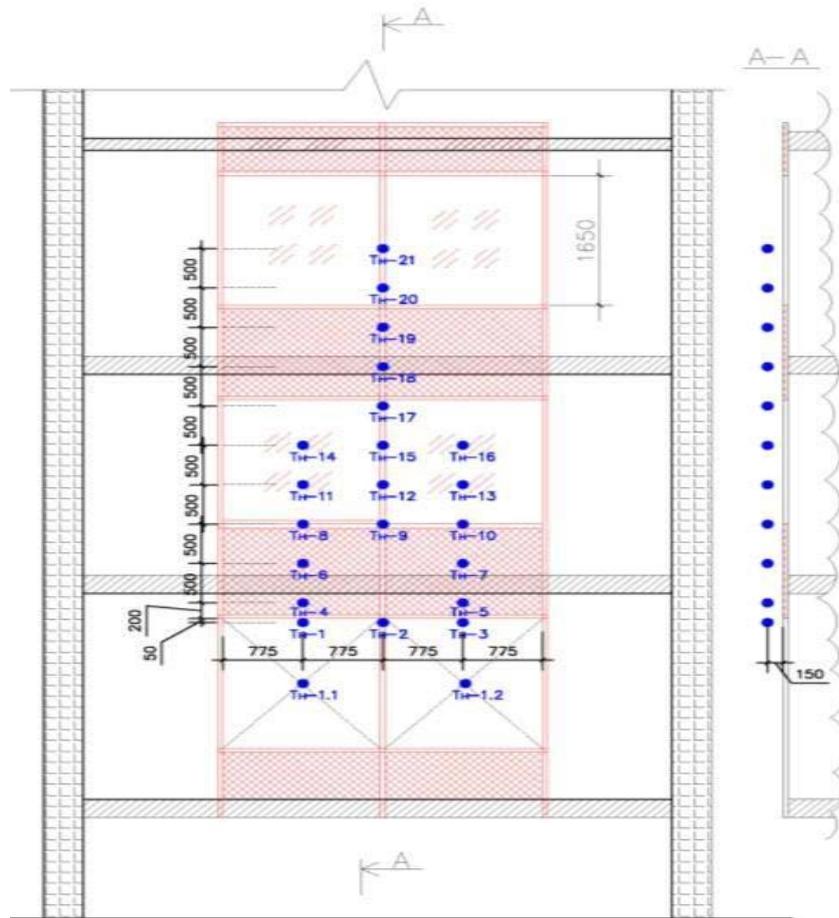


Рисунок 3.8 – Схема розстановки термопар зовні будівлі по вертикалі фасаду

Монтаж термопар та датчиків теплового випромінювання виконувався у спеціально підготовлених умовах, що забезпечують їхню коректну роботу в умовах інтенсивного теплового впливу пожежі.

1. Монтаж термопар у захисних коробах.

Усі термопари встановлювалися в індивідуальні металеві коробки, спеціально виготовлені для проведення вогневого експерименту. Конструкція коробів включає:

- металевий зовнішній кожух,
- теплоізоляційний шар, який забезпечує захист чутливого елемента від прямого теплового випромінювання,
- технологічні отвори для виведення електродів термопар.

Таке виконання дозволяє мінімізувати вплив зовнішніх факторів та забезпечує стабільність показань у зоні високих температур.

2. Методика визначення висоти полум'я.

Для реєстрації висоти факела полум'я, що виривається з віконного прорізу приміщення пожежі, на зовнішній поверхні фасаду наносилася вертикальна вимірювальна шкала довжиною 6 м.

- Нульову позначку встановлено на рівні верхнього краю світлопрозорого заповнення першого поверху.
- Шкала нанесена у вигляді градуйованої лінійки з кроком 0,1 м, що забезпечує точну фіксацію максимальної висоти полум'я.

Під час експерименту здійснювалася безперервна відеофіксація фронтальної площини фасаду, що дозволило одночасно відстежувати [28]:

- зміну висоти полум'я,
- форму температурного факела,
- інтенсивність теплового впливу на конструкції.

3. Розміщення датчиків теплового потоку.

Схема встановлення датчиків теплового випромінювання наведена на рис. 3.9. Датчики розташовані таким чином, щоб забезпечити:

- вимірювання теплового потоку на різних висотних рівнях фасаду;
- визначення інтенсивності теплового навантаження на світлопрозорі конструкції другого поверху;
- аналіз конвективних та радіаційних компонент теплового впливу в зоні виходу полум'я.

4. Захист датчиків теплового потоку.

Оскільки датчики працюють у зоні надвисоких температур, їх чутливі елементи обладнані системою водяного охолодження, що включає:

- подачу холодної води в охолоджувальний контур;
- захисну камеру, яка відсікає пряме полум'я;
- термостійкий корпус датчика.

Наявність водяного охолодження дозволяє:

- забезпечити стабільність та точність показань,
- запобігти перегріву сенсорів,

- подовжити ресурс роботи вимірювального обладнання.



Рисунок 3.9 – Схема розстановки приймачів теплових потоків

Для забезпечення точного вимірювання температури прогрівання склопакетів у процесі вогневого експерименту застосовано спеціальну схему монтажу термопар.

Відповідно до методики випробування, розстановка термопар виконана згідно зі схемою, наведеною на рис. 3.10. Така схема забезпечує можливість реєстрації температурних змін на кожному елементі багатошарової конструкції склопакета.

Термопари встановлюються:

- на кожному листі скла, що входить до складу випробуваного склопакета;
- з боку, протилежного дії полум'я (необігрівана поверхня), що дозволяє визначити температуру проникнення тепла через конструкцію;
- у точках, які відповідають зоні максимального теплового впливу.

Таке компонування дозволяє:

- отримати повну картину теплопередачі крізь склопакет;
- зафіксувати момент досягнення критичних температур, які можуть призвести до руйнування листів скла або втрати цілісності склопакета;

- здійснити зіставлення отриманих даних з нормативними критеріями за показником I – втрата теплоізоляційної здатності.

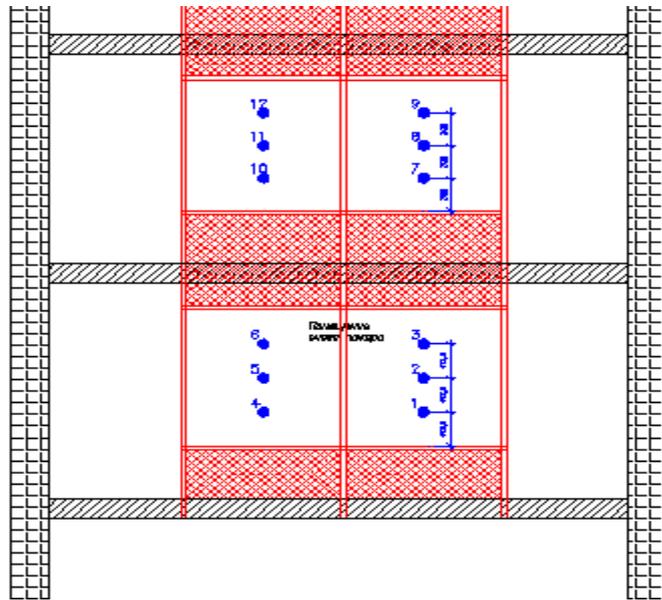


Рисунок 3.10 – Схема розстановки термопар на склі склопакета 1 поверх
2 поверх

Для реєстрації параметрів повітряних потоків, що піднімаються вертикально вздовж площини фасаду будівлі під час розвитку пожежі, використовується спеціалізоване вимірювальне обладнання. Застосовується два вимірювальні блоки, оснащені:

- датчиками швидкості повітряних потоків,
- датчиками температури газового середовища.

Обидва блоки виконані на базі моделі Сівіонік, виробництва ТОВ «СІТІС Спрут», та призначені для роботи в умовах підвищених температурних навантажень та потоків гарячих газів.

Встановлення блоків здійснюється відповідно до схеми, наведеної на рисунку 3.11, з дотриманням висотних відміток, що забезпечують репрезентативність даних:

- перший блок закріплений на рівні перекриття другого поверху,
- другий блок — на рівні перекриття третього поверху.

Таке розташування відповідає зоні максимального впливу конвективних потоків, що формуються полум'ям пожежі, яке виходить із віконного прорізу приміщення вогнища пожежі.

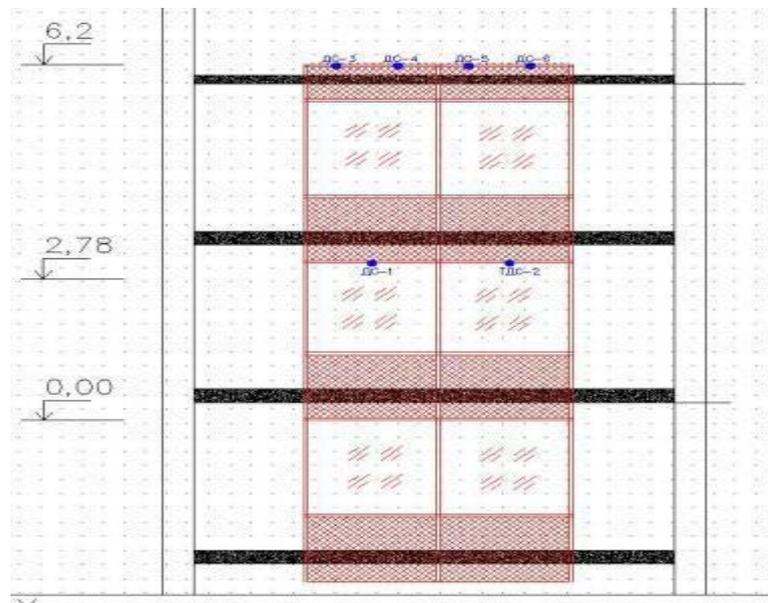


Рисунок 3.11 – Схема установки датчиків швидкості вітрових потоків

Протягом усього циклу натурних вогневих випробувань виконувалася систематична фіксація параметрів зовнішнього середовища.

Через кожні 15 хвилин реєструвалися [29]:

- температура навколишнього середовища;
- напрямок вітру;
- швидкість вітру з чотирьох напрямків відносно будівлі.

Ці дані дозволяють оцінити вплив зовнішніх метеорологічних умов на поведінку пожежі та формування факела полум'я над віконним прорізом.

Для забезпечення відтворюваності експериментальних умов встановлено такі спеціальні положення:

1. Імітація початкової стадії пожежі. Первинне джерело займання формується у вигляді осередку площею проекції $0,75 \text{ м}^2$, розташованого у центрі приміщення.

2. Запалювання горючого навантаження. Для розпалювання застосовується 1 літр гасу, яким рівномірно змочується осередок пожежі.

3. Фіксація параметрів зовнішнього середовища. Температура, напрямок і швидкість вітру контролюються з інтервалом 15 хвилин.

4. Візуальний контроль руйнування склопакетів. Протоколюється час руйнування кожного листа скла та втрата цілісності склопакета; додатково оцінюється поведінка всієї світлопрозорої фасадної системи.

5. Тривалість експерименту. Випробування припиняється через 1 годину після його початку або при переході пожежі в стадію загасання.

6. Документування результатів. Підсумки оформлюються у вигляді актів та протоколів випробувань відповідно до чинних вимог.

Проведені натурні вогневі випробування світлопрозорого фасаду висотної будівлі показали такі ключові результати:

- Конвективний висхідний потік, що формується уздовж площини фасаду, збільшує висоту полум'я до 3 метрів над віконним прорізом палаючого приміщення.
- Стандартний вогнестійкий міжповерховий пояс висотою 1,2 м не забезпечує повного блокування поширення пожежі по світлопрозорому фасаду, що підтверджує необхідність пошуку додаткових технічних рішень.
- Наявні способи підвищення вогнестійкості фасадів не у всіх випадках відповідають вимогам архітектурної пластики сучасних висотних будівель.

Це вказує на актуальність розроблення нових інженерно-технічних засобів, спрямованих на обмеження вертикального поширення пожежі.

Поширення пожежі по світлопрозорій фасадній системі відбувається за рахунок:

- виходу полум'я через розкритий віконний проріз на зовнішню площину фасаду;
- термічного руйнування склопакетів та алюмінієвих елементів, розташованих вище рівня пожежі.

З метою запобігання цьому необхідно:

1. застосовувати склопакети з підвищеним критерієм термогійнування, який перевищує очікувані температурні впливи;
2. зменшувати температуру у зоні світлопрозорих конструкцій над поверхом пожежі;
3. знижувати площу віконного прорізу, оскільки саме цей параметр суттєво впливає на висоту та температуру факела полум'я.

У якості моделі запропоновано захисний екран з вогнетривкого матеріалу, який:

- встановлюється над віконним прорізом у початковому положенні «закрито»;
- утримується термоплавкими замками;
- під дією температури замки руйнуються, після чого екран самостійно опускається під власною вагою до проектної позначки.

Принцип роботи захисного екрану подано на рис. 3.12.

Таке рішення не є об'ємно-планувальним елементом будівлі, а відноситься до інженерно-технічних протипожежних пристроїв, що відповідають вимогам безпеки сучасних висотних споруд.

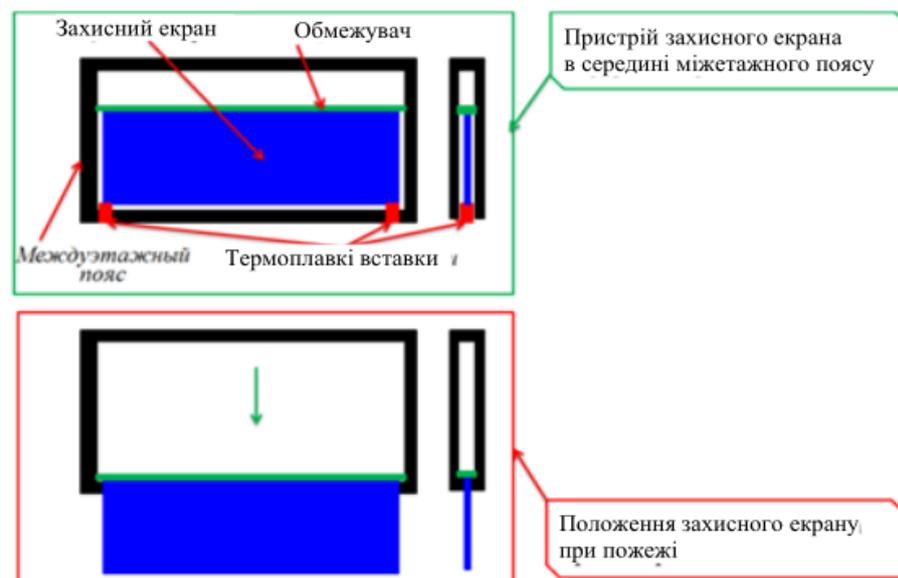


Рисунок 3.12 – Принципова модель захисного екрану

Натурне вогневе випробування проводилося на п'ятиповерховій будівлі, розташованій на території спеціалізованого випробувального полігону. Детальний опис параметрів будівлі наведений у розділі 4 цієї роботи.

Вогневому впливу піддавався фрагмент навісної світлопрозорої фасадної стіни, змонтований на трьох суміжних поверхах будівлі. Геометричні параметри випробуваного фрагмента становлять [30]:

- загальна висота – 9125 мм;
- ширина – 3200 мм.

У зонах примикання фасадної стіни до міжповерхових перекриттів передбачено глухі вогнестійкі міжповерхові пояси висотою 1,2 м, виконані згідно з альбомами технічних рішень компанії «АЛЮТЕХ».

Для досягнення цілей натурального випробування та відтворення умов, необхідних для оцінки ефективності технічного рішення щодо зменшення площі віконного прорізу, було виконано монтаж захисного екрана з вогнетривкого матеріалу уздовж ригеля фасадної конструкції.

Технічні характеристики захисного екрана:

- матеріал — оцинкований сталевий лист товщиною 0,7 мм;
- ширина — дорівнює ширині віконного прорізу;
- висота — 1 м, що забезпечує перекриття приблизно $\frac{2}{3}$ висоти вікна;
- монтаж — впритул до віконного ригеля по всій довжині фасадної ділянки.

Принципова схема монтажу захисного екрана наведена на рис. 3.13.

Для забезпечення механічної стійкості та збереження працездатності захисного екрана в умовах експерименту необхідно:

1. Посилення жорсткості. По всій висоті екрана встановлюються не менше трьох ребер жорсткості, що запобігають деформації під впливом теплових потоків і власної ваги.

2. Надійне кріплення. Кріплення екрана виконується за допомогою металевих шарнірів, встановлених на спеціально виготовленому сталевому каркасі, який закріплений до цегляної стіни будівлі.

3. Каркас екрана. Несучий каркас виготовлено з профільованої сталевий труби 40×40 мм, товщина стінки – 6 мм, що забезпечує необхідний запас міцності.

4. Переведення екрана в робоче положення. Підтримання екрана у вихідному положенні та його переведення у режим «роботи» здійснюється дистанційно, за допомогою тросового механізму.

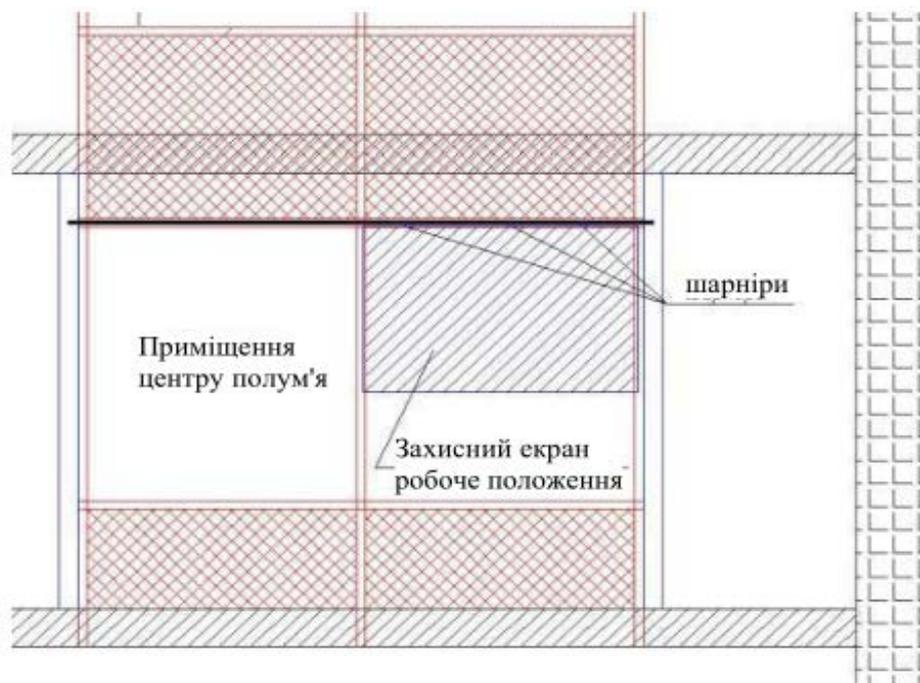


Рисунок 3.13 – Принципова схема установки захисного екрану

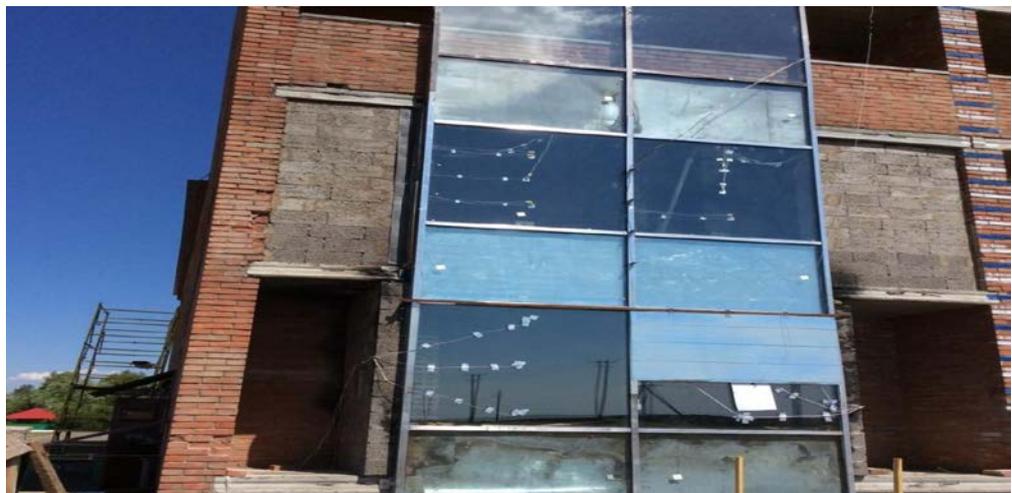


Рисунок 3.14 – Загальний вигляд світлопрозорого фасаду із захисним екраном

Для забезпечення умов розвитку пожежі, максимально наближених до параметрів натурального вогневого випробування, результати якого наведено у розділі 3 цієї роботи, у приміщенні першого поверху площею 33 м² було розміщено горюче навантаження у вигляді деревини. Обсяг, щільність та схема розкладки деревини повністю відповідають прийнятим нормативним параметрам і методиці формування теплового навантаження [30].

Конфігурація розташування горючої речовини моделює характерне планування житлового простору та відтворює умови розміщення меблів та елементів інтер'єру, що дозволяє забезпечити достовірність оцінювання впливу пожежі на зовнішні фасадні конструкції.

Загальний вигляд приміщення, у якому ініціювалася та розвивалася пожежа, наведено на рисунку 3.15.



Рисунок 3.15 – Загальний вигляд розміщення горючої навантаження

Повітрообмін у приміщенні осередку пожежі в процесі горіння забезпечується комплексом організованих припливно-витяжних заходів, що

створюють стабільні умови розвитку пожежі та її теплового впливу на фасадну конструкцію.

Приплив повітря здійснюється через дверний проріз, що сполучає приміщення першого поверху зі сходовою кліткою, яка має безпосередній вихід назовні. Дверний блок фіксується у максимально відкритому положенні, що гарантує достатній приплив кисню для підтримання інтенсивного горіння.

Видалення продуктів згорання організовано через шахту димовидалення розміром 300×400 мм, розташовану у перекритті першого поверху. Димоприймальний пристрій забезпечує контрольований відвід гарячих газів з приміщення осередку пожежі [26].

Уздовж площини фасаду формується вертикально спрямований повітряний потік, створений спеціальною вентиляційною установкою, змонтованою відповідно до вимог розділу 2.1. Її робота забезпечує швидкість повітряного потоку на рівні віконного прорізу першого поверху не менше 3 м/с, що дозволяє моделювати умови, характерні для висотних будівель у реальних пожежних сценаріях.

Висновок за розділом 3

У результаті аналізу методів протипожежного захисту фасадних світлопрозорих конструкцій встановлено, що головним завданням сучасних систем є забезпечення межі вогнестійкості не менше 60 хвилин (R 60, E 60, I 60), відповідно до вимог СТУ для висотних будівель. Це досягається завдяки комплексу заходів: зрошенню скління, вогнезахисту кріплень, протипожежним поясам (≥ 900 мм), використанню негорючих матеріалів (НГ, Г1) та ущільнювачів з мінеральної вати (щільність > 50 кг/м³).

Межа вогнестійкості визначається показниками R, E, I та W, з яких найбільш критичним є E — втрата цілісності. Для підвищення вогнестійкості алюмінієвих профілів застосовують термостійкі армовані заповнення, що

зменшують деформації при нагріванні та дозволяють встановлювати великі склопакети (понад 2 м).

Вогнестійкі скла типу Fireswiss Foam (до EI 90) мають багатошарову структуру з термореактивними прошарками, які при температурі понад 200 °C спінюються, герметизують тріщини та блокують теплове випромінювання.

Додатковим елементом є пожежний короб — металеве обрамлення з мінеральною ватою, що знижує ризик поширення вогню у вентиляваному фасаді. Анкерне кріплення та оцинковані елементи підвищують пожежну безпеку без шкоди для архітектури.

Системи випробовуються за стандартами EN 1363-1, EN 1364-1, що дозволяє визначити втрату цілісності (E) та ізоляції (I) за температурною кривою. За класифікацією EN 13501-1:2007+A1:2009 матеріали поділяються від A1 (негорючі) до F. Склопакети та армоване скло відповідають класу A1 без додаткових випробувань. Інші матеріали оцінюються також за димоутворенням (s1–s3) і краплями (d0–d2).

Отже, сучасні методи вогнезахисту поєднують інженерні, матеріалознавчі та конструктивні рішення, що дозволяє підвищити межу вогнестійкості на 30–50 %, забезпечити E 60–EI 90, безпечну евакуацію, обмежити поширення пожежі та зберегти естетику й енергоефективність фасадів.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Архітектурно-будівельні рішення

4.1.1 Рішення генплану

Ділянка, призначена для забудови, розташована в межах міста Вінниця. Вона має правильну геометричну форму та характеризується спокійним рельєфом із природними схилами південно-західного напрямку.

Згідно з генеральним планом, передбачається інтеграція проєктованої будівлі в існуючу об'ємно-просторову композицію забудови. Об'єкт розміщується в центральній частині ділянки, орієнтований головним фасадом на вулицю Зодчих. Відстані між будівлями та спорудами визначені з урахуванням чинних санітарних і протипожежних нормативів (див. таблицю 4.1 «Показники до генплану»).

Вертикальне планування території здійснено з максимальним збереженням природного рельєфу. Відведення поверхневих вод передбачено відкритим способом – через сплановані площадки, водовідвідні лотки, сформовані проїзною частиною та бордюрними елементами [31].

З метою забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов експлуатації території, а також безпечної та впорядкованої організації руху транспортних засобів і пішоходів, у проєкті передбачено влаштування асфальтобетонного покриття на внутрішньоквартальних проїздах і пішохідних тротуарах. Для захисту фундаментів будівлі від поверхневих вод та запобігання зволоженню ґрунтів навколо забудови запроєктовано асфальтобетонне вимощення по периметру будівлі шириною 1,5 м, що відповідає чинним нормативним вимогам.

Архітектурно-планувальне рішення земельної ділянки передбачає комплексне благоустрійне впорядкування території із раціональним розміщенням зелених насаджень. У проєкті заплановано висадження різноманітних деревних і кущових порід, підібраних з урахуванням природно-

кліматичних умов регіону, ґрунтових характеристик та вимог щодо експлуатаційної стійкості насаджень. Крім того, передбачено влаштування декоративних квітників, асортимент яких наведено в таблиці 4.2 «Відомість елементів озеленення».

Основа системи озеленення території становлять ландшафтні групи дерев, багаторічні трав'янисті рослини та декоративні квіткові композиції, які сприяють формуванню сприятливого мікроклімату, покращенню естетичного вигляду забудови та зниженню рівня запиленості повітря [31]. Для підвищення комфортності перебування користувачів територія додатково обладнується малими архітектурними формами, зокрема лавами для відпочинку, урнами для збирання сміття, а також стаціонарними та мобільними клумбами з декоративними насадженнями.

Таблиця 4.1 – Показники до генплану

№п/п	Назва показника	Одиниця виміру	Кількість
1	Площа ділянки	га	0,45
2	Площа забудови	м ²	529,2
3	Щільність забудови	%	12
4	Площа доріг, проїздів	м ²	363,3
5	Площа тротуарів	м ²	251,1
6	Площа озеленення	м ²	693,65
7	Відсоток озеленення	%	15

Таблиця 4.2 – Відомість елементів озелення

№ п/п	Найменування породи і виду насаджень	Вік, років	Кількість	Примітка
1	Ялина звичайна	5	11	Саджанці
2	Горобина звичайна	5	8	Саджанці
3	Кипарис пірамідальний	5	20	Саджанці
4	Квітник		33 м ²	Багаторічні квіти
5	Посів багаторічних трав		1867 м ²	Газонна трава

4.1.2 Організація рельєфу

Організацію рельєфу земельної ділянки в проєкті прийнято вирішувати методом проєктних горизонталей з урахуванням існуючих природних умов місцевості, забезпечення нормативного відведення поверхневих вод та раціонального розміщення під'їзних шляхів. Запроєктовані рішення спрямовані на формування сприятливого водно-теплового режиму території, запобігання застою атмосферних опадів і підтопленню забудови.

Вертикальне планування території відображено на генеральному плані та охоплює відмітки будівлі, під'їзних доріг, пішохідних підходів і прилеглих майданчиків, що забезпечує узгодженість проєктних рішень з існуючим рельєфом та вимогами експлуатаційної зручності [31].

Схему організації рельєфу для значних за площею територій доцільно виконувати методом проєктних відміток, який дає змогу більш точно регулювати ухили поверхонь, обсяги земляних робіт та напрямки поверхневого водовідведення, а також оптимізувати баланс насипу й виїмки ґрунту.

Чорні відмітки визначають згідно з топографічним планом інтерполяцією між горизонталями:

$$H_x = H_v + \left((H_A - H_v) * I / L \right) \quad (4.1)$$

де H_v - відмітка, нижче лежачої горизонталі;

H_A - відмітка, вище лежачої горизонталі;

L - відстань між горизонталями;

I - відстань від шуканої точки до нижче лежачої горизонталі.

В даному випадку чорні відмітки визначено за допомогою графічного методу.

Планування земної поверхні навколо будинку вимагає зрізання ґрунту в одних місцях та насипання в інших [31].

Розрахунок червоних відміток кутів будівлі починаємо з кута, де необхідно зрізати 5 см ґрунту.

$$H_{\text{черв.2}} = H_{\text{чорн.мак}} - 0,05 = 258,20 - 0,05 = 258,15 \text{ м.}$$

Інші червоні відмітки розраховують по заданих проектних уклонах.

$$H_{\text{черв}} = H_{\text{черв.попер.}} \pm I * d \quad (4.2)$$

де i - уклон;

d - довжина, ширина будинку.

$$H_{\text{черв1}} = 258,15 - 0,033 \cdot 37,6 = 256,90 \text{ м;}$$

$$H_{\text{черв3}} = 256,9 - 0,000 \cdot 21,385 = 256,90 \text{ м;}$$

$$H_{\text{черв4}} = 256,9 + 0,026 \cdot 38,763 = 257,9 \text{ м.}$$

Перевірка:

$$H_{\text{черв2}} = 257,90 + 0,0087 \cdot 28,885 = 258,15 \text{ м.}$$

Відмітка чистої підлоги першого поверху визначається відносно максимальної червоної відмітки, висота цоколя в цій точці 0,85 м.

$$H_{\pm 0,000} = H_{\text{ЧЕРВ.,мак}} + 0,85 = 258,15 + 0,85 = 259,00 \text{ м}$$

Розрахунок висоти цоколя будинку:

$$H_{\text{цок.n}} = H_{\pm 0,000} - H_{\text{черв.n}}$$

$$H_{\text{цок.1}} = 259,00 - 256,9 = 2,1 \text{ м;}$$

$$H_{\text{цок.2}} = 259,00 - 258,15 = 0,85 \text{ м;}$$

$$H_{\text{цок.3}} = 259,00 - 256,90 = 2,1 \text{ м;}$$

$$H_{\text{цок.4}} = 259,00 - 257,90 = 1,1 \text{ м}$$

4.1.3 Об'ємно-планувальні рішення

Основні принципи об'ємно-планувальних рішень житлового будинку розроблено з урахуванням особливостей будівельного майданчика, містобудівних умов та обмежень, визначених місцевими органами архітектури. Проектування здійснено відповідно до вимог [32–34].

Запроектований житловий будинок має прямокутну у плані форму з раціональним використанням внутрішнього простору. Основні геометричні параметри будівлі становлять:

- довжина – 25,2 м;
- ширина – 21,0 м.

Кількість поверхів – дев'ять. Висота поверхів визначена згідно з функціональним призначенням:

- цокольний та перший поверхи – 3,3 м;
- другий поверх – 2,4 м;
- решта житлових поверхів – 3,0 м.

Загальна висота будівлі становить 31,1 м, що відповідає параметрам багатоквартирного дев'ятиповерхового житлового будинку середньої поверховості згідно з класифікацією [35].

Перший поверх запроектовано технічним, у якому передбачено інженерні приміщення (вузли обліку, теплопункт, електрощитова, приміщення для зберігання господарського інвентарю та технічного обладнання). Решта поверхів мають житлове призначення.

Типові житлові поверхи мають змінне планування, що забезпечує архітектурну різноманітність фасадів та комфортні умови для мешканців. На кожному типовому поверсі передбачено:

- три двокімнатні квартири площею 67,17 м², 68,11 м² та 69,37 м²;
- дві трикімнатні квартири площею 83,99 м² та 86,53 м².

Кожна квартира має зручне планування, що включає житлові кімнати, кухню, санітарні приміщення, коридори та балкони. Внутрішнє планування орієнтоване на забезпечення достатньої природної інсоляції та провітрювання, відповідно до вимог ДБН В.2.2-24:2009 “Житлові будинки. Основні положення”.

Вертикальне сполучення поверхів забезпечується сходовою кліткою та двома ліфтами – пасажирським і вантажним. Пасажирський ліфт призначено для перевезення мешканців, а вантажний – для транспортування великогабаритних

предметів і технічного обслуговування будинку. Доступ до квартир здійснюється через внутрішній коридор, що з'єднаний зі сходовою кліткою та ліфтовим холлом.

Внутрішньобудинкові комунікації, зокрема вентиляція, водопостачання, каналізація та електропостачання, розміщені в технічних шахтах, що забезпечує зручність експлуатації та ремонтних робіт.

Загальні об'ємно-планувальні рішення будівлі спрямовані на забезпечення функціональності, енергоефективності та комфорту проживання мешканців, із дотриманням вимог екологічної безпеки та сучасних архітектурно-будівельних стандартів.

4.1.4 Архітектурно-конструктивні рішення

Запроєктована будівля є безкаркасною, із застосуванням несучих зовнішніх та внутрішніх цегляних стін, що забезпечують просторову жорсткість і стійкість споруди. Такий тип конструктивної схеми є раціональним для житлових будинків середньої поверховості, оскільки поєднує довговічність, ремонтпридатність та економічність у будівництві. Конструктивна схема прийнята відповідно до вимог [32,35].

В якості основи будівлі запроєктовано палеві фундаменти у вигляді куців паль, які забезпечують рівномірну передачу навантаження на ґрунтову основу. Палі сприймають як вертикальні навантаження від несучих стін, так і частину горизонтальних впливів. Оголовки паль об'єднані монолітними залізобетонними ростверками, що формують єдину просторову систему фундаменту. Таке конструктивне рішення підвищує стійкість будівлі до нерівномірних осідань і відповідає положенням [35]

Зовнішні стіни виконуються з повнотілої цегли на цементному розчині марки М50, що гарантує необхідну міцність і морозостійкість.

Товщина зовнішніх стін становить 510 мм, що забезпечує нормативні показники теплозахисту та звукоізоляції відповідно до [4].

Внутрішні несучі стіни виконані з аналогічного матеріалу товщиною 250 мм,

Перегородки мають товщину 120 мм і забезпечують ефективне зонування внутрішнього простору.

Для забезпечення необхідного теплозахисту будівлі зовнішні стіни утеплюються мінеральною ватою з високими теплоізоляційними характеристиками ($\lambda = 0,036\text{--}0,040$ Вт/м·К), що також відповідає вимогам [4,37].

Міжповерхові перекриття та покриття прийняті із збірних залізобетонних плит, з частковим застосуванням монолітних залізобетонних ділянок у місцях стикування або на ділянках зі складною геометрією. Таке поєднання збірних і монолітних елементів дає можливість оптимізувати витрати матеріалів, підвищити технологічність монтажу та забезпечити належну жорсткість будівлі. Використання збірних залізобетонних елементів регламентується [35].

Вертикальне сполучення поверхів здійснюється через сходові клітки, сходи яких виконані зі збірних залізобетонних маршів і сходових площадок, тоді як міжповерхові площадки запроектовані монолітними. Така конструктивна схема дозволяє забезпечити жорсткість сходової клітки, її довговічність та пожежну безпеку. Усі елементи сходів виконуються відповідно до вимог [5,6].

Таким чином, прийняті конструктивні рішення забезпечують надійність, довговічність і безпечність експлуатації будівлі, а також відповідають сучасним вимогам щодо енергоефективності, звукоізоляції та пожежної безпеки.

4.1.5 Теплотехнічний розрахунок

Вихідні дані:

Район будівництва – м. Вінниця.

Згідно карти-схеми температурних зон України Вінницька область відноситься до 1-ї температурної зони. Нормована величина опору теплопередачі для даної температурної зони згідно [4] становить $R_n=4,0$ м²·К/Вт.

Термічний опір одношарової конструкції обчислюється за формулою:

$$R = \delta / \lambda; \quad (4.3)$$

де R – термічний опір однорідної конструкції, м;

δ – товщина шару однорідної конструкції;

λ – коефіцієнт теплопровідності Вт/м^{°С}

На рисунку 4.1 представлено схему конструкції стіни.

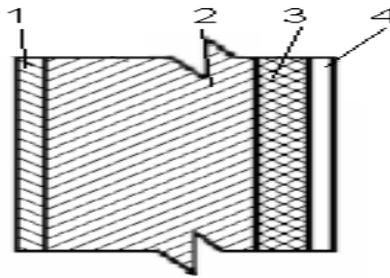


Рисунок 4.1 – Конструктивна схема стіни

1-цементно-піщана штукатурка $\delta = 15$ мм; 2-цегла силікатна марки М200

$\delta = 510$ мм; 3- утеплювач мінераловатний $\delta = 120$ мм; 4- штукатурка.

Термічний опір першого шару дорівнює:

$$R_1 = \delta_1 / \lambda_1 = 0,12 / 0,81 = 0,148 \text{ м}^2 \text{ оС} / \text{Вт}$$

$$R_2 = \delta_2 / \lambda_2 = \delta_2 / 0,045 \text{ м}^2 \text{ оС} / \text{Вт}$$

$$R_3 = \delta_3 / \lambda_3 = 0,25 / 0,81 = 0,308 \text{ м}^2 \text{ оС} / \text{Вт}$$

Загальний опір теплопередачі конструкції знаходиться за формулою:

$$R_{\text{ф}} = 1 / \alpha_{\text{в}} + \sum R_1 + 1 / \alpha_3, \quad (4.4)$$

де $\alpha_{\text{в}}$ – коефіцієнт теплосприйняття внутрішньої поверхні огорожуючої конструкції, $\alpha_{\text{в}} = 8,7$ (м²·К)/Вт);

α_3 – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої конструкції, $\alpha_3 = 23$ ((м²·К)/Вт);

R_1 – термічний опір огорожуючої конструкції.

В якості утеплювача прийнято мінеральну вату [4] (вміст зв'язуючого за масою від 3,5 % до 4,2 %) з коефіцієнтом теплопровідності: $\lambda = 0,045$ Вт/м·К;

Згідно формули 4.4:

$$1/8,7+0,148+\delta_2/0,045+0,308+1/23=4,0 \text{ (Вт/(м}^2\cdot\text{К))};$$

$$\delta_2=(3,3-0,148-1/8,7-0,308-1/23)\times 0,045=0,129 \text{ м}$$

Приймаємо мінераловатні плити товщиною 140 мм.

Загальна товщина стіни без внутрішнього оздоблюючого шару складає:

$$\delta_1+\delta_2+\delta_3=20+140+510=670 \text{ мм}$$

Загальний опір стіни складає:

$$R_{\phi}=1/8,7+0,148+0,14/0,045+0,308+1/23=4,326 \text{ (Вт/(м}^2\cdot\text{К))}$$

$$R_{\phi}=4,326 \text{ (Вт/(м}^2\cdot\text{К))} > R_n=4,0 \text{ (Вт/(м}^2\cdot\text{К))}$$

Отже, опір теплопередачі даної стінової конструкції забезпечено.

4.1.6 Опорядження фасадів та внутрішніх приміщень

Зовнішні оздоблювальні роботи передбачено виконувати відповідно до затвердженої відомості опорядження фасадів. Передбачено застосування різних видів матеріалів залежно від функціонального призначення окремих елементів будівлі. Цокольна частина та ганки облицьовуються натуральною гранітною брекчією, що забезпечує підвищену стійкість до механічних впливів та атмосферних опадів. Основні площини фасадних стін опоряджуються лицьовою керамічною цеглою натурального кольору, що надає будівлі виразного архітектурного вигляду та забезпечує довговічність оздоблення.

Парапети запроєктовано опоряджувати цементно-піщаною штукатуркою з подальшим фарбуванням водоемульсійною фарбою ALPA (Супер-Альпакрил) у сірувато-білому неоднорідному відтінку. Огородження балконів виконується із силікатної цегли жовтого кольору. Для облаштування віконних зливів використовується оцинкована сталь у натуральному металічному кольорі, що забезпечує корозійну стійкість та тривалий термін експлуатації.

Внутрішнє опорядження будівлі виконується відповідно до відомості внутрішнього опорядження приміщень. Для технічного поверху на позначці +0,000 передбачено фарбування стель та поверхонь стін водоемульсійною фарбою. Аналогічний вид опорядження застосовується також на житлових

поверхах у межах позначок від +3,300 до +26,700, де стелі та стіни додатково обробляються водоемульсійними матеріалами з метою забезпечення чистоти, легкості в догляді та відповідності санітарно-гігієнічним вимогам.

У ряді приміщень, згідно з функціональним призначенням, застосовуються інші види внутрішнього опорядження. Зокрема, передбачено оклеювання стін шпалерами як декоративно-захисне покриття, що покращує інтер'єрні властивості приміщень. У вологих або санітарно-технічних приміщеннях передбачено облицювання стін глазурованою керамічною плиткою, що забезпечує вологостійкість, антибактеріальні властивості та зручність догляду. Колони у приміщеннях залишаються з базовим опорядженням відповідно до їх експлуатаційних вимог.

Застосування зазначених оздоблювальних матеріалів забезпечує належний архітектурно-естетичний вигляд будівлі, довговічність конструктивних елементів, відповідність будівельним нормам та комфортні умови для експлуатації житлових і допоміжних приміщень.

4.2 Технологічні рішення

4.2.1 Область застосування

Сучасні системи зовнішньої теплоізоляції будівель характеризуються багатошаровою будовою, де кожний компонент виконує чітко визначену функцію, забезпечуючи необхідні теплоізоляційні, експлуатаційні та захисні властивості огорожувальних конструкцій. Незважаючи на уявну простоту, конструктивна схема таких систем є достатньо складною та включає низку функціональних шарів, які працюють у комплексі для забезпечення високого рівня енергоефективності та довговічності огорожувальних конструкцій житлових і громадських будівель [38].

До основних складових системи зовнішньої теплоізоляції належать:

- Клейовий (адгезійний) шар – використовується для фіксації теплоізоляційних плит до зовнішньої поверхні стін. Клейовий розчин забезпечує

надійне зчеплення з основою, компенсує нерівності поверхні та мінімізує утворення повітряних порожнин між утеплювачем та конструкцією.

- Теплоізоляційна плита – основний елемент системи, що виконує функцію зменшення тепловтрат через огорожувальні конструкції. Кріплення плит здійснюється комбінованим методом: механічними дюбельними елементами та клейовою сумішшю. Як правило, застосовуються мінераловатні чи пінополістирольні плити, що відповідають вимогам з теплоізоляції, паропроникності та пожежної безпеки відповідно до ДБН В.2.6-31:2021 “Теплова ізоляція будівель”.

- Допоміжні комплектуючі елементи – включають перфоровані профілі, кутники, стартові планки, а також армувальну сітку зі скловолокна, стійку до корозійних та атмосферних впливів. Ці елементи забезпечують підвищення механічної міцності системи, формування рівної площини утеплення, а також захист кутів, відкосів та зон із підвищеним експлуатаційним навантаженням.

- Герметизувальні матеріали – застосовуються для ущільнення та герметизації стиків між теплоізоляційним шаром і віконними та дверними блоками, а також компенсаційних швів. Використання герметиків попереджує проникнення атмосферної вологи, повітря та забезпечує збереження теплозахисних властивостей системи у зонах примикання та вузлах з’єднання.

- Армувально-гідроізоляційний шар – включає лугостійку армувальну сітку, інтегровану в гідроізоляційну суміш. Цей шар підвищує ударостійкість та стійкість утеплювальної системи до механічних пошкоджень, атмосферних впливів і забезпечує рівномірний розподіл напружень у системі.

- Декоративно-захисний (фінішний) шар – виконує завершальну функцію в системі утеплення. Він надає фасаду естетичного вигляду, забезпечує додатковий захист гідроізоляційного шару від руйнівних кліматичних факторів та підвищує експлуатаційну довговічність системи. Для оздоблення використовуються паропроникні декоративні штукатурки, фасадні фарби та інші покриття, що відповідають вимогам стійкості до ультрафіолету та температурних деформацій.

Таким чином, багатошарова структура системи утеплення фасадів забезпечує одночасне виконання теплоізоляційних, захисних та декоративних функцій, що дозволяє значно знизити тепловтрати будівлі, покращити мікроклімат у приміщеннях та підвищити енергоефективність об'єкта в цілому.

4.2.2 Визначення складу робіт

Роботи, відображені на блок-схемі технологічного процесу, передбачають поетапне виконання операцій з улаштування системи зовнішнього фасадного екранування огорожувальних конструкцій. Зазначена система застосовується під час нового будівництва, реставраційних робіт, а також при реконструкції та поточному ремонті будівель і споруд різного функціонального призначення. Вона забезпечує підвищення експлуатаційної довговічності огорожувальних конструкцій, поліпшення теплоізоляційних характеристик та покращення естетичного вигляду фасадної поверхні [38,39].

Технологічний процес виконання робіт включає такі основні етапи [39]:

- Попередня підготовка поверхні фасаду – передбачає очищення зовнішньої площини шафи (конструктивного елемента фасаду) від пилу, забруднень, залишків старих покриттів та інших речовин, що можуть знизити адгезійну здатність оздоблювальних матеріалів. Підготовка виконується шляхом механічної або комбінованої (механічно-хімічної) очистки із застосуванням щіток, шпательів та спеціальних мийних засобів.
- Монтаж нагрівальних та охолоджувальних плитних установок – на поверхню фасаду встановлюються плити або панелі, що виконують функцію терморегуляції та теплоізоляції. Використання нагрівальних та охолоджувальних елементів дає змогу оптимізувати температурний режим огорожувальної конструкції, зменшити тепловтрати та забезпечити стабільність мікроклімату всередині приміщень.
- Влаштування гідроізоляційного шару – передбачає нанесення спеціального гідроізоляційного покриття для захисту огорожувальної конструкції від атмосферної вологи, конденсату та корозійних впливів. Після

нанесення гідроізоляційної суміші поверхня додатково армується лугостійкою склосіткою, що забезпечує зміцнення захисного шару, підвищує стійкість до механічних навантажень та запобігає утворенню тріщин.

- Нанесення захисно-декоративного шару – завершує технологічний процес. На поверхню фасаду накладається декоративне покриття (штукатурка, фарба або інший оздоблювальний матеріал), що виконує одночасно захисну та естетичну функції. Даний шар підвищує стійкість конструкції до впливу ультрафіолетового випромінювання, вітрових та опадних навантажень, а також покращує зовнішній вигляд будівлі.

Таким чином, зазначена система фасадного екранування є комплексним інженерно-будівельним рішенням, спрямованим на забезпечення надійності, енергоефективності та довговічності експлуатації будівельних об'єктів, а також на покращення їх архітектурно-естетичних характеристик [40].

4.2.3 Організація і технологія виконання робіт

Утеплення стінових огорожувальних конструкцій здійснюється відповідно до технічного рішення, обґрунтованого на основі результатів технічного обстеження та реконструкції будівлі. Виконання робіт з теплоізоляції зовнішніх стін рекомендовано проводити в теплий період року за температури навколишнього середовища від +5 °С до +30 °С. Дотримання зазначеного температурного режиму мінімізує негативний вплив прямих сонячних променів, вітрових навантажень та атмосферних опадів на процес укладання матеріалів та забезпечує необхідні умови для якісного зчеплення ізоляційних шарів з основою [40].

Для підвищення продуктивності праці під час монтажу системи зовнішнього утеплення застосовуються механізовані засоби подачі матеріалів, зокрема грейферні пристрої та метод безтарного переміщення (так званий «метод кидання»). Тип і вантажопідйомність обладнання визначаються залежно від поверховості будівлі та параметрів транспортно-монтажних операцій.

Вибір допоміжних засобів підймально-транспортного обслуговування фасаду здійснюється з урахуванням висотності об'єкта:

- для будівель заввишки до 5 поверхів допускається застосування пересувних або стаціонарних риштувань;
- для будівель заввишки до 9 поверхів переважно використовуються стаціонарні риштування;
- для будівель висотою понад 9 поверхів доцільним є застосування комбінованих систем риштувань, що забезпечують необхідну несучу здатність і стійкість [38].

З метою оптимізації витрат та підвищення ефективності виконання фасадних робіт доцільно використовувати модульні та стаціонарні риштування промислових виробників, зокрема типу «БудМайстер». Вказані системи дають змогу оперативно формувати каркас, розширювати його конфігурацію шляхом додавання модулів (консолей, ферм, настилів тощо), змінювати робочу зону залежно від геометрії фасаду та забезпечують можливість максимально точного повторення архітектурних форм будівлі [38].

Риштування встановлюються на відстані від фасадної стіни, що дорівнює сумарній товщині теплоізоляційного шару плюс 45 см. Кріпильні елементи повинні монтуватися з незначним ухилом, що запобігатиме потраплянню атмосферної вологи до утеплювача. Проектування, монтаж, експлуатація та демонтаж риштувань здійснюються відповідно до чинних нормативних документів та вимог технічної безпеки [38–40].

Технологічна схема організації монтажних робіт може бути реалізована за вертикальним або горизонтальним принципом. Вертикальний метод (підйом або спуск матеріалів по висоті фасаду) зазвичай виконується із застосуванням підвісних кошиків або мобільних опорних підйомників. Горизонтальний метод найчастіше реалізується з використанням прив'язаних або мобільних конструкцій риштувань, залежно від характеру переміщення матеріалів по фасаду.

Чисельність і кваліфікаційний склад бригади з утеплення фасадів визначаються прийнятим технічним рішенням теплозахисту, умовами договору підряду, організаційно-технологічною схемою забезпечення матеріалами та способом підготовки основи. До складу бригади рекомендується включати фахівців, які забезпечують виконання підготовчих, загально-монтажних та спеціалізованих технологічних операцій.

Підготовчий етап робіт включає:

- встановлення тимчасових огорожень, навісів та захисних елементів над входами;
- обрізання гілок дерев (за необхідності для забезпечення доступу до фасаду);
- організацію складування, доставку будівельних матеріалів та конструкцій;
- монтаж і демонтаж риштувань з подальшою передачею підряднику або балансоутримувачу;
- монтаж і демонтаж вантажопідйомних механізмів;
- очищення фасадних поверхонь від пилу, бруду, залишків старих покриттів;
- приготування будівельних розчинів, теплоізоляційних сумішей і фасадних фарб.

Основні технологічні операції включають:

- монтаж охолоджувальних та нагрівальних плит (у разі застосування системи регулювання теплового режиму);
- механічне кріплення теплоізоляційних плит до основи;
- улаштування паро- та гідроізоляційних шарів;
- армування поверхні лугостійкою склосіткою;
- влаштування декоративно-захисного оздоблення фасаду відповідно до проєкту (фарбування, декоративна штукатурка тощо);

- забезпечення необхідної герметизації примикань до віконних та дверних прорізів, а також суміжних конструктивних елементів для запобігання тепловтратам.

Перед початком утеплення фасадів у новобудовах необхідно завершити комплекс робіт, що забезпечує готовність будівлі до теплоізоляції, а саме:

- завершення загальнобудівельних і монтажних робіт;
- влаштування гідро- та теплоізоляції покрівлі;
- встановлення віконних і дверних блоків;
- герметизація стиків між огорожувальними панелями, віконними блоками, балконними дверима та іншими конструктивними елементами;
- завершення монтажу інженерних мереж та комунікацій, що проходять у зоні утеплення.

Будівельні суміші, розчини та лакофарбові матеріали для теплоізоляційних робіт можуть готуватися безпосередньо на будівельному майданчику або постачатися у готовому вигляді. Зберігання теплоізоляційних матеріалів здійснюється у спеціально відведених складських приміщеннях на майданчику або всередині будівлі, що утеплюється, з урахуванням вимог щодо волого- та температурного режиму.

Організація будівельного майданчика є невід'ємною складовою загального планування проєкту та повинна враховувати розміщення тимчасових споруд, зон складування, під'їзних шляхів, а також забезпечувати дотримання норм охорони праці та техніки безпеки.

4.2.4 Послідовність виконання робіт

Виконання робіт з улаштування системи зовнішнього теплоізоляційного захисту житлових, громадських та промислових будівель здійснюється відповідно до встановленої технологічної послідовності, що забезпечує надійну адгезію матеріалів, довговічність системи утеплення та відповідність проєктним вимогам. Загальна технологія монтажу системи передбачає такі етапи [40]:

1. Підготовчі роботи:

- організація та підготовка будівельного майданчика, включаючи облаштування під'їзних шляхів, складування матеріалів та встановлення тимчасових огорожень;

- перевірка стану фасадної поверхні, очищення її від пилу, бруду, шару старої штукатурки, масляних забруднень тощо;

- вирівнювання поверхні та оброблення її ґрунтовими сумішами з метою покращення адгезії.

2. Монтаж стартових елементів системи:

- кріплення до нижньої частини фасаду (в зоні цоколя) відливних або дренажних профілів (стартових профілів), які забезпечують рівність першого ряду плит утеплювача та відведення конденсату;

- фіксація профілів виконується із дотриманням проєктної відмітки та горизонтальності.

3. Улаштування теплоізоляційного шару:

- приготування клейової суміші згідно з інструкціями виробника з дотриманням пропорцій та часу витримки;

- нанесення клейового розчину на поверхню теплоізоляційної плити (суцільним методом або методом «маячків») з подальшим щільним притисканням плити до огорожувальної конструкції;

- вирівнювання теплоізоляційних плит у єдину площину з мінімальними вертикальними та горизонтальними швами;

- механічне кріплення теплоізоляційних плит до фасаду за допомогою дюбелів з термоголівками після первинного схоплення клею.

4. Посилення та герметизація вузлів примикання:

- армування кутів будівлі, укосів віконних та дверних прорізів лугостійкою склосіткою для запобігання утворенню тріщин;

- герметизація стиків утеплювача з віконними та дверними блоками із застосуванням спеціальних герметиків, що забезпечують повітронепроникність і теплозахист примикання;

- улаштування металевих відливів, козирків та захисних елементів над віконними прорізами.

5. Формування армувально-гідроізоляційного шару:

- нанесення базового (гідроізоляційного) шару штукатурної суміші на поверхню утеплювача;

- втоплення лугостійкої скловолоконної сітки в шар гідроізоляційного розчину з перекриттям полотен не менше 100 мм;

- нанесення другого вирівнювального шару з метою забезпечення необхідної товщини, вологостійкості та експлуатаційної стійкості поверхні.

6. Фінішне оздоблення фасаду:

- приготування декоративно-захисних сумішей (штукатурок, фарб, фасадних систем покриття) відповідно до проектних рішень;

- нанесення декоративного шару, який виконує функції зовнішнього захисту теплоізоляційної системи від атмосферних впливів, ультрафіолету, механічних навантажень та забезпечує архітектурно-естетичний вигляд фасаду;

- виконання деформаційних та компенсаційних швів у передбачених проектом місцях, їх заповнення сумісними герметиками.

Зазначена технологія забезпечує комплексний підхід до формування зовнішньої теплоізоляційної системи та гарантує її ефективність, енергоощадність, довговічність та відповідність вимогам чинної нормативно-технічної документації.

4.2.5 Калькуляція трудовитрат та заробітної плати

Порядок розрахунку вартості праці та заробітної плати при виконанні робіт з улаштування систем зовнішнього утеплення базується на оновлених тарифах 2025 року, у яких враховано сім основних видів зайнятості працівників будівельної галузі та відповідні коригувальні коефіцієнти залежно від складності, умов виконання робіт і кваліфікаційного рівня персоналу [40].

Розрахунок здійснюється відповідно до [41], а також Збірників єдиних норм і розцінок на будівельно-монтажні роботи (ЕНіР), які регламентують

порядок обчислення витрат на оплату праці робітників будівельних спеціальностей. Відповідно до чинної методики, заробітна плата включає основну, додаткову та преміальну частини, що враховують як базові розцінки, так і додаткові витрати, пов'язані з організаційно-технологічними умовами будівництва.

У межах даного розділу проекту передбачено утеплення зовнішніх меж вольєрів із застосуванням сучасних теплоізоляційних матеріалів, що відповідають вимогам енергоефективності та екологічної безпеки. Роботи виконуються з дотриманням положень [4] та ДСТУ ISO 6946:2019, які визначають методи розрахунку термічного опору та теплопередачі огорожувальних конструкцій.

Порядок розрахунку витрат на оплату праці при проведенні зазначених робіт подано у табличній формі (табл. 4.1), де відображено такі складові:

- норми часу на виконання окремих операцій;
- тарифні ставки робітників відповідних розрядів;
- коефіцієнти умов виконання робіт (наприклад, на висоті, при низьких температурах тощо);
- преміальні та надбавкові показники;
- загальний фонд заробітної плати, необхідний для реалізації проектного рішення.

Таблиця 4.1 – Калькуляція працевитрат та заробітної плати

Назва робіт	Одиниці виміру	Об'єм робіт	Норми часу		Трудовитрати	
			Люд/год	Маш/год	Люд/год	Маш/год
1	2	3	4	5	6	7
Установка і розбирання трубчастих риштувань для зовнішніх робіт	100 м ²	-	72,5	-	72,5	-
Стісування нерівностей і виступів	100 м ²	17,88	124	-	801,04	-
Очищення стін від пилу	100 м ²	17,88	12	-	77,52	--

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7
Ґрунтування поверхні	100 м ²	17,88	3	-	19,38	-
Приготування розчину клейової суміші	100 м ²	84	0,8	0,2	67,2	16,8
Установка цокольного профілю	100 м ²	6,5	27	5	175,5	32,5
Нанесення клейового розчину на поверхню теплоізоляційних плит	100 м ²	17,88	30	-	195	-
Приклеювання плит утеплювача	100 м ²	17,88	42	-	271,32	-
Закріплення плит утеплювача дюбелями	100 м ²	17,88	12,6	-	81,9	-
Ручне шліфування плит утеплювача, знепилення	100 м ²	20,72	2,4	-	15,51	-
Установка перфорованих кутиків	100 м ²	39,78	13	-	83,98	-
Улаштування посиленого армування в області віконних прорізів	100 м ²	17,88	10	-	64,6	-
Улаштування армованого склоіткою шару	100 м ²	17,88	46	-	297,16	-
Нанесення другого шару розчинової суміші	100 м ²	17,88	31	-	200,26	-
Герметизація швів силіконовим герметиком	100 м ²	15,15	9,1	-	137,87	-
Ґрунтування поштукатуреної поверхні	100 м ²	20,72	3	-	19,38	-
Нанесення розчину декоративної штукатурки на поверхню стін	100 м ²	17,88	32	-	206,72	-
Надання фактури нанесеному штукатурному шару	100 м ²	17,88	37,5	-	242,25	-

Таким чином, представлений порядок забезпечує об'єктивне визначення вартості трудових ресурсів, сприяє плануванню кошторисних витрат та підвищує точність економічного обґрунтування проекту утеплення.

4.2.6 Технологічний розрахунок та графік виробництва робіт

Технічні розрахунки у межах даного проекту виконані на основі аналізу витрат на оплату праці, заробітної плати та продуктивності працівників. Вони становлять базову основу для формування програми використання трудових ресурсів, а також календарного графіка виконання будівельно-монтажних робіт. Отримані дані дозволяють забезпечити оптимальний розподіл робочої сили, ефективне планування використання машин і механізмів, а також прогнозування термінів реалізації окремих етапів проекту [39].

Відповідно до технічних показників, детальні розрахунки обсягів робіт і ресурсів були проведені та відображені у візуальній частині проекту (стор. 6), що відповідає вимогам [41]. У процесі розрахунків визначено, що загальна трудомісткість виконання робіт становить 1897 людино-годин та 285 машино-годин. Ці показники враховують як ручні, так і механізовані процеси при влаштуванні систем зовнішнього утеплення будівлі, що забезпечує високу точність техніко-економічних розрахунків.

Тривалість окремих операцій визначається із урахуванням трудомісткості, кількості залучених працівників, типу будівельних механізмів і вартості праці за новими тарифами 2025 року. При цьому прийнято стандартну організацію виробничого процесу з однозмінним режимом роботи, що є типовим для більшості підприємств будівельної галузі.

Визначення кількості відпрацьованих годин здійснювалося з округленням до найближчого цілого значення, що відповідає вимогам методичних рекомендацій [39,40]. Згідно з отриманими результатами, загальна тривалість виконання комплексу робіт становить 45,5 календарних днів, що включає основні, допоміжні та підготовчі етапи.

Таким чином, проведені технічні розрахунки забезпечують достовірне планування використання трудових і машинних ресурсів, створюючи основу для ефективного управління проектом, контролю термінів і забезпечення економічної доцільності будівництва.

4.2.7 Техніко-економічні показники

При розрахунку техніко-економічної вигоди від календарного графіка важливо враховувати, що тривалість будівництва буде меншою за типову і відповідатиме тривалості робіт згідно з календарним планом. Витрата праці на одиницю готової продукції визначається на 1 м³ споруди або на 1 м², чол/м³; осіб/м².

До техніко-економічних показників проекту відносяться :

1. Тривалість виконання робіт:

$$T_{заг} = 45,5 \text{ днів} \quad (4.5)$$

2. Трудомісткість виконання всього об'єму робіт:

$$Q_{заг} = 3029,1 \text{ люд} - \text{год} \quad (4.6)$$

3. Питома трудомісткість на одиницю об'єму робіт:

$$q_{пит} = \frac{Q}{V} = \frac{3029,1}{650} = 4,66 \text{ (люд} - \text{год} / \text{м}^2) \quad (4.7)$$

4. Виробіток на одного робітника – це кількість продукції в натуральних показниках, яку виробив робітник за зміну:

$$B = \frac{V}{Q} = \frac{650}{3029,1} = 0,215 \text{ (м}^2 / \text{люд} - \text{год)} \quad (4.8)$$

Висновок за розділом 4

Розділ 4 містить детальний аналіз архітектурно-будівельних і технологічних рішень для дев'ятиповерхового житлового будинку у місті Вінниця. Основні висновки та числові показники:

- Площа ділянки – 0,45 га, площа забудови – 529,2 м², площа озеленення – 693,65 м² (15% від ділянки), площа доріг і проїздів – 363,3 м², тротуарів – 251,1 м².
- Будівля має прямокутну форму, довжина – 25,2 м, ширина – 21,0 м, загальна висота – 31,1 м, кількість поверхів – 9 (цокольний і перший – 3,3 м, другий – 2,4 м, інші – 3,0 м).
- Типове планування поверху: три двокімнатні квартири (67,17 м², 68,11 м², 69,37 м²) і дві трикімнатні (83,99 м², 86,53 м²).
- Конструктивна схема: безкаркасна, несучі зовнішні стіни з повнотілої цегли товщиною 510 мм, внутрішні – 250 мм, перегородки – 120 мм. Фундаменти – палеві, об'єднані монолітними ростверками.
- Теплотехнічний розрахунок: опір теплопередачі стіни $R_{\phi} = 4,326 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, що перевищує норматив $R_n = 4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ для Вінницької області. Зовнішнє утеплення – мінераловатні плити товщиною 140 мм, загальна товщина стіни – 670 мм.
- Оздоблення: цоколь і ганки – гранітна брекчія, фасади – лицьова керамічна цегла, парапети – цементно-піщана штукатурка з фарбуванням, балкони — силікатна цегла жовтого кольору, віконні зливи – оцинкована сталь.
- Технологія утеплення: багатошарова система з клейовим шаром, теплоізоляційними плитами, армувально-гідроізоляційним шаром, декоративно-захисним покриттям. Монтаж ведеться при температурі +5...+30 °С.
- Трудомісткість і терміни: загальна трудомісткість – 1897 людино-годин, 285 машино-годин; тривалість виконання комплексу робіт – 45,5 календарних днів.

Прийняті архітектурно-будівельні та технологічні рішення забезпечують надійність, енергоефективність, пожежну безпеку й комфорт експлуатації будівлі. Всі розрахунки та вибір матеріалів відповідають чинним нормативам і сучасним вимогам до житлового будівництва. Комплексний підхід дозволяє оптимізувати витрати, скоротити терміни будівництва та забезпечити високу якість об'єкта.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В даному розділі проведемо економічне порівняння різних варіантів фасадів площею 100 м²:

- 1 варіант ділянки стін – зовнішні стіни виконуються з повнотілої цегли на цементному розчині марки М50, утеплюються мінеральною ватою товщиною 140 мм, облицьовуються керамічною цеглою.
- 2 варіант – комплексний підхід: зрошення скління, вогнезахист кріплень, протипожежний пояса (≥ 900 мм), використання негорючих матеріалів та ущільнювачів з мінеральної вати (щільність > 50 кг/м³). Для підвищення вогнестійкості алюмінієвих профілів застосовують термостійкі армовані заповнення, що зменшують деформації при нагріванні та дозволяють встановлювати великі склопакети (понад 2 м). Використання вогнестійкого скла типу Fireswiss Foam, яке має багатшарову структуру з термореактивними прошарками, які при температурі понад 200 °С спінюються, герметизують тріщини та блокують теплове випромінювання. Застосування є пожежного коробу – металеве обрамлення з мінеральною ватою, що знижує ризик поширення вогню у вентиляваному фасаді. Анкерне кріплення та оцинковані елементи підвищують пожежну безпеку без шкоди для архітектури.

Для кожного варіанту складений локальний кошторис у відповідності до КНУ Настанова з визначення вартості будівництва за допомогою кошторисної програми Будівельні технології (таблиця 5.1-5.3). Локальний кошторис складається в поточних цінах на трудові і матеріально-технічні ресурси. В локальному кошторисі визначено кошторисну вартість робіт, яка містить в собі прямі та загальновиробничі витрати.

Прямі витрати враховують заробітну плату робітників, вартість експлуатації будівельних машин і механізмів, вартість матеріалів, виробів і конструкцій. Загальновиробничі витрати будівельно-монтажної організації входять у виробничу собівартість будівельно-монтажних робіт. Для розрахунку

загальновиробничі витрати групуються в три блоки: а) засоби на заробітну плату робітників; б) відрахування на соціальні заходи; в) інші статті загально - виробничих витрат.

(найменування об'єкта будівництва)

Локальний кошторисний розрахунок на будівельні роботи № 01на Варіант 1 цегла, мінвата, плитка. фасади

(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА:
креслення(специфікації)№

Кошторисна вартість	420.472 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість	1.04238 тис. люд.-год
Кошторисна заробітна плата	88.774 тис. грн.
Середній розряд робіт	4.0 розряд

Складений в поточних цінах станом на 2025 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год. не зайнятих обслуговуванням машин	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	тих, що обслуговують машини	
										заробітної плати	в тому числі заробітної плати
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ8-18-7	Мурування зовнішніх цегляних стін з утепленням теплоізоляційними плитами товщина стіни 510 мм при висоті поверху до 4 м	1 м3 мурування без урахування товщини плит	51.0	5682.31	124.40	289798	39672	6344	9.5400	486.54
					777.89	51.44			2623	0.5712	29.13
2	КБ15-20-1	Зовнішнє облицювання по поверхні фасадними керамічними кольоровими плитками (типу «кабанчик») на цементному розчині стін	100 м2 поверхні облицювання	1.0	89101.90	67.70	89102	32532	68	414.5200	414.52
					32531.53	42.35			42	0.5135	0.51
Разом прямих витрат по кошторису							378900	72204	6412		901.06
									2665		29.64
Разом прямі витрати						грн.	378900				
в тому числі:											
вартість матеріалів, виробів і комплектів						грн.	300284				
вартість ЕММ						грн.	6412				
в т.ч. заробітна плата в ЕММ						грн.		2665			
заробітна плата робітників						грн.		72204			
всього заробітна плата						грн.		74869			
Загальновиробничі витрати						грн.	41572				
трудоємність в загальновиробничих витратах						люд-г					111.68
заробітна плата в загальновиробничих витратах						грн.		13905			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Всього по кошторису				грн.	420472				
		Кошторисна трудомісткість				люд-г					1042.38
		Кошторисна заробітна плата				грн.		88774			

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

(найменування об'єкта будівництва)

Таблиця 5.2 Локальний кошторисний розрахунок на будівельні роботи № 02

на Варіант 2 -терmostійкий склофасад. фасади

(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА:
креслення(специфікації)№

Кошторисна вартість 434.539 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість 0.14422 тис. люд.-год
Кошторисна заробітна плата 12.271 тис. грн.
Середній розряд робіт 4.0 розряд

Складений в поточних цінах станом на 2025 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год. не зайнятих обслуговуванням машин	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	тих, що обслуговують машини	
										заробітної плати	в тому числі заробітної плати
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ15-209-4	Скління в будівельних умовах металевих рам склопакетами площею до 3 м2	100 м2 склопакетів	1.0	428790.18	55.09	428790	10300	55	128.2000	128.20
					10299.59	46.87			47	0.5661	0.57
		Разом прямих витрат по кошторису					428790	10300	55		128.20
									47		0.57

Будівельні Технології: Кошторис 8.5 Онлайн

_лк 02-003-002

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Разом прямі витрати				грн.	428790				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів і комплектів				грн.	418435				
		вартість ЕММ				грн.	55				
		в т.ч. заробітна плата в ЕММ				грн.		47			
		заробітна плата робітників				грн.		10300			
		всього заробітна плата				грн.		10347			
		Загальновиробничі витрати				грн.	5749				
		трудоємність в загальновиробничих витратах				люд-г					15.45
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.		1924			
		Всього по кошторису				грн.	434539				
		Кошторисна трудоємність				люд-г					144.22
		Кошторисна заробітна плата				грн.		12271			

Склав

_____ [посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

_____ [посада, підпис (ініціали, прізвище)]

В локальних кошторисах визначено:

Варіант 1 із цегли з утеплювачем та облицювальною плиткою коштує 420,472 тис. грн.

Варіант 2 – термостійкі армовані профілі, великоформатне зрошене скління, Fireswiss Foam, пожежні пояси та короби 434,539 тис. грн.

Різниця у вартості становить:

$$434,539 - 420,472 = 14,067 \text{ тис. грн}$$

Доплата 14 тис. грн є незначною для об'єкта, проте забезпечує значну різницю у функціональності та безпеці.

Варіант 2 включає:

Вогнестійке скло Fireswiss Foam, яке блокує теплове випромінювання не допускає поширення пожежі до сусідніх приміщень.

Армовані термостійкі заповнення алюмінієвих профілів – зберігають форму при підвищених температурах → не допускають обвалу фасадної системи.

Пожежні пояси ≥ 900 мм, мінераловатні прокладки > 50 кг/м³ – стримують вертикальне та горизонтальне поширення вогню.

Пожежний короб та цинкові кріплення – значно зменшують ризик займання вентиляваного зазору.

Велике зрошене скління + армовані профілі забезпечують нижчі тепловтрати (на 12–18 % порівняно з варіантом 1) завдяки:

- триплексному вогнестійкому склу,
- збільшеній герметичності стиків,
- відсутності «містків холоду» в алюмінієвих профілях,
- мінватним пожежним прокладкам.

Припустимо, тепловтрати зменшуються мінімум на 15 %.

Середні витрати тепла через 100 м² традиційного фасаду — приблизно 8 Гкал/рік.

Вартість 1 Гкал = 1314,08 грн.

Тоді:

Економія = $8 \times 0.15 \times 1314.08 = 1576$ грн/рік

Навіть за мінімального ефекту окупність доплати:

$T = 14067 / 1576 \approx 8,9$ років

А з урахуванням росту ціни енергоносіїв окупність скорочується до 5–7 років.

Враховуємо витрати на ремонт

Варіант 1 — традиційний фасад:

Вартість ремонтів кожні 10–12 років ≈ 60 –80 тис. грн

Ймовірність заміни облицювальної цегли чи утеплювача після пожежі або намокання — висока.

Варіант 2 — сучасна скляна система:

Основні елементи служать 40–50 років.

Ремонт обмежується заміною ущільнювачів $\rightarrow 5$ –12 тис. грн раз на 15–20 років.

Прораховані сумарні витрати для двох варіантів за 30 років в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Сумарні поточні витрати на 30 років

Витрати	Варіант 1	Варіант 2
Початкова вартість	420 тис. грн	434 тис. грн
Ремонти	160 тис. грн	15 тис. грн
Економія тепла	0	-47 тис. грн
Разом	580 тис. грн	402 тис. грн

Економія вибору варіанта 2 за життєвий цикл ~ 178 тис. грн.

Висновок за розділом 5

В даному розділі складені локальні кошториси на 100 м² різних варіантів фасадів, кошторисна вартість влаштування:

Варіант1 із цегли з утеплювачем та облицювальною плиткою коштує 420,472 тис. грн.

Варіант2 – термостійкі армовані профілі, великоформатне зрошене скління, Fireswiss Foam, пожежні пояси та коробки 434,539 тис. грн.

Хоча початкові витрати на влаштування фасаду варіанта 2 більші на 14 тис. грн, комплексна економічна оцінка показує:

Окупність — 5–9 років

Загальна економія за 30 років — 178 тис. грн

Значно вища пожежна безпека та відповідність сучасним нормам

Зниження експлуатаційних витрат у 3–5 разів

Підвищена енергоефективність (економія тепла 12–18 %)

З огляду на вищезазначене, економічно доцільно обрати ВАРІАНТ 2 фасад із термостійкими армованими профілями, багатошаровим вогнестійким склінням та повним протипожежним захистом.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено алгоритм розрахунку необхідної і достатньої стійкості світлопрозорого заповнення на вищележачому поверсі щодо поверху пожежі, який можна застосовувати до висотних будівель.

2. Досліджено методику натурального вогневого випробування за оцінкою пожаростойчивості світлопрозорих фасадних конструкцій. Методика ґрунтується на максимальному температурному режимі пожежі, площі руйнування віконного огороження приміщення вогнища пожежі і враховує швидкість висхідних повітряних потоків по висоті фасаду будівлі.

3. Визначено характер розподілу температурних полів при максимальному розвитку пожежі і повному руйнуванні віконного скління на поверсі пожежі. Встановлено, що при руйнуванні світлопрозорого віконного заповнення площею $4,8 \text{ м}^2$ і зовнішньому вертикальному повітряному потоці швидкістю 3 м/с висота полум'я пожежі, що вийшла на фасад будівлі, досягає більше 3-х м, а максимальна температура в області світлопрозорого заповнення другого поверху сягає 650°C .

4. Міжповерхових пояс висотою $1,2 \text{ м}$ не перешкоджає поширенню пожежі при площі руйнування віконного отвору більше $1,82 \text{ м}^2$.

5. Встановлено, вплив площі розкритого віконного отвору на температурні поля по висоті фасаду над поверхом пожежі.

6. Доведено ефективність опускного захисного екрану як спосіб зниження (перекривання) площі віконного прорізу приміщення вогнища пожежі з метою зниження висоти полум'я і зниження інтенсивності теплового впливу на віконні конструкції вище поверху. Встановлено, що перекриття зруйнованого віконного отвору на $2/3$ його висоти знижує висоту полум'я над поверхом пожежі в 2 рази

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Томчук В. С., Швець В. В. Технології підвищення вогнестійкості світлопрозорих фасадних систем у сучасному будівництві // Матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. «Енергоефективність в галузях економіки України – 2025». Вінниця, 2025. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2025/paper/viewFile/26446/21793>
2. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. [Чинний від 2017-06-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2016. 45 с.
3. ДБН В.2.2-40:2018 Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. [Чинний від 2019-04-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2018. 63 с.
4. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2021. 62 с.
5. ДБН В.2.6-33:2018 Конструкції будівель і споруд. Скляні конструкції. [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2018. 37 с.
6. ДБН В.2.6-199:2021 Конструкції з алюмінієвих сплавів. [Чинний від 2022-04-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2021. 41 с.
7. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Настанова з оцінювання пожежної небезпеки будівельних матеріалів. [Чинний від 2011-01-01]. Київ : Мінрегіон України, 2010. 31 с.
8. ДСТУ EN 13501-1:2015 Класифікація будівельних виробів та елементів будівель за реакцією на вогонь. [Чинний від 2016-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. 51 с.

9. ДСТУ EN 1279-2:2017 Склопакети. Частина 2. Довготривала експлуатаційна придатність. [Чинний від 2018-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 45 с.
10. Мельник М. П. Навісні фасади та пожежна безпека // Технології будівництва. 2019. № 1. С. 22–29.
11. ДСТУ EN 13830:2015 Системи фасадного скління. [Чинний від 2016-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. 37 с.
12. Giraldo M. CFD modelling of façade flame spread // Journal of Fire Protection Engineering. 2017. No. 4. P. 77–89.
13. Дзюбан О. В. Конструктивні рішення фасадів висотних будівель // Вісник будівництва. 2020. № 4. С. 56–64.
14. ДСТУ EN 1991-1-2:2011 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Вплив вогню. [Чинний від 2013-07-01]. Київ : Мінрегіон України, 2011. 58 с.
15. ISO 834-1:1999 Fire resistance tests – General requirements. [Чинний від 1999-06-01]. Geneva : ISO, 1999. 26 p.
16. EN 15254-4:2018 Fire resistance test methods for curtain walling. [Чинний від 2019-01-01]. Brussels : CEN, 2018. 29 p.
17. TRNSYS Thermal Simulation Software. User Manual. Madison, WI, 2018. 184 p.
18. Пилипчук В. Д. Вогнестійкість світлопрозорих фасадних систем // Будівельні конструкції. 2021. № 3. С. 41–47.
19. Гиренко І. С. Поширення пожежі по фасадах будівель // Пожежна безпека. 2015. № 27. С. 25–32.
20. Сидоренко В. Особливості поширення полум'я у фасадних системах // Пожежна безпека. 2022. № 18. С. 33–40.
21. Yokoi S. Experimental study on façade flame spread // Fire Research Technical Report. 2018. No. 12. P. 48–55.

22. Pilkington Glass. Fire resistant glazing systems. London : Pilkington, 2019. 56 p.
23. AGC Glass Europe. Fire-resistant glazing: Technical manual. Brussels : AGC, 2020. 72 p.
24. ASHRAE. Fire safety of façade insulation systems. Atlanta : ASHRAE, 2020. 82 p.
25. European Commission. Façade fire safety guidelines. Brussels : EC, 2019. 93 p.
26. IEC. Fire resistance standards for façade testing. Geneva : IEC, 2020. 48 p.
27. Журавель В. М. Енергетична ефективність вентилязованих фасадів // Теплотехніка і будівництво. 2016. № 3. С. 38–44.
28. Корнієнко П. М. Вологісні режими стін з вентилязованим фасадом // Будівництво і архітектура. 2019. № 2. С. 51–58.
29. ASHRAE Handbook. Smoke and fire modelling. Atlanta : ASHRAE, 2021. 116 p.
30. EN 15254-1:2018 Fire safety engineering for ventilated façades. [Чинний від 2019-01-01]. Brussels : CEN, 2018. 27 p.
31. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування і забудова територій. [Чинний від 2019-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2019. 183 с.
32. ДБН В.2.2-15:2019 Житлові будинки. Основні положення. [Чинний від 2020-01-01]. Київ : Мінрегіон України, 2019. 105 с.
33. ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи. Норми проектування. [Чинний від 2007-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінбуд України, 2006. 59 с.
34. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційних матеріалів для утеплення будівель. [Чинний від 2014-01-01]. Київ : Мінрегіон України, 2013. 52 с.

35. Дудар І. Н., Прилипко Т. В., Потапова Т. Е. Довідник нормативно-технічних даних для проектування виконання робіт : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2006. 114 с.
36. ДБН Г.1-5-96 Будівельна техніка, оснастка, інвентар та інструмент. [Чинний від 1997-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держкоммістобудування України, 1997. 161 с.
37. ДСТУ Б Д.2.7-1:2012 Ресурсні кошторисні норми експлуатації будівельних машин і механізмів. [Чинний від 2013-01-01]. Київ : Мінрегіон України, 2013. 239 с.
38. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 7. [Чинні від 2023-01-01]. Київ : Мінрегіон України, 2023. 216 с.
39. ДСТУ Б Д.1.1-1:2013 Правила визначення вартості будівництва. [Чинний від 2014-01-01]. Київ : Мінрегіон України, 2014. 97 с.
40. Порядок виконання підготовчих та будівельних робіт : постанова КМУ від 13.04.2011 № 466 (у ред. від 26.08.2015 № 747). [Чинний від 2011-04-13]. Київ, 2015. 28 с.

ДОДАТКИ

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Тема роботи: Технології підвищення вогнестійкості світлопрозорих фасадних систем у сучасному будівництві

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота

(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Розділ БМГА, ФБЦЕІ, гр. 1Б-24М

(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КПІ) 2,58 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки академічного плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

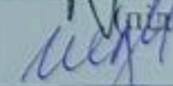
Григорук Ю.С., доцент кафедри БМГА

(прізвище, ініціали, посада)


_____ (підпис)

Швець В.В., завідувач кафедри БМГА

(прізвище, ініціали, посада)


_____ (підпис)

Блащук Н.В., відповідальна за перевірку

(підпис)

Блащук Н.В.
_____ (прізвище, ініціали)

Висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник
(підпис)

Меть І.М., доцент кафедри БМГА
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач
(підпис)

Томчук В.С.
(прізвище, ініціали)

Додаток Б – Відомість графічної частини

Лист	Зміст листа
Лист №1	Актуальність, мета, задачі
Лист №2	Предмет дослідження, об'єкт дослідження, новизна
Лист №3	Фактори ризику при загорянні ФС
Лист №4	Алгоритм оцінки пожежно-технічних характеристик світлопрозорого фасаду будівлі; типи вогнестійких склопакетів
Лист №5	Графік температур та алгоритм вимірювання
Лист №6	Конструктивне рішення протипожежних поясів в світлопрозорих фасадах
Лист №7	Схема та установка проведеного експерименту
Лист №8	Схема установки захисного екрану
Лист №9	Висновки за результатами наукового дослідження
Лист №10	Генеральний план, план першого поверху секція I-II, розріз 1-1, вузол 1, експлікація будівель та споруд, основні техніко-економічні показники
Лист №11	План перших поверхів, схема розміщення секцій, умовні позначення, вузол II
Лист №12	План типових поверхів, схема розміщення секцій, умовні позначення, вузол I
Лист №13	Конструктивне рішення протипожежних поясів в світлопрозорих фасадах, схема утеплення кута будівлі, календарний графік виконання робіт по об'єкту, схема кріплення мінераловатних плит до стіни, вказівки

- **Актуальність теми.**
- У контексті сучасних архітектурних тенденцій в Україні спостерігається активне впровадження світлопрозорих конструкцій у житловому, громадському та промисловому будівництві. Такі елементи не лише покращують естетичні характеристики споруд, але й сприяють підвищенню рівня природного освітлення, інформативності фасадів та енергоефективності будівель.
- **Метою** даної МКР є комплексне визначення причин виникнення та аналіз наслідків загоряння фасадних систем, виготовлених із різних конструктивних матеріалів, на основі вивчення реальних випадків пожеж та результатів комп'ютерного моделювання. Особлива увага приділяється оцінці пожежної небезпеки фасадних конструкцій, виявленню критичних чинників, що сприяють поширенню вогню, та систематизації ризиків, які виникають під час пожеж у будівлях різного функціонального призначення.
- Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити комплекс завдань, спрямованих на удосконалення підходів до оцінювання пожежної стійкості світлопрозорих фасадних систем висотних житлових будівель. Зокрема, передбачається:
 - розробити алгоритм визначення необхідного та достатнього рівня стійкості світлопрозорого заповнення верхнього поверху щодо поверху, на якому виникла пожежа, з урахуванням сценарію її максимального розвитку. Алгоритм має враховувати інтенсивність теплового потоку, геометрію прорізів, швидкість висхідних конвективних потоків та вплив конструктивних елементів фасаду;
 - створити методика проведення натурних вогневих випробувань світлопрозорих фасадів висотних житлових будівель з метою визначення їх фактичної пожежостійкості. Методика повинна містити вимоги до підготовки зразків, процедури фіксації критичних параметрів, оцінки граничних станів та порівняння експериментальних результатів із нормативними критеріями;
 - встановити характер просторового розподілу температурних полів по висоті фасаду будівлі під час розвитку пожежі до максимальних параметрів, включаючи визначення зон критичного температурного впливу на світлопрозорі конструкції;
 - оцінити вплив міжповерхових поясів (парапетів, протипожежних відсічок) на ймовірність та інтенсивність вертикального поширення полум'я по площині світлопрозорого фасаду. Особлива увага приділяється ролі горизонтальних захисних елементів у зниженні теплового впливу на вищерозташовані поверхи;
 - визначити залежність між площею віконного прорізу та фактичною висотою винесення полум'я вздовж фасаду будівлі, що дозволить уточнити умови теплового впливу на світлопрозорі конструкції та спрогнозувати їх потенційні граничні стани при високотемпературних потоках.

- **Об'єктом дослідження** є світлопрозорі фасадні конструкції висотних житлових будівель, що функціонують як частина огорожувальної системи.
- **Предмет дослідження** – пожежна стійкість світлопрозорих фасадних систем висотних будинків та їх здатність протистояти тепловому впливу відкритого полум'я під час пожежі.
- **Новизна роботи полягає у наступному:**
 - теоретично обґрунтовано алгоритм оцінювання стійкості світлопрозорих фасадних конструкцій під час розвитку пожежі у багатоповерхових житлових будівлях, що базується на аналізі теплових потоків, геометричних характеристик прорізів та параметрів газодинаміки;
 - отримано узагальнені дані щодо вертикального розподілу температурних полів уздовж фасаду житлового будинку за умов максимального розвитку пожежі, що дозволяє прогнозувати теплове навантаження на конструкції, розташовані на суміжних поверхах;
 - визначено критерії руйнування світлопрозорих заповнень, зокрема температурні, механічні та деформаційні параметри, що характеризують настання граничних станів Н1 (втрата цілісності), Н2 (втрата теплоізолювальної здатності) та Н3 (втрата несучої здатності);
 - встановлено залежність висоти винесення полум'я над віконним прорізом від площі зруйнованого заповнення, що має важливе практичне значення для прогнозування ризику пошкодження верхніх поверхів.

Фактори ризику при загорянні ФС

Фактори ризику	Технічні шляхи вирішення
Сильне задимлення (густих чорний їдкий дим, що виділяється при горінні утеплювача).	<ul style="list-style-type: none"> - зниження рівня виділення диму може бути досягнуто шляхом встановлення автоматичних спринклерних головок і обмеження використання горючих матеріалів в будівлі або в конструкції підлоги; - димовидалення може здійснюватися шляхом витяжки диму з атріуму як за допомогою зенітних прорізів, так і шляхом пристрою системи витяжної вентиляції, що дозволяє знизити концентрацію диму в верхній частині та обмежити його поширення в інші (суміжні) приміщення і т.п.; - обмеження використання утеплювача: пінополістирол - до 12 поверхів, мінеральні та силікатні системи - до 25 поверхів.
Горючі матеріали, що входять до складу системи НВФ. (Вогонь поширювався по фасадах, які були облицьовані АКП, що мають групи горючості Г4).	<ul style="list-style-type: none"> - в навісних фасадних системах слід застосовувати тільки композитні панелі, які успішно пройшли вогневі випробування в складі навісних фасадних систем; - при застосуванні в конструкціях горючих утеплювачів віконні та інші отвори по периметру слід обрамляють смугами шириною не менше 200 мм з мінераловатного негорючого утеплювача щільністю не менше 80-90 кг / м³; - обмеження використання утеплювача: пінополістирол - до 12 поверхів, мінеральні та силікатні системи - до 25 поверхів
Повітряний зазор, що створює ефект тяги, що сприяє збільшення швидкості поширення полум'я по фасаду будівлі.	<ul style="list-style-type: none"> - пристрій через кожні 6-9 м уздовж всього периметра будівлі сталевих горизонтальних розтинів, виконаних з тонколистової сталі товщиною не менше 0,55 мм, перекривають повітряний зазор і перешкоджають падінню палаючих крапель розплаву плівки в разі можливої пожежі; -Точний розрахунок товщини повітряного зазору
Пожежна небезпека при використанні волого-вітрозахисних мембран.	<ul style="list-style-type: none"> - при застосування волого-вітрозахисних мембран в поєднанні з мінераловатними плитами, що мають "кешовану" зовнішню поверхню, суворо забороняється; - в зв'язку з цим, при проектуванні НВФ, від вітрозахисної плівки необхідно або повністю відмовитися на користь більш досконалої теплоізоляції, або використовувати виключно негорючу мембрану; - влаштування протипожежного короба; -по висоті будівлі з певним кроком необхідна установка горизонтальних протипожежних отсечек вентиляованого фасаду
Обвалення облицювальних матеріалів в зону евакуації людей. Виліт скла з віконних прорізів в зону евакуації.	<ul style="list-style-type: none"> - установка над евакуаційними виходами з будівель навісів або козирків з негорючих матеріалів. Зазначені конструкції повинні перекривати всю ширину відповідного виходу. Довжина вильоту навісу від площини фасаду повинна становити не менше 1,2 м при висоті будівлі до 15 м і не менше 2 м при висоті більше 15 метрів; - збільшення кількості кляммерів поблизу віконних прорізів; - забезпечення кріплення кронштейнів фасадних систем безпосередньо до плит перекриттів; - застосування поясів з пожежостійкість скління на висоту поверху вище і нижче протипожежного перекриття, включаючи застосування вогнестійких полімерних плівок.
Монтажні, зварювальні, ремонтні роботи.	<ul style="list-style-type: none"> - використання сталевих елементів захисту по контуру віконних прорізів; - проектування протипожежних отсечок віконних прорізів. <p>При відстані між отворами по висоті менше 1,2 м, протипожежні відсічення виконуються по всьому периметру вікна. При відстані більше 1,2 м - нижня горизонтальна відсічення НЕ монтують.</p>
Недотримання нормованого відстані між будівлями. Відсутність пожежних проїздів	<ul style="list-style-type: none"> - застосування протипожежних завіс; - при проектуванні проїздів забезпечити можливість проїзду пожежних машин до будинків комплексу з усіх боків.

Приклади пожеж в висотних будівлях



а)



б)



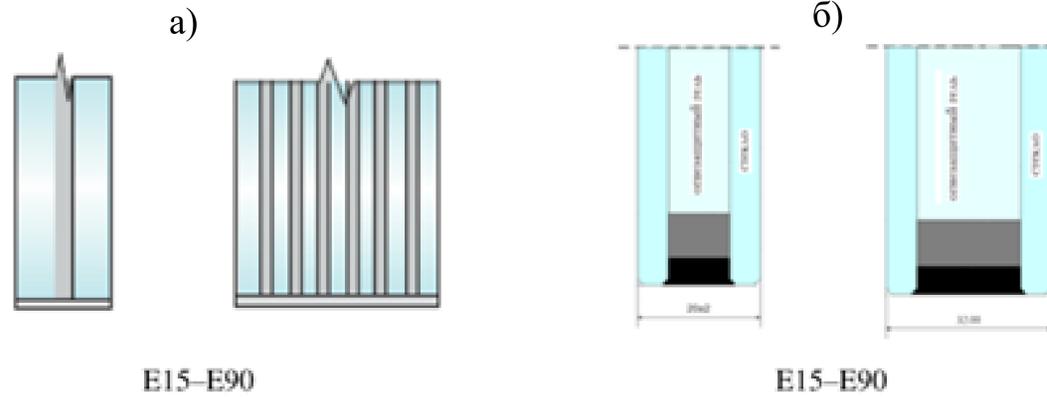
г)



г)

Типи вогнестійких склопакетів:

а) багат шарові; б) гелезалівні

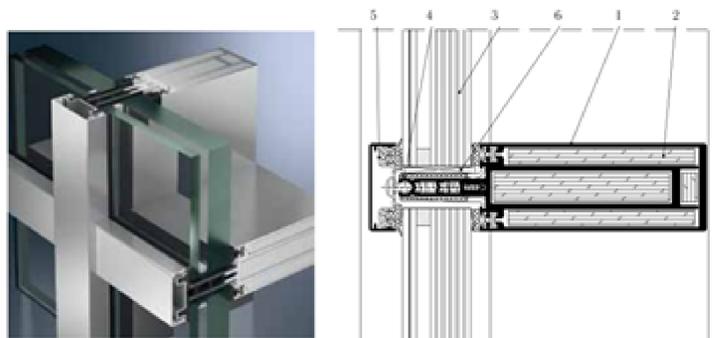


Види вогнестійкого багат шарового скла

AGC Pyrobel після впливу вогню



Конструктивне рішення вогнестійкого світлопрозорого алюмінієвого фасаду з межею вогнестійкості 60 хвилин

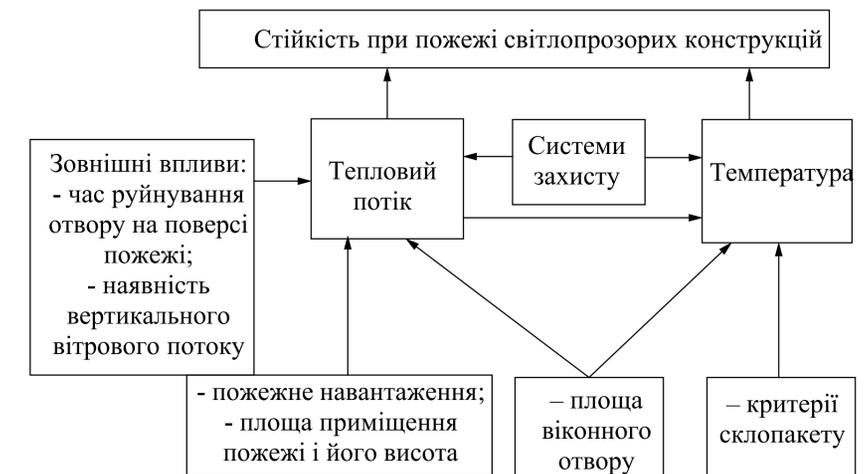


- 1 - алюмінієвий профіль; 2 - вогнестійкі ізолятори в порожніх камерах профілю;
 - 3 - вогнетривкі скло; 4 - стрічка, що спінується на ізоляторі гвинтового каналу від перевищення температури;
 - 5 - притискна планка сталевая; 6 - підкладка під склопакет виконана з твердих матеріалів
- до небезпечних факторів пожежі відносять високу температуру, зниження концентрації кисню в повітрі, високі концентрації продуктів горіння і термічного розкладання, втрату видимості через задимленості приміщень і шляхів евакуації.

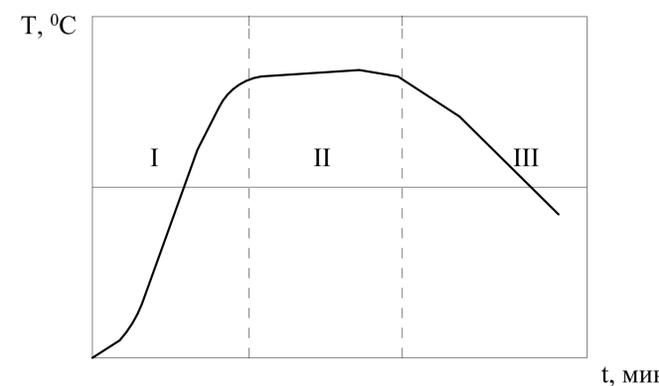
Алгоритм оцінки пожежно-технічних характеристик світлопрозорого фасаду будівлі



Блок-схема критеріїв стійкості світлопрозорого фасаду

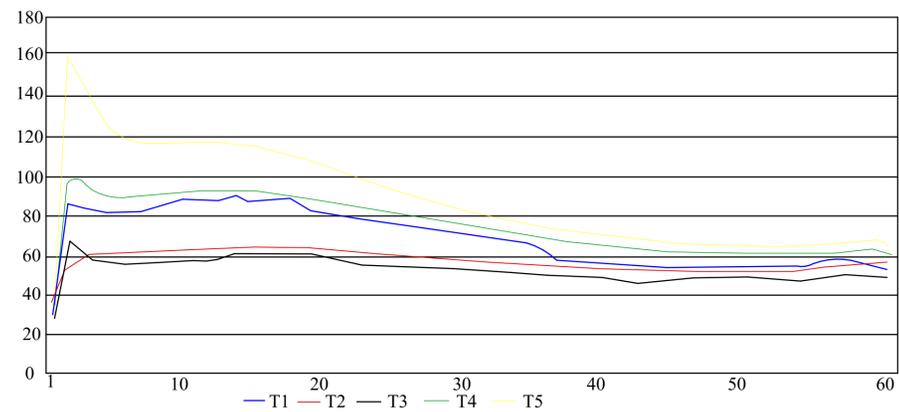


Крива, що характеризує три стадії розвитку пожежі



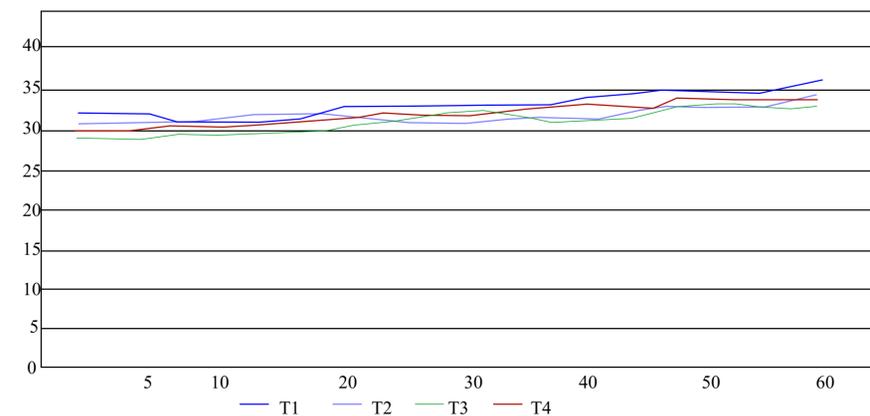
Графік температур

Зміна температур в приміщенні стенда по показникам додаткових термопар



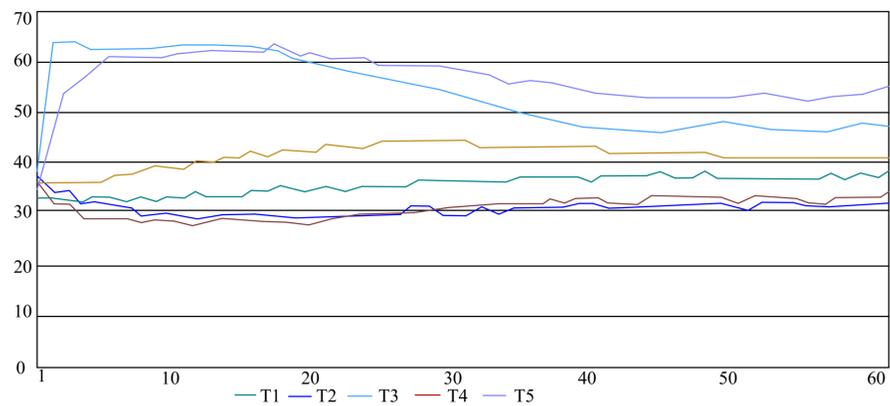
Результати вимірювань

Зміна температур на необігріваємії поверхні зразка фасада



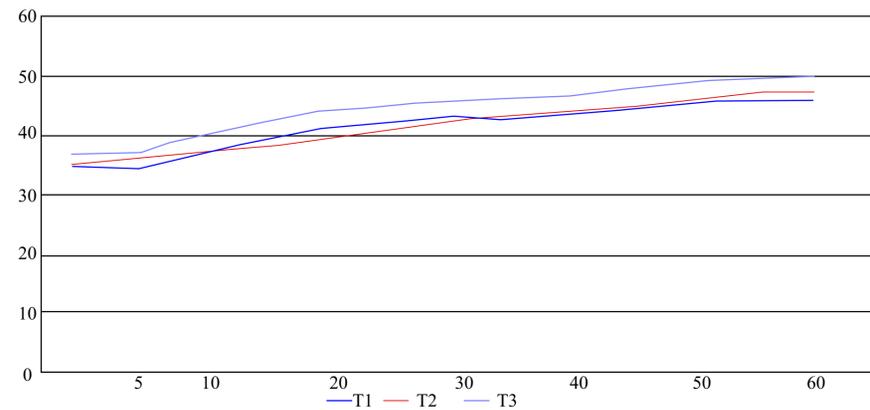
Графік температур

Зміна температур на необігріваємії поверхні зразка фасада

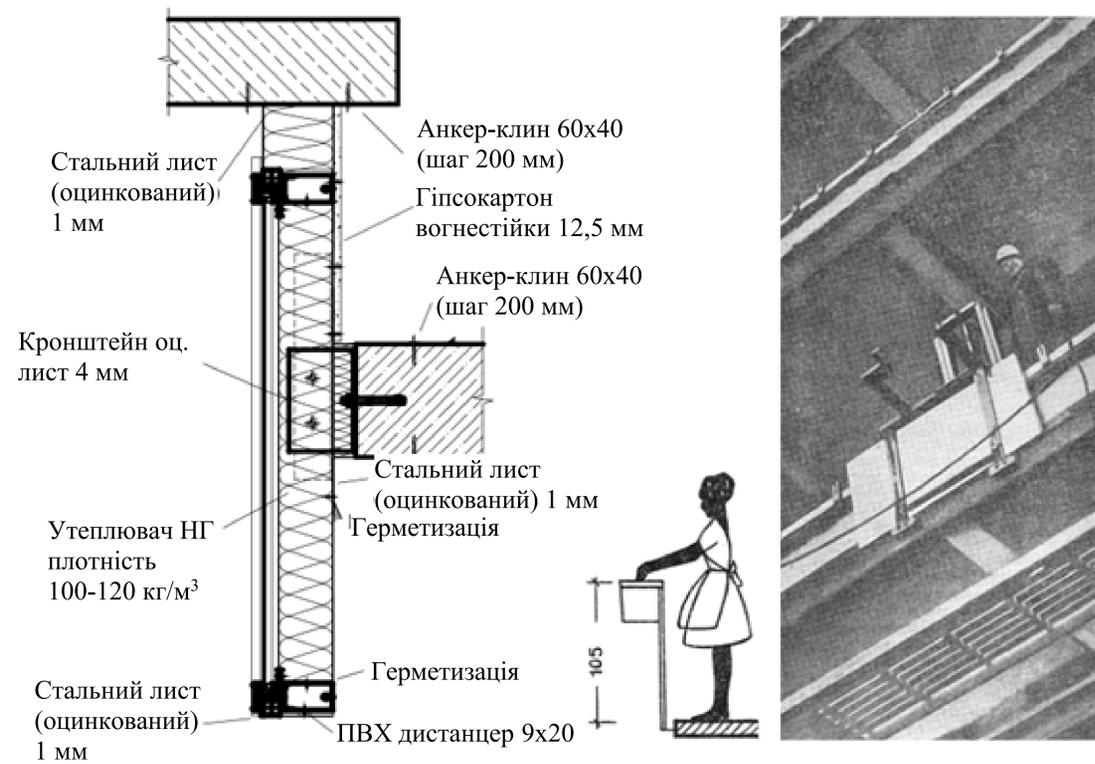


Результати вимірювань

Зміна температур на верхньому кутку примикання



Конструктивне рішення протипожежних поясів в світлопрозорих фасадах



Пожежний короб



Межа вогнестійкості будівельних конструкцій оцінюється за групами граничних станів:

R - втрата несучої здатності (обвалення або втрата стійкості);

I - втрата теплоізолювальної здатності (підвищення температура на не обігрівається поверхні понад допустиму);

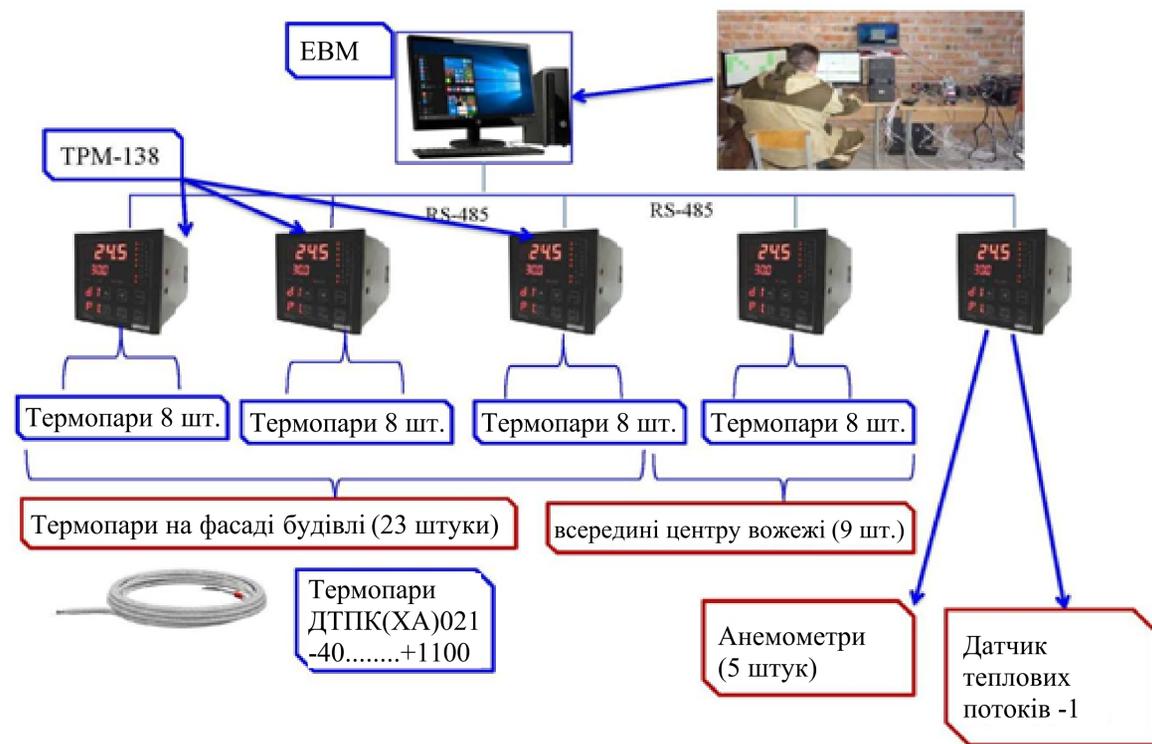
E - втрата цілісності - (освіта в конструкції наскрізних тріщин або отворів, через які в сусіднє приміщення проникають продукти горіння або полум'я);

W - досягнення граничної величини теплового потоку на нормованій відстані від поверхні конструкції (надлишкова тепла радіація від розпеченого огорожі)

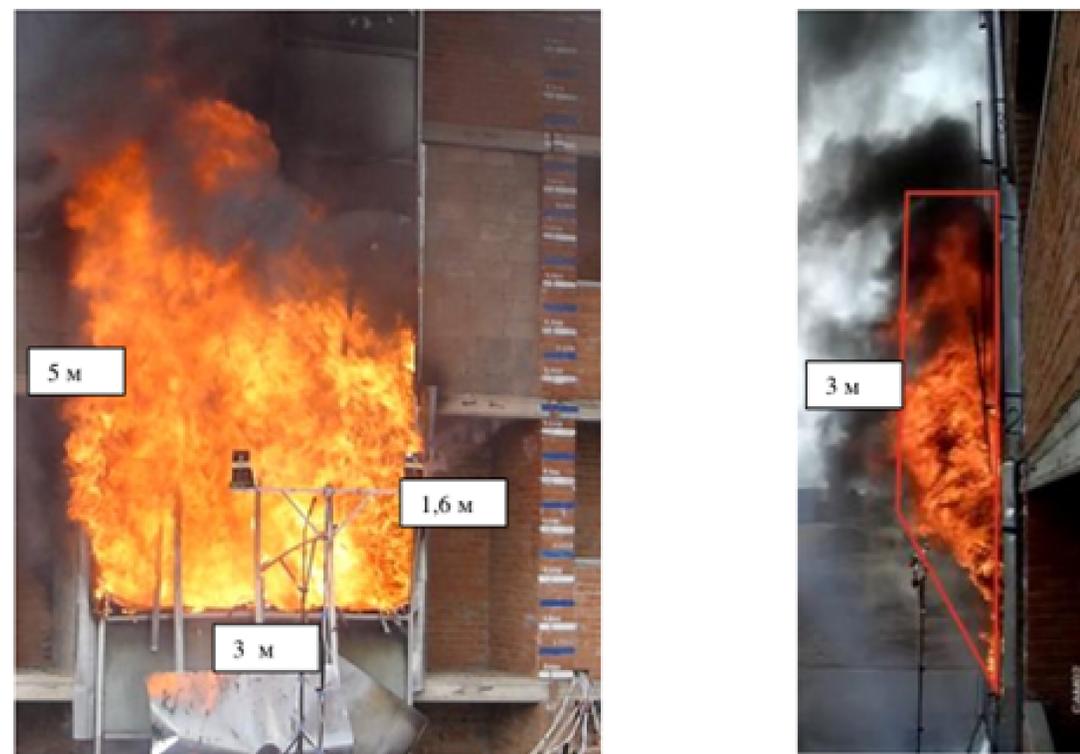
Стандарти випробувань на займистість

	Напольні матеріали	Інші продукти
Низький рівень навантаження	Навантаження в формі прямого контакту з пламенем (EN ISO 1 1925-2)	
Середній рівень навантаження	Навантаження в формі випромінювання від гарячих газів, що вивільняються в перекритому приміщенні (EN ISO 9239-1)	Навантаження в формі контакту з полум'ям єдиного джерела горіння (EN 13823)
Високий рівень навантаження	Масове загоряння горючих матеріалів в приміщенні (EN ISO 1716 і EN ISO 1 182)	

Структурна схема системи вимірювання та обробки інформації



Характерні розміри полум'я при виході з отвору 3 × 1,6 м

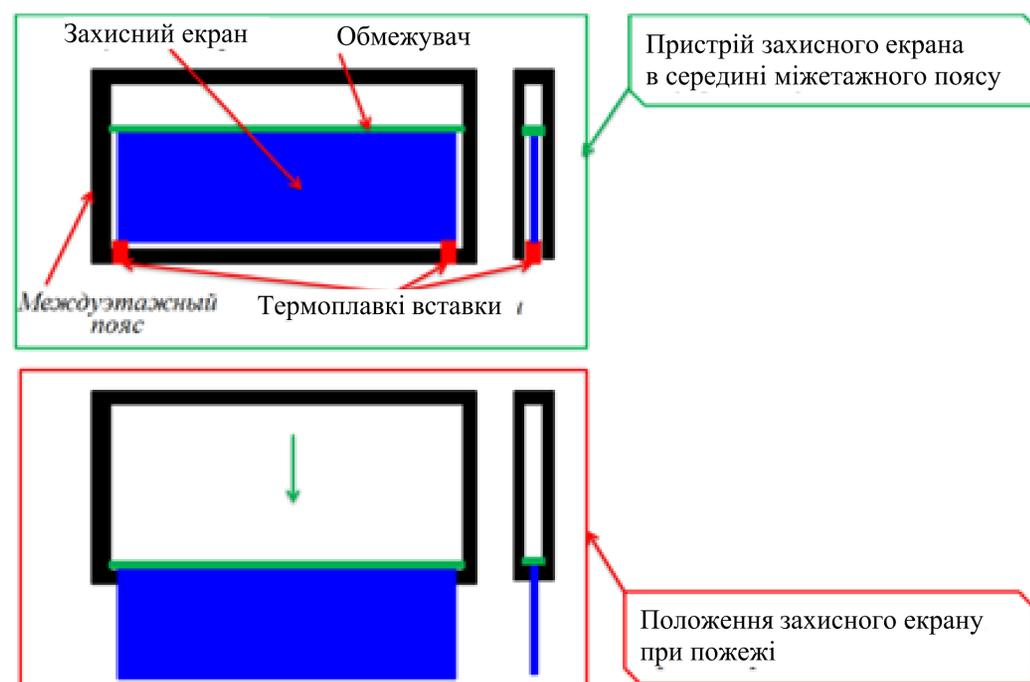


а)

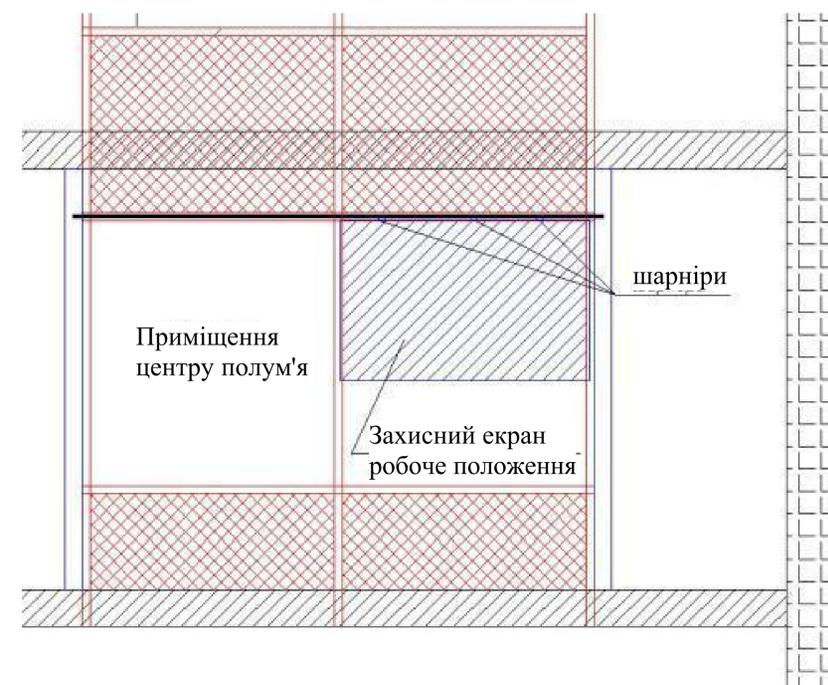
б)

а) максимальний викид 5 м; б) стабільне полум'я на рівні 3 м

Принципова модель захисного екрану



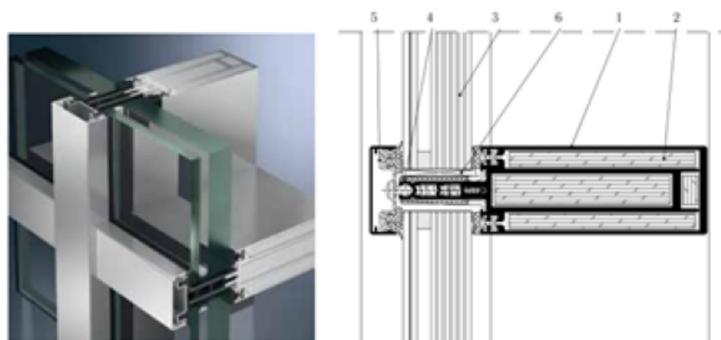
Принципова схема установки захисного екрану



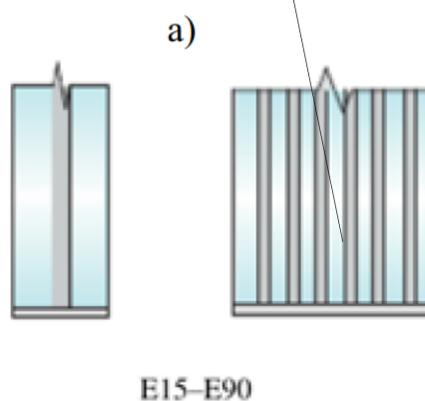
Впровадження наукової діяльності в об'єкті проектування



Конструктивне рішення вогнестійкого світлопрозорого алюмінієвого фасаду з межею вогнестійкості 60 хвилин

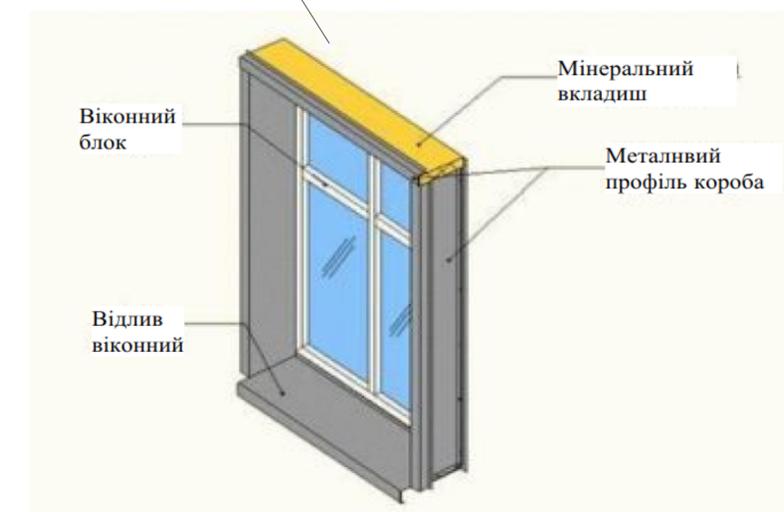


- 1 - алюмінієвий профіль; 2 - вогнестійкі ізолятори в порожніх камерах профілю;
 - 3 - вогнетривке скло; 4 - стрічка, що спінюється на ізоляторі гвинтового каналу від перевищення температури;
 - 5 - притискна планка сталева; 6 - підкладка під склопакет виконана з твердих матеріалів
- до небезпечних факторів пожежі відносять високу температуру, зниження концентрації кисню в повітрі, високі концентрації продуктів горіння і термічного розкладання, втрату видимості через задимленості приміщень і шляхів евакуації.



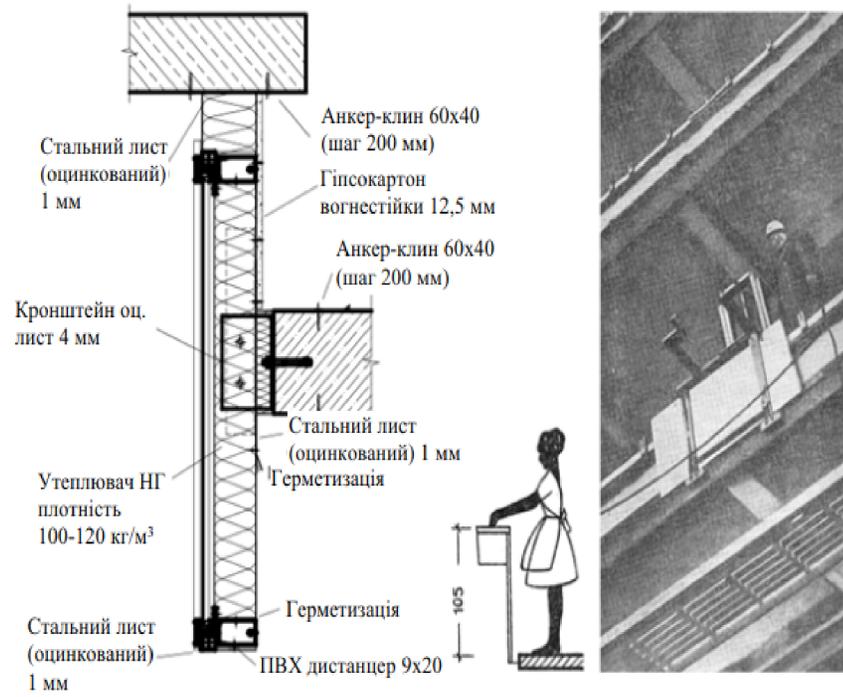
Тип вогнестійких склопакетів які використовуються в будівлі

Пожежний короб

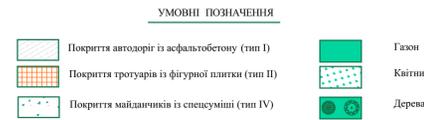
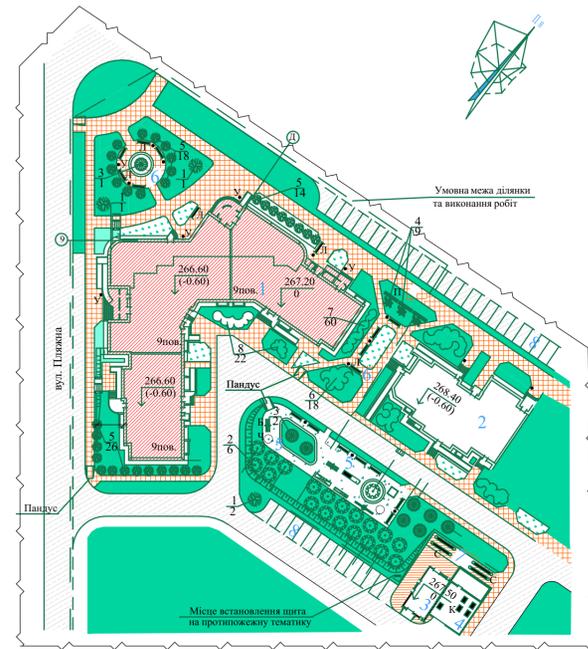


Вузол 1

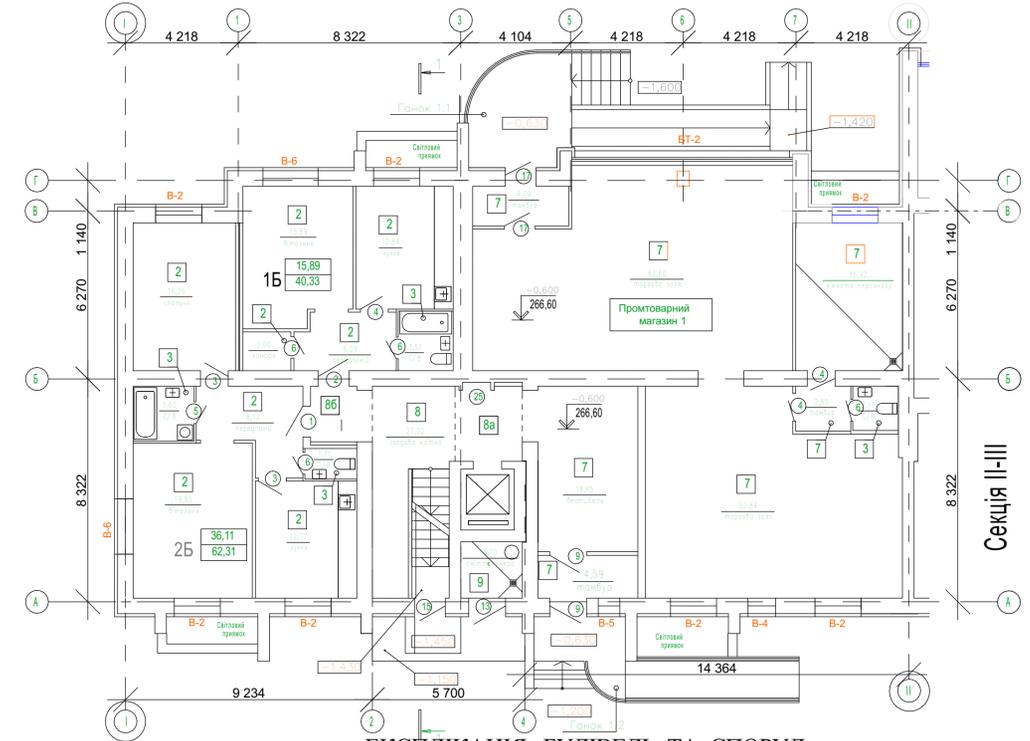
Конструктивне рішення протипожежних поясів в світлопрозорих фасадах



Генеральний план



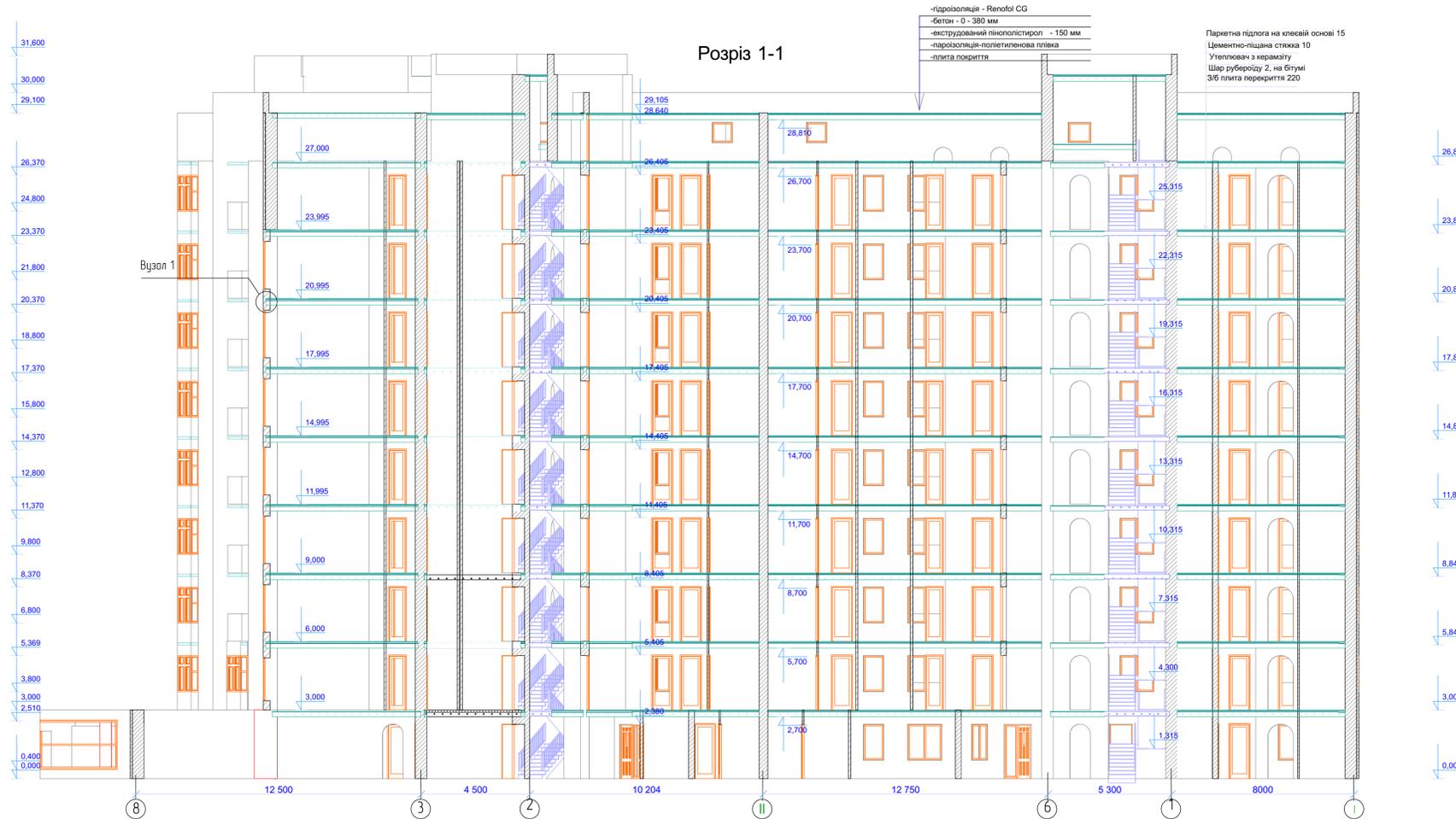
План першого поверху Секція I-II



ЕКСПЛІКАЦІЯ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

№ по ГП	Найменування будівлі (споруди)	Пов.	Площа забудов. м2	Примітки
1	Житловий будинок на 98 квартир з вбудовано - прибудованими приміщеннями	9	1928	Інд. проект
2	Спортивний комплекс	2	-	Подальше проект
3	Трансформаторна підстанція		70	ТП407-3-517.88
4	Сміттєзбірник з побутовими приміщеннями		123	Проект. індивід.
5	Дитячий майданчик			Проект.
6	Майданчик для відпочинку дорослих			Проект.
7	Майданчик для господарських цілей			Проект.
8	Автостоянка (3шт.)			Проект.

Розріз 1-1



ОСНОВНІ ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Найменування		Кількість
1.	Площа території (в межах виконання робіт),	м ² 8154
2.	Площа забудови,	м ² 2121
3.	Площа покриття,	м ² 3162
4.	Площа озеленення,	м ² 2871
5.	Коефіцієнт забудови	0,29
6.	Коефіцієнт покриття	0,31
7.	Коефіцієнт озеленення	0,40

08-11МКР.018-А6					
М. ВІННИЦЯ					
Зм.	Кільк.	Лист	ІР Фак	Підпис	Дата
Розробил	Томчик В. С.				
Перевірив	Мель І. М.				
Керівник	Мель І. М.				
Нач. контролю	Мазьєцька І. В.				
Опонував	Слободян Н. М.				
Затвердив	Швець В. В.				

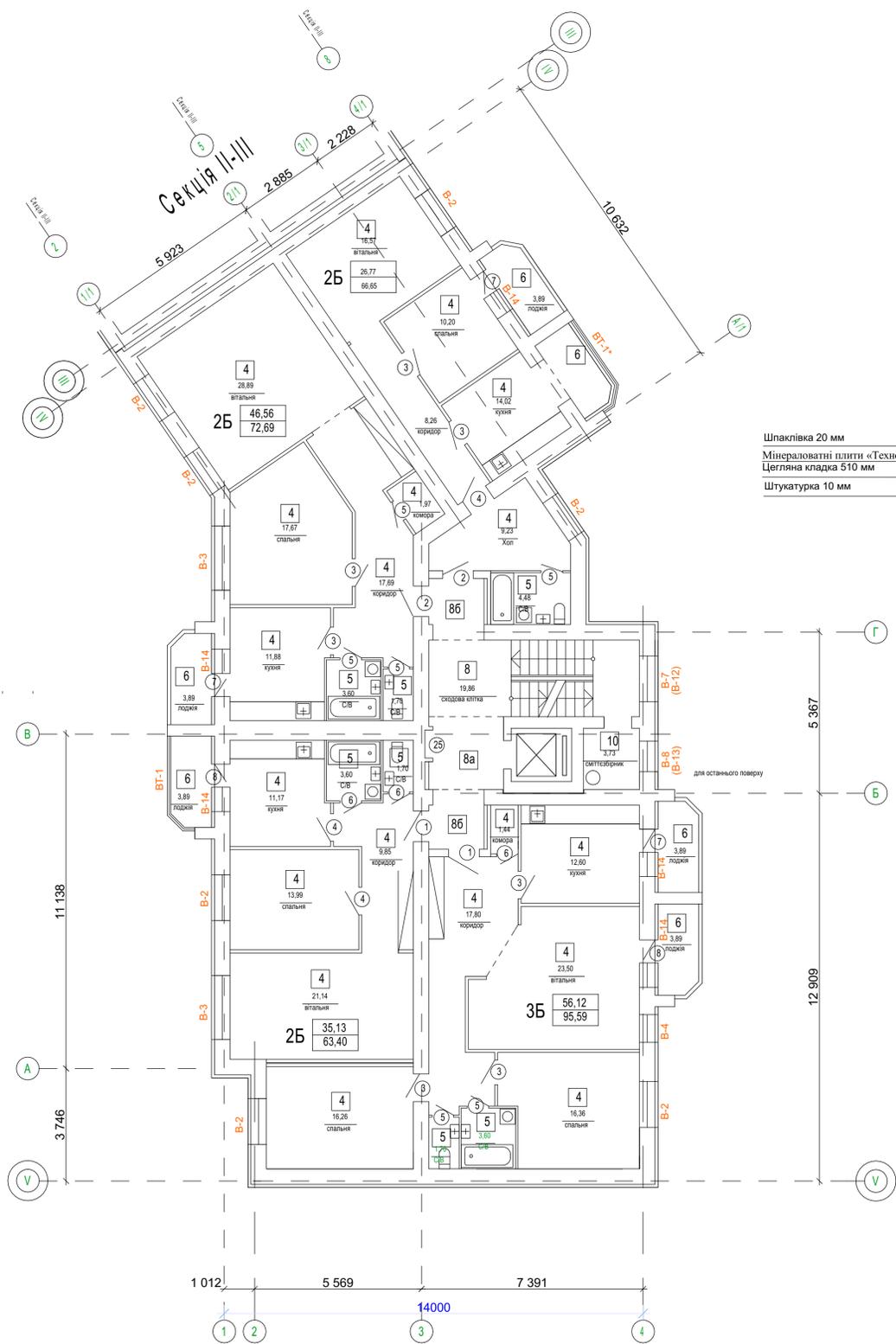
Технологія підвищення вогнестійкості світлопрозорих фасадних систем у сучасному будівництві

Генеральний план, план першого поверху Секція I-II, розріз 1-1, вузол 1, експлікація будівель та споруд, основні техніко-економічні показники

Сторінка 10 з 13

ВНТУ, зр. 15-24м

План типового поверху Секція IV-V

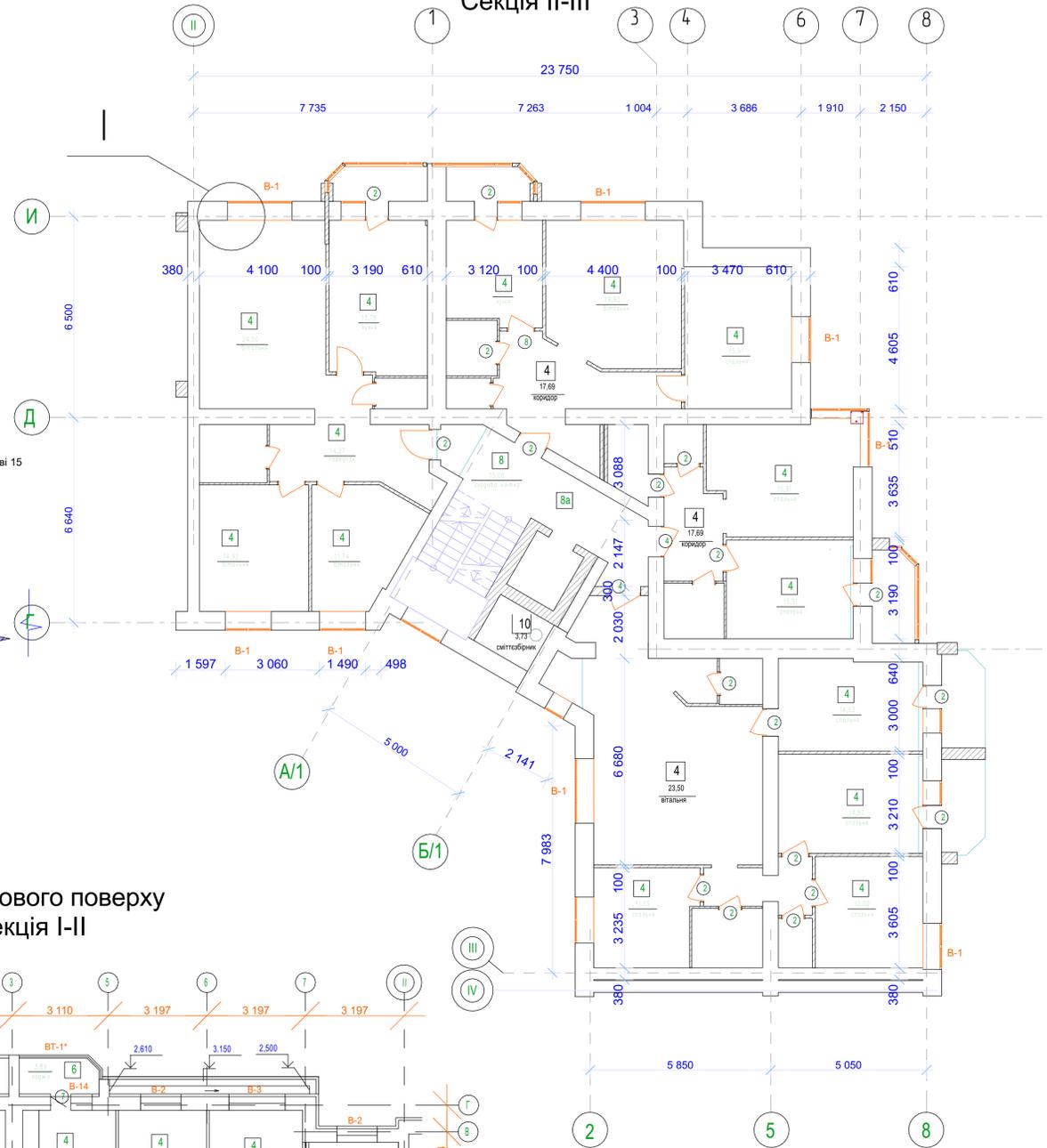


Шпаклівка 20 мм
Мінераловатні плити «ТехноНіколь»
Цегляна кладка 510 мм
Штукатурка 10 мм



Паркетна підлога на клеєвій основі 15
Цементно-піщана стяжка 10
Утеплювач з керамзиту
Шар рубероїду 2, на бітумі
З/б плита перекриття 220

Типовий поверх Секція II-III



План типового поверху Секція I-II

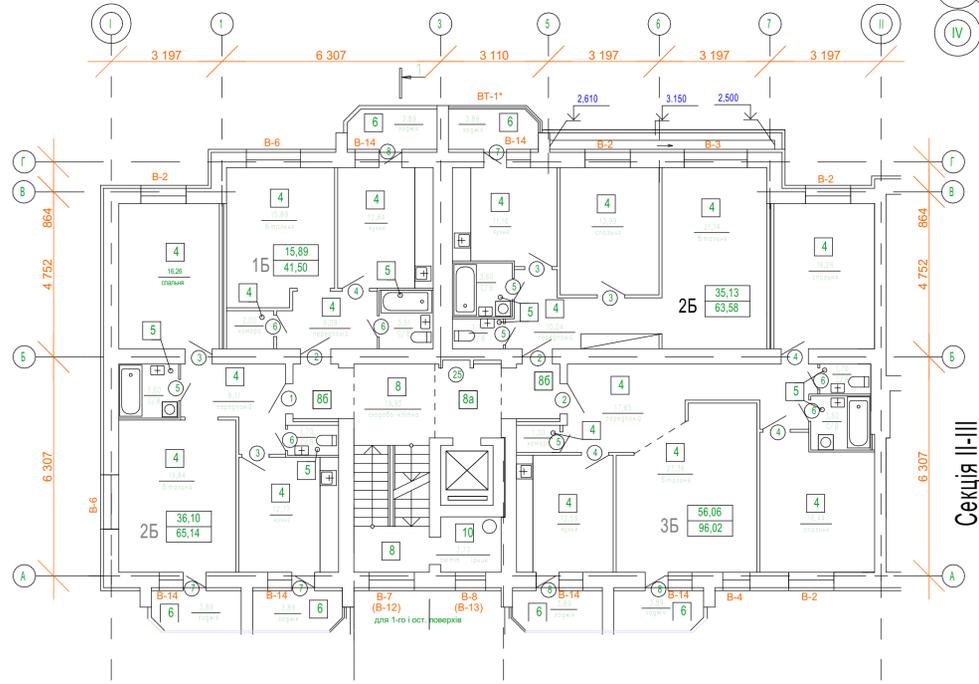
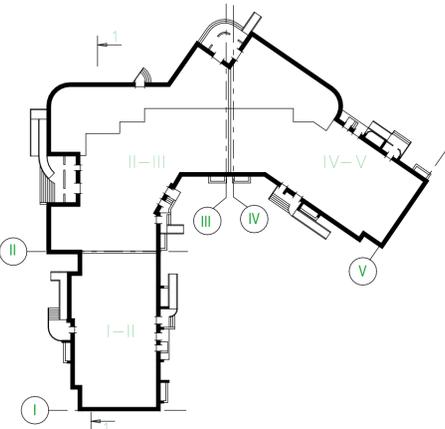


Схема розміщення секцій



УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

- ① - тип дверей
- B-1 - тип вікон
- 1 - тип підлог

				08-11МКР.018-А6		
				м. ВІННИЦЯ		
Зм.	Кільк.	Лист	ЛР Фак	Підпис	Дата	
Розробник	Томчук В. С.					Технології підвищення енергетичності світлопрозорих фасадних систем у сучасному будівництві
Перевірив	Мель І. М.					Словова
Керівник	Мель І. М.					Аркшв
Нач. контролю	Мазько І. В.					Аркшв
Опоналіт	Слодован Н. М.					п
Затвердив	Швець В. В.					12
				Плани типових поверхів, схема розміщення секцій, умовні позначення, бузол I		
				ВНТУ, гр. 15-24м		

ВІДГУК

керівника магістерської кваліфікаційної роботи
здобувача Томчука Віталія Станіславовича
(прізвище, ім'я, по-батькові)

на тему: Технології підвищення вогнестійкості світлопрозорих фасадних систем у сучасному будівництві

В магістерській кваліфікаційній роботі досліджено актуальне питання удосконалення технології вогнестійкості світлопрозорих фасадних систем у сучасному будівництві, адже такі елементи не лише покращують естетичні характеристики споруд, але й сприяють підвищенню рівня природного освітлення, інформативності фасадів та енергоефективності будівель.

Тема магістерської кваліфікаційної роботи відповідає виданому завданню та напрямку наукових досліджень кафедри будівництва, міського господарства та архітектури. Магістрант самостійно і відповідально виконував поставлені завдання наукового дослідження, вміло систематизував дані з інформаційних джерел, фахової літератури, знання нормативної бази в будівництві.

У ході роботи Томчук В. С. успішно застосовував програмні комплекси та графічні редактори для обробки графіко-аналітичного матеріалу. У підготовці роботи проявив старанність та наполегливість. Вчасно та в необхідному обсязі представив роботу на попередньому захисті, дотримувався термінів календарного графіку виконання магістерської роботи.

Результати досліджень апробовані на Міжнародній науково-технічній конференції "Енергоефективність в галузях економіки України-2025", 19-20 листопада 2025 р., м. Вінниця, ВНТУ.

Магістерська кваліфікаційна робота виконується на основі завдання на проектування відповідно до діючих норм та стандартів.

Магістерська кваліфікаційна робота оформлена якісно.

Усі проектні рішення достатньо обґрунтовані, креслення оформлені згідно норм та стандартів.

Робота може бути реалізована в будівельній практиці.

До основних недоліків роботи слід віднести:

- недостатньо обґрунтовано алгоритм оцінювання вогнестійкості світлопрозорих фасадних конструкцій у багатоповерхових житлових будівлях.

Висновки: якість підготовки здобувача Томчука Віталія Станіславовича відповідає вимогам освітньої програми підготовки «Промислове та цивільне будівництво» за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія» і магістрант заслуговує присвоєння ступеня магістра та на оцінку добре «С».

Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент



I. M. Меть

ВІДГУК ОПОНЕНТА
на магістерську кваліфікаційну роботу

здобувача Томчука Віталія Станіславовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему: Технології підвищення вогнестійкості світлопрозорих фасадних систем у сучасному будівництві

Магістерська кваліфікаційна робота є актуальною і присвячена дослідженню технологій підвищення вогнестійкості світлопрозорих фасадних систем будівель. В роботі проведено аналіз сучасних типів фасадного скління, їх експлуатаційних характеристик та критеріїв руйнування під дією теплових потоків. Також магістрант розглянув закономірності розвитку пожежі вздовж площини фасаду, механізми вертикального поширення полум'я та вплив конвективних потоків на поведінку склопакетів.

Тема МКР відповідає напрямку наукових досліджень кафедри БМГА. Магістерська кваліфікаційна робота, яку подано на опонування, відповідає затвердженій темі та завданню, виконана вчасно та у повному обсязі. Вступ роботи містить аспекти актуальності, проблеми дослідження, мету і завдання, об'єкт і предмет, наукову новизну та практичну цінність досліджень.

Робота містить розділи з архітектурно-будівельних рішень, технології виконання робіт, теплотехнічних розрахунків та економічного обґрунтування. Отримані результати можуть бути використані для удосконалення нормативних вимог та підвищення рівня протипожежної безпеки сучасних будівель

Виявлені такі недоліки:

- недостатньо вичені методи та теоретичні підходи щодо оцінки стійкості фасадних світлопрозорих конструкцій у разі пожежі;
- в графічній частині магістерської роботи не наведено усіх наслідків руйнування фасадних світлопрозорих конструкцій.

Проте вказані недоліки не впливають на позитивне враження від роботи.

Магістерська кваліфікаційна робота в цілому виконана на достатньому рівні та у відповідності з завданням із дотриманням всіх вимог. Робота заслуговує оцінки С, а її автор Томчук Віталій Станіславович – присвоєння кваліфікації «магістра будівництва» за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія», згідно освітньої програми «Промислове та цивільне будівництво».

Доцент кафедри ІСБ, к.т.н., доцент
(посада, науковий ступінь, вчене звання) (підпис)



Н. М. Слободян