

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНЕ НЕКОМЕРЦІЙНЕ ПІДПРИЄМСТВО
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»
ФАКУЛЬТЕТ НАУК ПРО ЗДОРОВ'Я
КАФЕДРА ЦИВІЛЬНОЇ ТА ПРОМИСЛОВОЇ БЕЗПЕКИ
ІМ. ГЕРОЯ УКРАЇНИ ЧУБА ОЛЕКСАНДРА СЕРГІЙОВИЧА

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ Батир ХАЛМУРАДОВ
«_____» _____ 2025р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)
ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 263 «ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА»

**Тема: «Підвищення стійкості промислової будівлі
електромеханічного заводу за рахунок підвищення межі
вогнестійкості основних будівельних конструкцій»**

Виконавець: _____ студент групи Мз-263-24-1 Віктор АПЕНЬКО
(студент, група, ім'я, прізвище)

Керівник: _____ к. т. н., доцент Євген Доронін
(підпис) (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

Консультанти:

Охорона навколишнього
середовища _____ д.т.н., професор Оксана ТИХЕНКО
(підпис) (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

Нормоконтролер: _____ Віталій НЕЧИПОРУК
(підпис) (ім'я, прізвище)

ДЕРЖАВНЕ НЕКОМЕРЦІЙНЕ ПІДПРИЄМСТВО
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»
Факультет наук про здоров'я
Кафедра цивільної та промислової безпеки ім. Героя України Чуба О.С.
Спеціальність: 263 «Цивільна безпека»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Батир ХАЛІМУРАДОВ
« _____ » _____ 2025р.

**ЗАВДАННЯ
на виконання кваліфікаційної роботи**

Апенька Віктора Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача вищої освіти в родовому відмінку)

1. Тема роботи « Підвищення стійкості промислової будівлі електромеханічного заводу за рахунок підвищення межі вогнестійкості основних будівельних конструкцій » затверджена наказом президента від «28» серпня 2025р. №1562/ст.
2. Термін виконання роботи з 29.09.2025р. по 25.12.2025р.
3. Вихідні дані роботи: нормативно-правові документи та документи із забезпечення безпеки критичної інфраструктури, та нормативно-правові документи що регулюють відносини, пов'язані із захистом населення, територій, навколишнього середовища та майна від надзвичайних ситуацій.
4. Зміст пояснювальної записки: забезпечення захисту та стійкості об'єктів критичної інфраструктури; забезпечення стійкості будівель та споруд під час пожежі; розробка матеріалу захисту металевих конструкцій на базі золи сміттєспалення; екологічні аспекти утилізації відходів сміттєспалення
5. Календарний план-графік:

№ п/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	Аналітичний огляд літературних джерел	29.09.2025-01.10.2025	
2	Складання календарного плану кваліфікаційної роботи, пошук та збір інформації, аналіз наукової літератури	02.10.2025-03.10.2025	
3	Загальна характеристика	04.10.2025-05.10.2025	

4	Підготовка додатків до пояснювальної записки	06.10.2025-08.10.2025	
5	Підготовка основної частини (Розділ I)	09.10.2025-19.10.2025	
6	Підготовка основної частини (Розділ II)	20.10.2025-30.10.2025	
7	Підготовка основної частини (Розділ III)	31.10.2025-10.11.2025	
8	Підготовка основної частини (Розділ IV)	11.11.2025-21.11.2025	
9	На основі проаналізованої інформації написати загальні висновки	22.11.2025-26.11.2025	
10	Передзахист кваліфікаційної роботи	27.11.2025	
11	Підготовка до захисту: доповідь, презентація, ілюстративний (роздатковий) матеріал	28.11.2025-15.12.2025	
12	Захист кваліфікаційної роботи до	25.12.2025	

Дата видачі завдання: «28» серпня 2025 р.

Керівник кваліфікаційної роботи: _____ Доронін Є. В.

Завдання прийняв до виконання: _____ Апенько В. В.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Підвищення стійкості промислової будівлі електромеханічного заводу за рахунок підвищення межі вогнестійкості основних будівельних конструкцій»: 94 с., 18 рис., 8 табл., 33 літературних джерела.

Об'єкт дослідження: Виробнича будівля електромеханічного заводу.

Мета роботи: розробка матеріалу, здатного підвищити межу вогнестійкості металевих конструкцій.

Методи дослідження: проведення досліджень фізико-механічних та теплофізичних властивостей вогнезахисного матеріалу, порівняльний аналіз, обробка літературних джерел.

Результати магістерської роботи рекомендується використовувати під час проведення наукових досліджень та в практичній діяльності фахівців-екологів.

МЕЖА ВОГНЕСТІЙКОСТІ, ВОГНЕЗАХИСНИЙ МАТЕРІАЛ,
УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ СПАЛЮВАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ,
ЗОЛА- УНОС, ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ ЗАВОД

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАХИСТУ ТА СТІЙКОСТІ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ.....	8
1.1 Вимоги нормативно-правових документів до об'єктів критичної інфраструктури.....	8
1.2 Забезпечення захисту та стійкості об'єктів критичної інфраструктури....	11
1.3 Сектори критичної інфраструктури та їх характеристика.....	15
РОЗДІЛ 2. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД ПІД ЧАС ПОЖЕЖІ.....	18
2.1 Об'ємно-планувальні рішення виробничих будівель.....	18
2.2 Поведінка металевих конструкцій під час пожежі.....	29
2.3 Методи захисту металевих конструкцій під час пожежі.....	36
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МАТЕРІАЛУ ЗАХИСТУ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ НА БАЗІ ЗОЛИ СМІТТЄСПАЛЕННЯ.....	55
3.1 Матеріали та методи досліджень.....	55
3.2 Розробка захисних складів.....	53
3.3 Дослідження властивостей розробленого матеріалу.....	65
3.4 Розрахунок межі вогнестійкості колони, облицьованої вогнезахисним матеріалом.....	71
РОЗДІЛ 4. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ СМІТТЄСПАЛЕННЯ.....	76
4.1. Обсяги утворення та класифікація відходів.....	76
4.2. Відходи як вторинна сировина.....	79
4.3. Екологічна небезпека спалювання та система поводження з відходами...	81
ВИСНОВКИ.....	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	92

ВСТУП

Актуальність теми. Підчас впливу при пожежі високої температури на будівельні конструкції виникає загроза руйнування будівлі в цілому, так як нагрівання матеріалів, з яких збудована та чи інша конструкція будівлі викликає зміну фізичних властивостей матеріалів, наслідком чого є зниження міцносних властивостей матеріалів (особливо сталі та деревини), що зазвичай призводить до руйнування конструкцій (частково або повністю), знижуючи таким чином стійкість будівлі в цілому. Тому захист матеріалів конструкцій та/або їх самих від впливу високих температур при пожежі є актуальною задачею.

Мета і завдання виконання кваліфікаційної роботи полягає в розробці матеріалу, здатного підвищити стійкість будівельних конструкцій, виконаних зі сталі.

Задачами досліджень є:

- вивчення переліку матеріалів, які використовуються при захисті будівельних конструкцій від впливу високих температур;
- розробка складу матеріалу, здатного захистити будівельні конструкції від впливу високих температур, збільшуючи тим самим стійкість будівлі в цілому та стійкість об'єкта критичної інфраструктури в цілому;
- вивчення властивостей розробленого вогнезахисного матеріалу.

Об'єкт дослідження є виробнича будівля електромеханічного підприємства.

Предмет дослідження захист будівельних конструкцій від впливу високих температур

Методи дослідження. Наводяться використані методи дослідження для досягнення поставленої в роботі мети.

Наукова новизна отриманих результатів та практичне значення отриманих результатів.

Апробація отриманих результатів. Робота пройшла апробацію на Дванадцятій міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми інформатизації”, яка відбулася 21 – 22 листопада 2024 р. Організатори Баку –

Харків – Бельсько-Бяла.

Публікації. Результати досліджень опубліковані в матеріалах Тринадцятої міжнародної науково-технічної конференції “Проблеми інформатизації” Баку – Харків – Бельсько-Бяла 27 – 28 листопада 2025 р. Т. С. 115. Апенько В. В., Доронін Є. В., Нечипорук В. В. Забезпечення стійкості металевих колон промислових будівель.

РОЗДІЛ 1

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАХИСТУ ТА СТІЙКОСТІ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

1.1 Вимоги нормативно-правових документів до об'єктів критичної інфраструктури

Критична інфраструктура – сукупність об'єктів критичної інфраструктури. Об'єкти критичної інфраструктури – підприємства та установи (незалежно від форми власності) таких галузей, як енергетика, хімічна промисловість, транспорт, банки та фінанси, інформаційні технології та телекомунікації (електронні комунікації), продовольство, охорона здоров'я, комунальне господарство, що є стратегічно важливими для функціонування економіки і безпеки держави, суспільства та населення. Виведення з ладу або руйнування таких об'єктів може мати негативний вплив на національну безпеку і оборону, природне середовище, призвести до значних матеріальних та фінансових збитків, а також людських жертв.

Закон України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» використовує термін «Критично важливі об'єкти інфраструктури», визначаючи їх як юридичні особи, діяльність яких безпосередньо пов'язана з технологічними процесами та/або наданням послуг, що мають велике значення для економіки та промисловості, функціонування суспільства та безпеки населення. Виведення з ладу або порушення функціонування таких об'єктів може справити негативний вплив на стан національної безпеки і оборони України, навколишнього природного середовища, заподіяти майнову шкоду та/або становити загрозу для життя і здоров'я людей.

Цей же Закон надає взаємопов'язане визначення об'єкта критичної інформаційної інфраструктури: комунікаційна або технологічна система об'єкта критичної інфраструктури, кібератака на яку безпосередньо вплине на стале функціонування такого об'єкта. Порядок віднесення об'єктів до об'єктів критичної інфраструктури затверджено постановою Кабінету Міністрів

України «Деякі питання об'єктів критичної інфраструктури» від 9 жовтня 2020 р. № 1109 (з подальшими змінами). Цей Порядок визначає механізм віднесення об'єктів до критичної інфраструктури та їх категоризації. Уповноважені органи, використовуючи перелік секторів (підсекторів) та основних послуг критичної інфраструктури, ідентифікують об'єкти своїх секторів.

Основним нормативним актом, що регулює сферу критичної інфраструктури в Україні, є Закон України «Про критичну інфраструктуру» від 16 листопада 2021 року № 1882-IX. Він визначає правові та організаційні засади створення та функціонування національної системи захисту критичної інфраструктури. Закон встановлює принципи захисту, суб'єктів національної системи, їх повноваження, а також механізми ідентифікації, категоризації та паспортизації об'єктів. Критична інфраструктура поділяється на сектори, перелік яких затверджується Кабінетом Міністрів України. Станом на 2025 рік перелік секторів оновлювався кілька разів (зокрема, постановами № 48 від 16 січня 2024 р., № 455 від 9 травня 2023 р. та іншими), з урахуванням досвіду повномасштабної війни та необхідності посилення захисту.

Значення критичної інфраструктури для держави важко переоцінити. Вона забезпечує життєво важливі функції суспільства: від постачання енергії та води до транспорту, охорони здоров'я та фінансових послуг. Руйнування або порушення роботи таких об'єктів може призвести до каскадних ефектів – ланцюгової реакції, коли вихід з ладу одного об'єкта тягне за собою зупинку інших. Наприклад, пошкодження енергетичних мереж призводить до відключення води, зв'язку та медичних послуг. У мирний час це загрожує економічними збитками та соціальною нестабільністю, а в умовах війни – безпосередньо національній безпеці.

В Україні проблема захисту критичної інфраструктури загострилася після початку повномасштабного вторгнення Росії у 2022 році. Масовані ракетні та дроніві атаки на енергетичну систему, дамби, порти та інші об'єкти призвели до значних руйнувань. Станом на кінець 2025 року, попри зусилля з

відновлення, інфраструктура продовжує зазнавати ударів, що вимагає постійного моніторингу та посилення захисту. Уряд запровадив низку заходів: від децентралізації енергосистеми до впровадження систем протиповітряної оборони навколо ключових об'єктів. Також актуальним є кіберзахист, оскільки об'єкти критичної інформаційної інфраструктури стають цілями хакерських атак.

Категоризація об'єктів критичної інфраструктури проводиться за Методикою, затвердженою постановою № 1109. Встановлено чотири категорії критичності:

I категорія – особливо важливі об'єкти загальнодержавного значення з потенціалом кризової ситуації національного рівня.

II категорія – об'єкти з впливом на регіональний рівень.

III категорія – об'єкти з можливими значними локальними наслідками.

IV категорія – об'єкти з локальними кризовими ситуаціями.

Категоризація базується на критеріях: кількість постраждалих, економічні збитки, екологічні наслідки, вплив на інші сектори тощо. Оператори об'єктів зобов'язані розробляти паспорти безпеки, впроваджувати системи управління ризиками та забезпечувати фізичний і кіберзахист.

Сектори критичної інфраструктури в Україні охоплюють ключові сфери життєдіяльності держави. Перелік затверджено постановою № 1109 з змінами (останні – у 2024-2025 рр.). Основні сектори включають:

Енергетика (електро- та теплопостачання, нафтогазовий комплекс).

Транспорт (авіаційний, залізничний, автомобільний, морський, річковий).

Хімічна та нафтохімічна промисловість.

Фінансові послуги та банківська система.

Інформаційно-комунікаційні технології та електронні комунікації.

Охорона здоров'я.

Продовольче забезпечення та сільське господарство.

Водопостачання та водовідведення (комунальне господарство).

Цифрові технології. Урядування та публічні послуги. А також інші, як оборонно-промисловий комплекс, екологічна безпека тощо. Точна кількість секторів і підсекторів періодично уточнюється, але вони охоплюють усі стратегічні галузі.

У контексті війни захист критичної інфраструктури став пріоритетом. У 2025 році прийнято нові постанови щодо управління ризиками (наприклад, № 367 від 1 квітня 2025 р.), оцінки захищеності об'єктів (наказ Держспецзв'язку № 17 від 14 січня 2025 р.) та експериментальних проєктів з радіоелектронного прикриття. Реєстр об'єктів критичної інфраструктури ведеться в закритому режимі через ризики безпеки.

Висновок: Критична інфраструктура є основою стійкості держави. В Україні її захист еволюціонує від нормативного врегулювання до практичних заходів у умовах агресії. Подальший розвиток вимагає інвестицій у модернізацію, міжнародної співпраці (зокрема, з ЄС та НАТО) та залучення приватного сектору. Ефективний захист дозволить мінімізувати ризики, забезпечити безперервне функціонування економіки та зберегти життя громадян.

1.2 Забезпечення захисту та стійкості об'єктів критичної інфраструктури

Відповідно до ст. 5 Закону України «Про критичну інфраструктуру» від 16.11.2021 р. № 1882-ІХ метою державної політики у сфері захисту критичної інфраструктури є забезпечення безпеки об'єктів критичної інфраструктури, запобігання проявам несанкціонованого втручання в їх функціонування, прогнозування та запобігання кризовим ситуаціям на об'єктах критичної інфраструктури [1].

До завдань формування і реалізації державної політики у сфері захисту критичної інфраструктури належать:

1) запобігання проявам несанкціонованого втручання в її функціонування, прогнозування та запобігання кризовим ситуаціям на

об'єктах критичної інфраструктури [1];

2) попередження кризових ситуацій, що порушують безпеку критичної інфраструктури [1];

3) створення, впровадження, розвиток та забезпечення функціонування національної системи захисту критичної інфраструктури, у тому числі шляхом створення уповноваженого органу у сфері захисту критичної інфраструктури України, а також визначення повноважень у сфері захисту критичної інфраструктури інших суб'єктів національної системи захисту критичної інфраструктури [1];

4) розроблення нормативно-правової та нормативно-технічної бази з питань забезпечення безпеки об'єктів критичної інфраструктури [1];

5) розроблення та реалізація державних цільових програм із захисту критичної інфраструктури [1];

6) розроблення комплексу заходів з контролю за ризиками безпеки, виявлення, запобігання та ліквідації наслідків інцидентів безпеки на об'єктах критичної інфраструктури [1];

7) встановлення обов'язкових вимог із забезпечення безпеки об'єктів критичної інфраструктури, їх захищеності на всіх етапах життєвого циклу, у тому числі під час створення, прийняття в експлуатацію, модернізації [1];

8) аналіз викликів та загроз, що впливають на стійкість критичної інфраструктури, оцінка стану її захищеності [1];

9) розроблення методології аналізу результативності державної політики у сфері захисту критичної інфраструктури [1];

10) підготовка, перепідготовка, підвищення кваліфікації, тренування працівників національної системи захисту критичної інфраструктури [1];

11) забезпечення взаємодії національної системи захисту критичної інфраструктури з відповідними міжнародними системами, насамперед європейськими та євроатлантичними. [1]

Слід відмітити, що наведений вище перелік завдань захисту об'єктів критичної інфраструктури стосується превентивної діяльності, направленої на

попередження, ненастання негативним наслідкам. І хоча така діяльність повинна переважати над іншими завданнями, не слід виключати й необхідність виконання завдань із ліквідації можливих негативних наслідків і відновленні нормального стану функціонування об'єктів критичної інфраструктури, що в повній мірі буде співпадати із змістом категорії «захист».

Відповідно до ст. 4 Закону України «Про критичну інфраструктуру» державна політика у сфері захисту критичної інфраструктури ґрунтується на засадах:

1) визнання необхідності забезпечення безпеки та стійкості критичної інфраструктури [1];

2) визначення законодавчих вимог до принципів, пріоритетів, стратегічних завдань, підходів щодо захисту критичної інфраструктури [1];

3) визначення суб'єктів національної системи захисту критичної інфраструктури, їх повноважень та засад відповідальності, порядку взаємодії [1];

4) створення умов та впровадження заходів, спрямованих на ефективне зниження і контроль за ризиками безпеки, на зниження ризику реалізації можливих загроз, ліквідацію та/або мінімізацію наслідків реалізованих загроз, кризових ситуацій та інших їх видів [1];

5) створення системи раннього виявлення загроз критичній інфраструктурі [1];

6) запровадження державно-приватного партнерства, взаємодії суб'єктів господарювання та населення з питань забезпечення захисту та стійкості критичної інфраструктури [1];

7) забезпечення міжнародного співробітництва у сфері захисту критичної інфраструктури [1];

8) створення умов швидкого відновлення надання життєво важливих функцій та послуг у разі реалізації загроз і порушення функціонування критичної інфраструктури [1].

Державна політика у сфері захисту критичної інфраструктури спрямовується на формування комплексу організаційних, нормативно-правових, інженерно-технічних, ресурсних, інформаційно-аналітичних та методологічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки критичної інфраструктури.

До основних принципів функціонування національної системи захисту критичної інфраструктури належать:

- 1) єдність методологічних засад;
- 2) координованість;
- 3) державно-приватне партнерство;
- 4) безпека, захист та охорона інформації з обмеженим доступом;
- 5) міжнародне співробітництво [1].

Рівні управління національною системою захисту критичної інфраструктури. Національна система захисту критичної інфраструктури має такі рівні управління:

1) загальнодержавний рівень, управління на якому здійснюється Кабінетом Міністрів України, уповноваженим органом у сфері захисту критичної інфраструктури України, органами державної влади відповідно до розподілу повноважень згідно з цим Законом, іншими центральними органами виконавчої влади та державними органами, Національним банком України;

2) регіональний та галузевий рівні, управління на яких здійснюється центральними та місцевими органами виконавчої влади, визначеними в установленому законом порядку відповідальними за забезпечення формування та реалізацію державної політики у сфері захисту критичної інфраструктури в окремому секторі критичної інфраструктури та відповідальними за функціонування окремих державних систем захисту та реагування;

3) місцевий рівень, управління на якому здійснюється місцевими органами виконавчої влади (військово-цивільними адміністраціями - у разі створення), органами місцевого самоврядування в межах повноважень,

покладених на них цим Законом;

4) об'єктовий рівень, управління на якому здійснюється оператором критичної інфраструктури на підставі нормативно-правових та регуляторних актів у сфері захисту критичної інфраструктури [1].

1.3 Сектори критичної інфраструктури та їх характеристика

Сектори критичної інфраструктури є ключовим елементом національної системи захисту, оскільки дозволяють систематизувати об'єкти за специфікою надання життєво важливих функцій та послуг. Відповідно до Закону України «Про критичну інфраструктуру» від 16 листопада 2021 року № 1882-IX, сектори визначаються для ефективної організації захисту з урахуванням галузевих особливостей. Перелік секторів критичної інфраструктури затверджується Кабінетом Міністрів України та періодично оновлюється з урахуванням актуальних загроз, досвіду воєнного часу та міжнародних стандартів. Станом на кінець 2025 року, з урахуванням змін, внесених постановами № 48 від 16 січня 2024 р., № 455 від 9 травня 2023 р. та іншими, перелік включає 24 сектори та понад 47 підсекторів, що охоплюють 138 типів основних послуг.

Цей перелік базується на постанові КМУ № 1109 від 9 жовтня 2020 р. «Деякі питання об'єктів критичної інфраструктури» (з численними змінами). Сектори ідентифікуються секторальними органами, які відповідають за формування політики в конкретній галузі, ідентифікацію об'єктів, їх категоризацію та моніторинг. Кожен сектор має підсектори та типи основних послуг, порушення яких може призвести до значних негативних наслідків для національної безпеки, економіки чи населення.

Основні сектори критичної інфраструктури в Україні включають:

Енергетика (електроенергетика, теплопостачання, нафтогазовий комплекс). Це один з найвразливіших секторів, особливо в умовах війни. Об'єкти включають електростанції, мережі передачі, газопроводи. Атаки на енергосистему в 2022-2025 рр. призвели до блекаутів, тому захист включає

децентралізацію, резервні джерела та фізичну охорону.

Транспорт (авіаційний, залізничний, автомобільний, морський, річковий, трубопровідний). Забезпечує логістику, експорт зерна та мобільність населення. Порти та залізниці стали цілями атак, що вплинуло на економіку.

Хімічна та нафтохімічна промисловість. Об'єкти з небезпечними речовинами, руйнування яких загрожує екологічними катастрофами.

Фінансові послуги та банківська система. Включає банки, платіжні системи, НБУ. Кібератаки можуть паралізувати економіку.

Інформаційно-комунікаційні технології та електронні комунікації. Зв'язок, інтернет-провайдери. Критичні для координації оборони та повсякденного життя.

Охорона здоров'я. Лікарні, фармацевтика, системи екстреної допомоги. Під час війни захищаються від атак (наприклад, Охматдит).

Продовольче забезпечення та сільське господарство. Елеватори, харчові підприємства, агрокомплекси. Забезпечують продовольчу безпеку.

Водопостачання та водовідведення (комунальне господарство). Системи водопостачання, очисні споруди.

Цифрові технології. Включає дата-центри, хмарні сервіси, реєстри.

Державне урядування та публічні послуги. Органи влади, електронні реєстри.

Додаткові сектори, додані або уточнені в останні роки: оборонно-промисловий комплекс, екологічна безпека, космічна галузь, поштовий зв'язок, освіта (вищі навчальні заклади в певних аспектах), наука та інновації тощо. Загальна кількість секторів сягає 24, що дозволяє охопити всі стратегічні галузі.

Кожен сектор має відповідальний секторальний орган (наприклад, Міненерго для енергетики, МОЗ для охорони здоров'я). Вони ідентифікують об'єкти, проводять категоризацію та подають дані до Реєстру об'єктів критичної інфраструктури, який ведеться Адміністрацією Держспецзв'язку в

закритому режимі.

Характеристика секторів враховує каскадні ефекти: порушення в одному секторі (наприклад, енергетика) впливає на інші (вода, транспорт, здоров'я). У 2025 році актуальними заходами стали: впровадження радіоелектронного прикриття (постанова № 881 від 15.07.2025), управління ризиками для I категорії (№ 367 від 01.04.2025), оцінка захищеності (наказ № 17 від 14.01.2025). Національний план захисту (розпорядження № 825-р від 19.09.2023) передбачає трирічні заходи з удосконалення законодавства, тренувань та міжнародної співпраці.

У контексті війни сектори енергетики та транспорту зазнали найбільших втрат. Відновлення включає децентралізацію (малі генератори, автономні системи), посилення ППО та кіберзахисту. Міжнародна допомога (від ЄС, НАТО, США) сприяє модернізації, наприклад, через програми стійкості.

Висновок: Сектори критичної інфраструктури формують основу стійкості держави. Їх детальна класифікація дозволяє ефективно розподіляти ресурси на захист. У 2025 році, попри виклики війни, Україна досягла прогресу в нормативному врегулюванні та практичних заходах. Подальший розвиток залежить від інвестицій, державно-приватного партнерства та інтеграції з європейськими стандартами (наприклад, NIS2 Directive). Це забезпечить мінімізацію ризиків і швидке відновлення, зберігаючи функціонування суспільства в умовах загроз.

ВИСНОВКИ

1. Розглянуті основні вимоги до об'єктів критичної інфраструктури, що розглянуті в нормативно-правових документах держави.
2. На підставі вимог нормативно-правових документів визначено забезпечення захисту та стійкості об'єктів критичної інфраструктури.

РОЗДІЛ 2

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД ПІД ЧАС ПОЖЕЖІ

2.1 Об'ємно-планувальні рішення виробничих будівель

Різноманітність об'ємно-планувальних рішень виробничих будівель пояснюється тим, що такі будівлі проектуються більше ніж для 250 галузей виробництва. При проектуванні керуються наступними принципами: об'ємно-планувальні рішення повинні створювати оптимальні умови для розвитку технологічного процесу і його модернізації в процесі експлуатації будівлі, а також забезпечувати можливість будівництва будівлі індустріальними методами.

Проектування виробничих будівель висотою до 10-ти поверхів сьогодні ведеться за вимогами ДБН та відомчими будівельними нормами.

За ступенем залежності від технологічного процесу виробничі будівлі можна поділити на дві групи [6].

Першу групу складають будівлі, об'ємно-планувальні рішення яких повністю залежать від особливостей технологічного процесу і габаритів виробничого обладнання (рис. 2.1 а). Це мартенівські, прокатні і конвертерні цехи металургійних заводів, будівлі цементного виробництва, коксохімічні заводи, агломераційні фабрики, гірничо-збагачувальні, дробильно-сортувальні підприємства, елеватори та ін. При будівництві таких будівель використовуються спеціальні конструкції, об'ємно-планувальні рішення в кожному випадку мають окремо виражений індивідуальний характер.

Другу групу складають будівлі, на об'ємно-планувальні рішення яких технологічний процес практично не оказує впливу. В будівлях цієї групи можуть розташовуватися технологічні процеси самих різних виробництв: верстато- та машинобудування, легкої, харчової промисловості та багатьох інших (рис. 2.1, б) [6].

Спорудження таких будівель може здійснюватися індустріальними методами на основі уніфікованих габаритних схем, уніфікованих типових

прольотів і секцій.

Уніфікована габаритна схема (УГС) – це схематично зображення типових об’ємно-планувальних елементів будівель, уніфікованих за геометричними параметрами та навантаженням. В залежності від місця розташування в будівлі об’ємно-планувальні елементи можуть бути кутовими, торцевими, крайніми, середніми і ті, що примикають до деформаційних швів. Сутність проектування на основі УГС полягає в наступному: будівля розбивається на типові об’ємно-планувальні одно- або багатопверхові елементи (ОПЕ) з уніфікованими геометричними параметрами: прольотом (L), кроком колон (Ш), висотою поверху (Н) і навантаженнями. З елементів шляхом їх взаємопоєднання компонують одно- або багатопверхові промислові будівлі (рис. 2.2) [7]

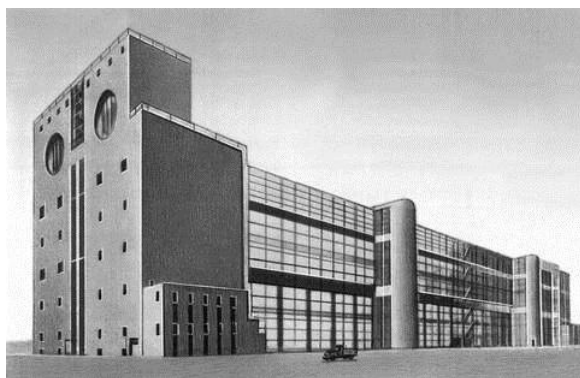


Рис. 2.1 – Приклади об’ємно-планувальних рішень виробничих будівель від особливості технологічного процесу: а – силосний корпус хлібоелеватору; б – виробничий корпус бавовнопрядильної фабрики

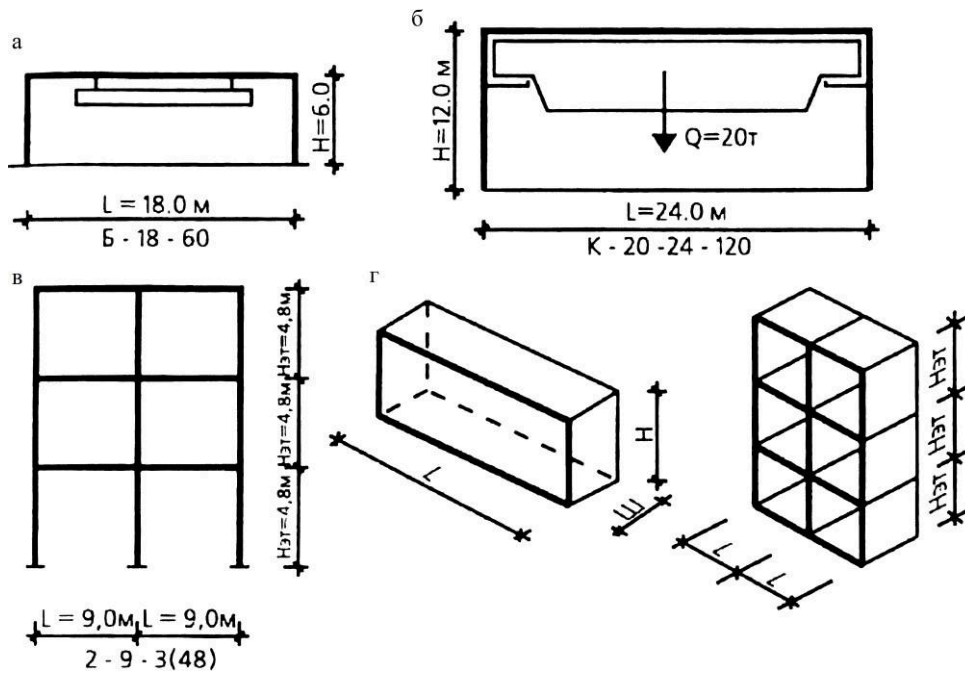


Рис. 2.2 – Уніфіковані габаритні схеми (УГС) одно- і багатопверхових промислових будівель: а – УГС одно прольотної промислової будівлі без мостового крану; б – УГС одноповерхової одно прольотної будівлі з мостовим краном; в – УГС триповерхової двопрольотної промислової будівлі; г – типові об’ємно-планувальні елементи промислових будівель

Спорудження цих будівель може здійснюватися індустріальними методами на основі уніфікованих габаритних схем, уніфікованих типових прогонів і секцій.

Уніфікована габаритна схема (УГС) – це схематичне зображення типових об’ємно-планувальних елементів будівель, уніфікованих за геометричними параметрами і навантаженнями.

Уніфікована типова секція (УТС) – фрагмент будівлі, що складається з декількох уніфікованих типових прольотів однієї висоти. Зазвичай УТС являє собою температурний блок будівлі. УТС використовується в компоюванні промислових будівель з технологічними потоками, що здійснюються в різних напрямках.

Метод проектування на основі УТС і УГС простий. На макеті робочого креслення, яке скомпоноване з УТП і УГС стосовно до конкретних умов виробництва, наносять стіни та перегородки, розташовують проїзди для внутрішньо цехового транспорту, проходи та ін. Даний метод створює

оптимальні умови для блокування виробничих допоміжних, складських та інших приміщень в об'ємі будівлі, дозволяє реалізувати переваги уніфікації при проектуванні будівель та найкращим чином врахувати реальні умови будівництва [7].

Для цілого ряду галузей промисловості проектування ведеться шляхом компонування великорозмірних об'ємних фрагментів будівель – уніфікованих типових прольотів і секцій з типовими параметрами, навантаженнями і конструкціями. Уніфікований типовий проліт (УТП) – фрагмент будівлі шириною в один проліт і довжиною, що дорівнює довжині температурного блоку, що становить 60 або 120 м для залізобетонного каркаса і 72 або 144 м для металевих каркасів (рис. 2.2). Уніфіковані типові прольоти відрізняються величиною навантажень, типами конструкцій, розташування в будівлі (середні і крайні, леви праві) і використовуються в компонуванні промислових будівель з технологічними потоками одного напрямку. [7]

Об'ємно-планувальне рішення одно- та багатоповерхових промислових будівель мають принципові відмінності. В одноповерхових будівлях розміщується 75-80 % промислових підприємств. Це сталеливарні, прокатні, ковальські та інші цехи, що випускають продукцію значної маси, обладнані потужними підйомно-транспортними засобами. Об'ємно-планувальні рішення одноповерхових промислових будівель визначаються характером забудови і розташуванням опор в будівлі.

Роздільна забудова здійснюється за допомогою окремо розташованих протяжних та відносно вузьких корпусів павільйонного типу, в яких легко здійснюється природне освітлення та провітрювання [8, 9, 11]. Однак розміщення цехів в окремо розташованих будівлях значно збільшує площу території підприємства, протяжність перехідних та транспортних мереж, об'єм робіт по благоустрою території. Крім того, планувальне рішення павільйонної будівлі не відрізняється гнучкістю, тобто не забезпечує можливість змінювати напрямок технологічного потоку, здійснювати перестановку виробничого обладнання, пристосовуючи будівлю до нових умов технології.

У зв'язку із зазначеними вадами роздільна забудова використовується в основному при будівництві об'єктів металургійної та хімічної промисловості, де за умов технології обов'язковим є наскрізне провітрювання цехів або при зведенні складських об'єктів, які не потребують частої зміни технології.

В будівлях прогонного типу величина прогону (L) перебільшує величину кроку (Π). Уніфіковані розміри прогонів – 18, 24, 30 м та більше, крок колон – 6 та 12 м. Прогонні будівлі призначені для технологічних процесів, що спрямовані вздовж прогону (рис. 2.3) [7].

Стійкість будівель від вітрового впливу досягається за рахунок встановлення додаткових зв'язків [10, 12].

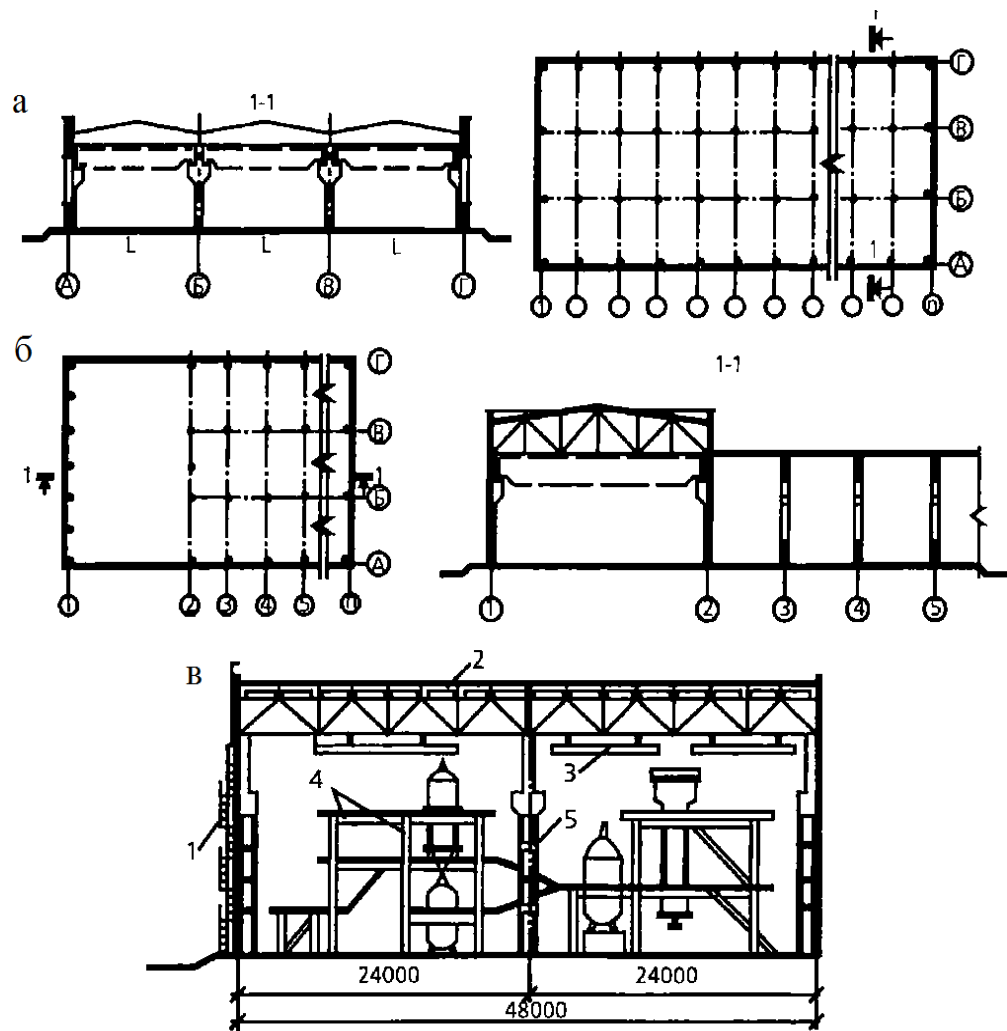


Рис. 2.3 – Промислові будівлі прогонного типу:

а – з паралельним розташуванням прогонів; б – із взаємоперпендикулярним розташуванням прогонів; в- переріз будівлі; в – поперечний розріз будівлі.

1 – пожежна драбина; 2 – настил покриття; 3 – підвісні кран-балки; 4 – каркас етажерок; 5 – колони каркасу

Будівлі чарункового типу мають квадратну або близьку до неї прямокутну сітку колон, що дозволяє організувати технологічний процес вздовж прогону та в перпендикулярному до нього напрямку (рис. 2.4).

Чарункові будівлі зі збільшеною сіткою колон (18×18; 24×24; 30×30 м та більше) отримали назву «гнучких» або універсальних. Будівлі можуть не мати прив'язки до конкретного виду виробництва та проектуватися для різних галузей промисловості. Гнучкість планувального рішення, що забезпечується рідко розставленими колонами, створює оптимальні умови для багатоваріантного розміщення виробничого обладнання. Подібний тип будівель отримав найбільше розповсюдження в машинобудуванні, де заміна технологічного обладнання здійснюється через кожні 9-10 років, а іноді й частіше, а також там, де за умовами технології вимагаються значні виробничі площі без внутрішніх опор (машинні зали ТЕЦ, ангари тощо) [7].

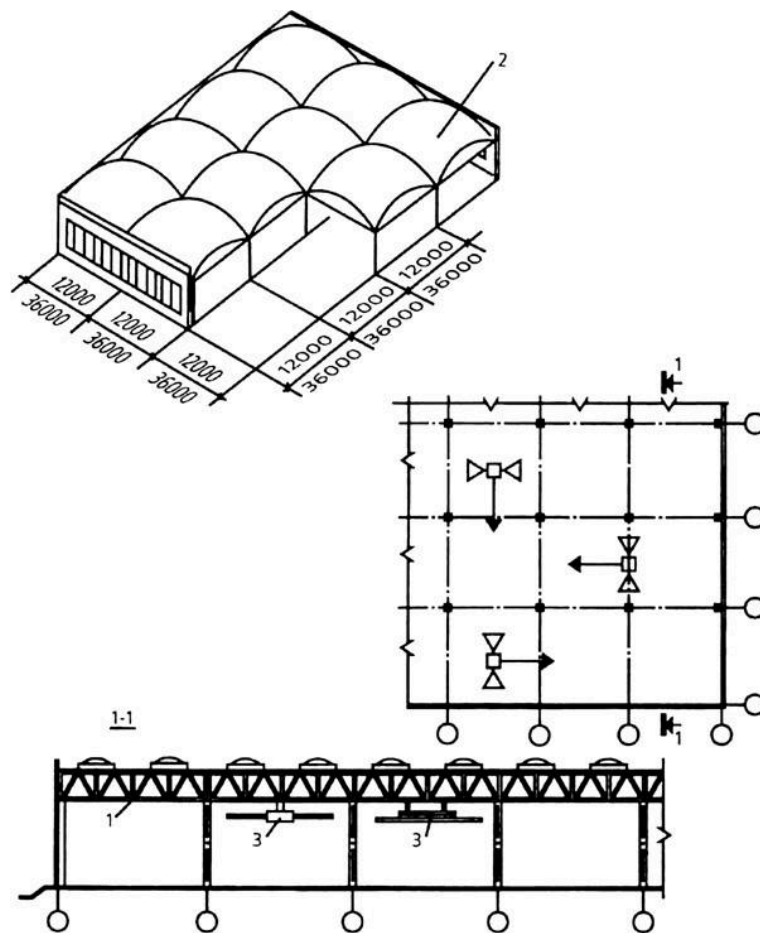


Рис. 2.4 – Промислові будівлі чарункового типу:

1 – ферми покриття; 2 – просторові конструкції покриття; 3 – кран-балка

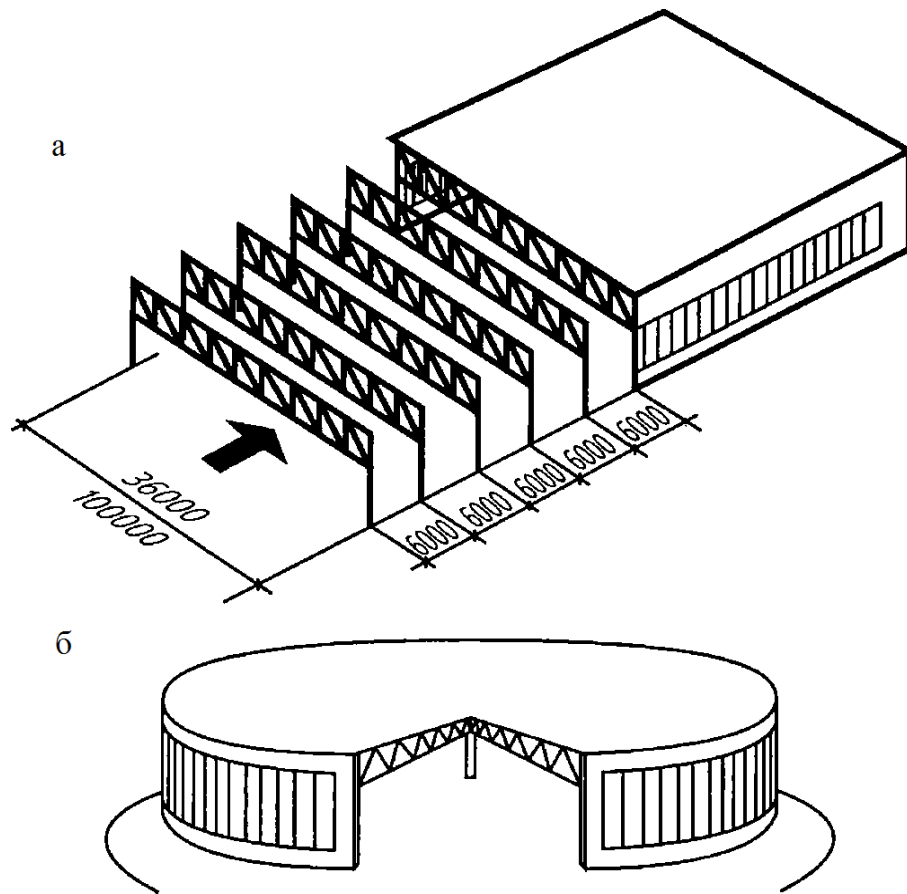


Рис. 2.5 – Промислові будівлі зального типу: а – без проміжних опор; б – з центральною проміжною опорою.

Вертикальний зв'язок між поверхами в усіх типах багатоповерхових будівель здійснюється за допомогою сходів та ліфтів. Для переміщення вантажів в межах поверху використовують підлоговий транспорт, підвісні конвеєри та кран-балки [7, 10, 12]

Просторова стійкість і жорсткість каркаса будівлі при горизонтальних вітрових і кранових впливах забезпечується конструкціями покриття, (якщо вони виконані з залізобетонних панелей), підкрановими, підкровоквяними, обв'язувальними балками, а за необхідності – додатково спеціальними вертикальними і горизонтальними зв'язками, які розташовуються між колонами і в покритті між фермами (зв'язки шатра) [16].

Зв'язки (в'язи) - це важливі елементи каркаса, що необхідні для:

– створення жорсткості каркаса, необхідної для забезпечення нормальних умов експлуатації;

- забезпечення незмінюваності просторової системи каркаса і стійкості його стиснутих елементів;
- сприйняття і передачі на фундаменти деяких навантажень (вітрових, горизонтальних від кранів);
- забезпечення спільної роботи поперечних рам при місцевих навантаженнях (наприклад, кранових);
- забезпечення умов високоякісного і зручного монтажу.

За класифікацією зв'язки бувають:

1. За місцем розташування:

- зв'язки між колонами;
- зв'язки шатра.

2. За геометричними ознаками:

- лінійні (розпірки, балки);
- площинні (плити, ферми, ґрати).

3. За орієнтацією:

- вертикальні;
- горизонтальні.

4. За матеріалом:

- залізобетонні;
- сталеві [16].

Зв'язки між колонами

Система зв'язків між колонами забезпечує під час експлуатації і монтажу геометричну незмінюваність каркаса і його несучої спроможності в подовжньому напрямку (сприймаючи при цьому деякі навантаження), а також стійкість колон із площини поперечних рам.

Найбільш поширеною є зв'язкова система подовжніх конструкцій. За цією системою у кожному подовжньому ряді колон розташовуються *розпірки* та *вертикальні зв'язки* між колонами, що сприймають навантаження, спрямовані уздовж будівлі і передають їх на фундаменти.

Підкранові балки, ригелі фахверків (додаткових каркасів будівель, що

організуються при великому кроку колон), *балки площадок, перекриттів* і інших подовжніх елементів використовуються звичайно як *розпірки*, що входять до системи зв'язків подовжнього каркаса.

Вертикальні зв'язки між колонами проектується двох типів:

- *основні* – що розташовуються по усій висоті колон від фундаментів до підкранових балок або до верхнього кінця;
- *верхні* – що розташовуються в межах верхніх ділянок колон від підкранових балок до оголовка.

За геометричною формою зв'язки між колонами бувають:

- хрестові;
- порталні;
- розкісні (підкісні);
- напіврозкісні.

Рекомендується при кроці колон до 12 м застосовувати зв'язки зі звичайним *хрестовим* штахетом. Інші типи зв'язків – *напіврозкісні*, а також у виді *порталів* або *розкосів (підкосів)* – застосовуються, якщо неможливе розміщення хрестового штахету або при кроку колон більше 12 м.

Вертикальні зв'язки між колонами ставлять в усіх рядах колон будинку.

Розташовувати їх слід між одними й тими ж самими осями [7, 16].

Основні зв'язки повинні сприймати подовжні зусилля і забезпечувати незмінюваність конструкції у подовжньому напрямку. Ці зв'язки розташовують у середній частині температурного відсіку (блока) будівлі, завдяки чому досягається свобода температурних переміщень конструкцій в обидві сторони, а також зниження температурних напружень у колонах.

Вертикальні основні зв'язки між колонами нижче рівня підкранових балок при двогілкових несучих колонах рекомендується розташовувати у площині кожної з гілок колон. За наявності фахверка у площині зовнішньої гілки колон припускається установка зв'язків на нижній ділянці основної колони тільки у площині підкранової гілки колони [16].

Верхні зв'язки повинні забезпечувати:

- зручність установки оголовків колон у період монтажу;
- безпосередню передачу подовжніх зусиль із верхніх ділянок торцевих стін на розташовані нижче основні конструкції, що служать розпірками (наприклад, на підкранові балки, гальмівні площадки, балки міжповерхових перекриттів) і далі через них – на основні зв'язки.

Верхні зв'язки рекомендується встановлювати по краях температурного відсіку, а також у тих кроках, де розташовані вертикальні і поперечні горизонтальні зв'язки між кроквяними конструкціями покриття [16].

Зв'язки покриття. Система зв'язків покриття (зв'язків шатра) складається з лінійних *розпірок*, а також з площинних *горизонтальних і вертикальних зв'язків*.

Зв'язки між фермами, створюючи загальну просторову жорсткість каркаса, забезпечують:

- стійкість стиснутих елементів ригеля з площини ферм;
- перерозподіл місцевих навантажень (наприклад, кранових), прикладених до однієї з рам, на сусідні рами;
- зручність монтажу;
- задану геометрію каркаса;
- сприйняття і передачу на колони деяких навантажень [16].

Горизонтальні зв'язки покриття (ГЗП) розташовуються у площинах нижнього, верхнього поясів ферм і верхнього поясу ліхтаря. Горизонтальні зв'язки складаються з *поперечних і подовжніх*.

Елементи верхнього поясу кроквяних ферм стиснуті, тому необхідно забезпечити їхню стійкість із площини ферм. Ребра покрівельних плит і прогони можуть розглядатися як опори, що перешкоджають зсуву верхніх вузлів із площини ферми за умови, що вони закріплені від подовжніх переміщень зв'язками.

Для закріплення плит і прогонів від подовжніх зсувів улаштовуються поперечні зв'язки по верхніх поясах ферм, які доцільно розташовувати в торцях цеху з тим, щоб вони (разом із поперечними горизонтальними зв'язками по

нижніх поясах ферм і вертикальними зв'язками) забезпечували просторову жорсткість покриття. За великої довжини будівлі або температурного блока (більше 144 м) установлюються додаткові поперечні зв'язкові ферми. Це зменшує поперечні переміщення поясів ферм, що виникають унаслідок податливості зв'язків [16].

У будівлях з мостовими кранами необхідно забезпечити горизонтальну жорсткість каркаса як поперек, так і уздовж будівлі. При роботі мостових кранів виникають зусилля, що викликають поперечні і подовжні деформації каркаса цеху. Якщо поперечна жорсткість каркаса недостатня, крани при прямованні можуть заклинюватися, і порушується нормальна їхня експлуатація. Надмірні коливання каркасу створюють несприятливі умови для роботи кранів і цілості конструкцій. Тому в однопрольотних будівлях великої висоти (більше 18 м), у будівлях із мостовими кранами вантажопідйомністю 7–10 т, із кранами важкого і дуже важкого режимів роботи за будь-якої вантажопідйомності обов'язкова система зв'язків по нижніх поясах ферм.

Панелі нижнього поясу ферм, що прилягають до опор, особливо при жорсткому сполученні ригеля з колоною, можуть бути стиснутими, і в цьому випадку подовжні зв'язки забезпечують стійкість нижнього поясу.

Поперечні зв'язки закріплюють подовжні, а в торцях будівлі вони необхідні для сприйняття вітрового навантаження, спрямованого на торець будівлі.

У площині нижніх поясів також улаштовуються проміжні поперечні зв'язки, розташовані в тих же панелях, що і поперечні зв'язки по верхніх поясах ферм.

У довгих будівлях, що складаються з декількох температурних блоків, поперечні зв'язкові ферми по верхніх і нижніх поясах ставлять у кожного температурного шва (як у торців), маючи на увазі, що кожний температурний блок являє собою закінчений просторовий комплекс.

Кроквяні ферми мають незначну бічну жорсткість, а тому процес монтажу без їх попереднього взаємного розкріплення неприпустимий. Тому необхідно

влаштувати вертикальні зв'язки між фермами, що розташовуються у площині вертикальних стійок кроквяних ферм. Для зручності кріплення елементів зв'язків ці стійки часто проектують хрестового перетину (із двох кутків). Звичайно влаштовуються один-два вертикальні зв'язки по ширині прольоту (через 12–15 м) [16].

Вертикальні зв'язки покриття (ВЗП) разом із поперечними зв'язковими фермами по верхніх і нижніх поясах забезпечують створення жорстких просторових блоків у торців будівлі. До цих блоків розпірками і розтяжками прив'язують проміжні ферми.

У будівлях із підвісним транспортом вертикальні зв'язки сприяють перерозподілу між фермами кранового навантаження, прикладеного безпосередньо до конструкцій покриття. У цих випадках, а також коли до кроквяних ферм підвішені електричні кран-балки значної вантажопідйомності, доцільно вертикальні зв'язки між фермами розташовувати у площинах підвіски неперервно по всій довжині будівлі.

У багатопрольотних будівлях зв'язки по верхніх поясах ферм і вертикальні ставляться у всіх прольотах, а горизонтальні по нижніх поясах – по контуру будівлі і деяких середніх рядів колон через 60-90 м по ширині будівлі [16].

2.2 Поведінка металевих конструкцій під час пожежі

Сталі у процесі нагрівання зазнають структурних змін, пов'язаних зі зміною просторового розташування атомів заліза. Такі процеси реструктурування призводять до зниження механічних властивостей будівельних сталей [7, 13].

Робота сталі в умовах впливу високих температур оцінюється величиною напруження, пластичними деформаціями і стабільністю сталі.

Пластичність сталі є показником її здатності до деформування при дії навантаження і високих температур. Більшість сталей, які застосовуються для виготовлення будівельних конструкцій в умовах нагрівання мають достатню

пластичність. У сталях, що мають на діаграмі розтягу площадку текучості із підвищенням температури ця площадка зменшується і при температурі вище 300 °С зникає [13].

За досягнення температури 300 – 500 °С і подальшому охолодженні низьковуглецеві сталі набувають синьоломкості, тобто зміцнюються, але стають менш пластичними і крихкими в умовах нормальної температури. Але при 400 °С і вище тимчасовий опір і межа текучості вуглецевих сталей значно знижуються, а їх пластичні властивості підвищуються [13].

Низьколеговані сталі мають таку ж залежність механічних властивостей від температури, як і вуглецеві сталі, тільки максимальні значення тимчасового опору і межі текучості спостерігаються при більш високих температурах. Наявність легуючих добавок підвищує температуру початку рекристалізації в порівнянні з вуглецевими сталями. При короткочасному нагріванні сталей цього класу відбувається зменшення щільності сталі за рахунок температурного розширення.

У сталей при напруженні менше $0,6R_{st}$ спостерігається прямолінійна залежність між подовженням і напруженням. Зі збільшенням легуючих добавок модуль пружності підвищується. Проте різноманітні легуючі добавки по-різному впливають на розмір модуля пружності. Наприклад добавки нікелю та кобальту знижують модуль пружності сталі, а хром і вольфрам підвищують його; вуглець же у незначній мірі підвищує модуль пружності.

Як при короткочасному навантаженні і напруженні більше $0,6R_{st}$ при нормальній температурі, так і при нагріванні спостерігається розвиток пластичних деформацій [13].

При нагріванні під навантаженням пластичні деформації розвиваються ще більш інтенсивно. Розвиток пластичних деформацій враховується коефіцієнтом η_s , що являє собою відношення пружного подовження до повного, отриманого при короткочасному навантаженні. Модуль деформації визначається як $E'st = Est \eta_s$.

З підвищенням напружень коефіцієнт η_s зменшується при тому самому

відношенні η_s/R_{st} . Нагрівання мало позначається на розмірі коефіцієнта η_s . З підвищенням температури межа текучості сталі знижується, що свідчить про залежність коефіцієнта η_s від температури (при постійному напруженні).

З підвищенням температури сталь розширюється. Температурне розширення сталі залежить від класу, марки сталі, її хімічного складу. Зі збільшенням ступеня легування сталі температурне розширення її зростає.

Деформації температурного розширення сталей зростають у міру підвищення температури. На температурні деформації сталі швидкість нагрівання не впливає [13].

Хоча металеві (сталеві) конструкції (МК) виконані з негорючого матеріалу, фактична межа їх вогнестійкості в середньому становить 15 хв. Це пояснюється достатньо швидким зниженням міцнісних і деформативних характеристик металу за підвищених температур під час пожежі. Металеві конструкції, що обрушилися або одержали великий прогин, викликають псування устаткування, сировини, готової продукції та ускладнюють вирішення питань евакуації і організації пожежогасіння.

Інтенсивність нагрівання металевих конструкцій залежить від ряду факторів, до яких відносяться характер нагрівання конструкцій і способи їхнього захисту. При дії “стандартної пожежі”, коли температура навколишнього середовища постійно підвищується, теплова інерція металу обумовлює деяку затримку нагрівання тільки протягом перших хвилин пожежі. Потім температура металу наближається до температури нагрівального середовища. Захист металевих елементів і ефективність цього захисту також впливають на нагрівання металу [13, 14, 15].

Висока теплопровідність металу дозволяє припустити, що теплоперенос у масі металевих конструкцій є рівномірним і миттєвим, тому для металу можна не використовувати поняття температурного градієнта ні за переріз, ні за довжиною елементів металевих конструкцій. Ступінь нагрівання металевих конструкцій залежить від розмірів її елементів і величини поверхні їх обігріву. При збільшенні об'єму металу і зменшенні поверхні його обігріву температура

елемента знижується.

В міру нагрівання сталі відбувається зниження її нормативних опорів до величини напружень, що виникають від нормативного навантаження. У цей момент несуча здатність сталевго елемента вичерпується і досягається його межа вогнестійкості (за ознакою руйнування або деформації). Температура, що відповідає даному моментові, зветься *критичною* t_{cr} і залежить від виду сталі [13].

Оскільки будь-який конструктивний елемент зазнає навантажень, то сталева конструкція, на яку діє висока температура, одразу починає деформуватися (руйнування для металевих конструкцій не є таким характерним, як деформація). Але в той же час слід зауважити, що під час пожежі може статися руйнування металевих конструкцій ще до того моменту як вона прогріється до критичної температури. Причини таких руйнувань полягають в утворенні *температурних напружень*. Для сталевих конструкцій граничним станом за вогнестійкістю є втрата несучої спроможності не тільки безпосередньо конструкції, але й вузлів їх з'єднання.

Металеві конструкції, з'єднані між собою, а тому вони не мають можливості для вільного збільшення об'єму чи розмірів при нагріванні – це і є основною причиною утворення температурних напружень.

У свою чергу температурні напруження призводять до наступних руйнівних наслідків:

– руйнування вузлів з'єднання конструкцій: кріпильні болти (закліпки), виготовлені зі сталі марок, ніж конструкція, а тому показники температурного розширення у них різні, внаслідок чого може статися зрізання болтів або закліпок. Навіть якщо зрізання болта або заклепки не станеться, вузол буде розхитаний (оскільки болти і заклепки деформуються), а отвори для них збільшуються. Його остаточне руйнування станеться під дією зовнішнього навантаження. Під дією високих температур може розтріскитися зварний шов, особливо якщо він виготовлений із порушенням технології;

– місцеве змінання опорних ділянок конструкції – може статися в тому

випадку, якщо для високих температури спрямована безпосередньо на опорну частину конструкції (наприклад, якщо пожежа відбувається поблизу бази сталеві колони);

– деформації конструкції у площині та поза площиною. Деформація “у площині” характеризується переміщенням всього перерізу конструкції вздовж площини, паралельної висоті перерізу. При цьому геометрична форма перерізу конструкції не порушується. Деформації “у площині” частіше за все виникають у тих випадках, коли конструкції шарнірно закріплені по обох кінцях [13].

Слід зауважити, що жорстке кріплення викликає більші температурні напруження, ніж шарнірне, оскільки не припускає будь-яких переміщень конструкції.

Деформації “поза площиною” в першу чергу характеризуються зміною геометричної форми перерізу, а також місцевими вигинами конструкції у напрямку, паралельному ширині перерізу, або під деяким кутом. Деформації “поза площиною” частіше виникають при жорсткому кріпленні вузлів. В деяких випадках є небезпека виникнення комбінованих деформацій (поєднання деформацій у площині з деформаціями поза площиною).

При впливі високих температур на балку підчас пожежі навіть на обмежену частину її поверхні переріз конструкції, внаслідок високої температуропровідності металу, швидко прогрівається до однакової температури. При цьому знижується границя текучості і модуль пружності сталі. Обвалення прокатних балок спостерігається в перерізі, де діє максимальний згинальний момент. При використанні таких балок у балковій клітці через передчасний вихід з ладу сталевих настилу, жорстко прикріпленого до балок, спостерігається втрата загальної стійкості. Втрата загальної стійкості прокатних балок відбувається також і у випадку спирання на них сталевих настилу.

Вичерпання несучої здатності балок складеного перерізу відбувається в зоні дії максимального згинального моменту [13].

Втрата загальної стійкості сталевих конструкцій відбувається через обвалення зв'язків у вигляді настилу або другорядних балок балкової клітки, а

також через утрату місцевої стійкості. стінкою балки або з висками стиснутих полиць. Руйнування конструкції може спостерігатися у зварних, болтових або клепаних з'єднувальних елементів складеного перерізу від дії зусиль зсуву.

Руйнування статично визначеної балки відбувається внаслідок утворення одного пластичного шарніра. статично невизначені балки зазвичай є більш тривкими в порівнянні зі статично визначеними за рахунок перерозподілу зусиль [13].

Так, межа вогнестійкості двопрольотної статично не визначеної балки вище, ніж у статично визначеної, бо вона в умовах пожежі руйнується внаслідок утворення трьох пластичних шарнірів. Умови спирання балки також впливають на значення x_x межі вогнестійкості. Сталева балка, жорстко замурована в залізобетонні або кам'яні стіни, за рахунок перерозподілу зусиль руйнується внаслідок утворення трьох пластичних шарнірів, за рахунок чого підвищується її межа вогнестійкості.

Вплив температури пожежі на ферму призводить до вичерпання несучої спроможності її елементів і вузлових з'єднань цих елементів. Втрата несучої здатності внаслідок зниження міцності металу є характерної для стиснутих і розтігнутих елементів верхнього поясу з площини ферми на нерозкріпленій ділянці [13].

При розрахунку ферми з'єднання її елементів між собою розглядаються як шарнірні, тому ферма вважається статично визначеною конструкцією. Утрата несучої здатності хоча б одним елементом призводить при пожежі до руйнування усієї конструкції в цілому.

Вичерпання несучої здатності сталевих колон, що знаходяться в умовах пожежі, може настати внаслідок втрати:

- міцності стрижнем конструкції;
- міцності або стійкості елементами з'єднувальних ґраток, а також вузлів кріплення цих елементів до стояків колони;
- стійкості окремих стояків на ділянках між вузлами сполучних ґраток у колонах наскрізних перерізів;
- місцевої стійкості стінки і звисів стиснутих полиць колони складеного

двотаврового перерізу;

– загальної стійкості колони [13].

Позацентровий стиск, у порівнянні з центральним є більш невідгідним видом навантаження, що негативно позначається на вогнестійкості конструкції. В ряді випадків колона, що працює як центрально стиснута, в умовах пожежі може зазнавати впливу позацентрово прикладеної сили стиску. Це можливе при локальному впливі температури пожежі на конструкції покриття або перекриття, що спираються на колони середнього ряду, або при обваленні конструкцій покриття або перекриття з однієї сторони від такої колони.

Колони з елементами плоских рам або просторового каркасу, шарнірно або жорстко з'єднаних з конструкціями, що спираються на них. У випадку жорстких з'єднань колони з ригелем її робота залежить від поведінки конструкції ригеля при пожежі. Через наявність у будівлі системи внутрішніх приміщень осередок пожежі в початковий його період виявляється локалізованим і тому впливає на обмежену кількість несучих елементів конструкцій. Це може призвести до збільшення температурних деформацій колони, яка внаслідок відсутності свободи переміщення вздовж її довжини, одержує додаткове навантаження [16].

Поведінка арок і рам в умовах пожежі залежить від статичної схеми роботи конструкції, а також конструкції перерізу їх елементів. Робота в умовах високих температур суцільних складених перерізів є аналогічною роботі таких же перерізів сталевих балок в колон, а робота в умовах високих температур наскрізних перерізів – роботі ферм і наскрізних колон. Руйнування арок і рам може статися через утрату несучої здатності опорних і гребневих вузлів, а втрата стійкості елементів з площини конструкцій – через обвалення зв'язків [13].

Елементи структурних конструкцій, що працюють на розтяг або стиск, мають невеликі перерізи і тому швидко нагріваються в умовах пожежі. Однак ці конструкції, в силу багаторазових статичної невизначеності, є менш чутливими до ушкоджень, тобто вихід з ладу одного або декілька елементів не призводить до обвалення всієї структури [13, 16].

2.3 Методи захисту металевих конструкцій під час пожежі

Метали, що застосовуються в будівництві (сталь, алюміній), є негорючими матеріалами, але їхня межа вогнестійкості в природному вигляді, залежно від товщини елементів перерізу і величини діючих напруг, складає від 0,1 до 0,4 год. Виняток становлять сталеві оболонки, мембранні покриття, у яких межа вогнестійкості без вогнезахисту може досягати 0,75-1 год.

Основна небезпека при прогріванні металевих конструкцій полягає у тому, що вони дуже швидко втрачають міцність, при цьому стають більш пластичними, а лінійні температурні деформації викликають великі зміни розмірів, короблення і навіть руйнування конструкцій. Будівельні метали мають високу теплопровідність і невисоку температурну міцність (сталі – до 350 °С, а алюмінієві сплави – до 200 °С), тому їхній вогнезахист полягає в підвищенні жароміцності, а також у створенні на поверхні металевих елементів конструкцій теплоізолюючих екранів, що здатні витримати дію вогню або високих температур.

Для будівельних металів існує три напрямки підвищення вогнестійкості:

- 1) легування;
- 2) застосування захисних покриттів;
- 3) екранування [7, 15].

Вибір конкретного типу вогнезахисного складу і матеріалу, встановлення їх сфер застосування проводяться на основі техніко-економічного аналізу з урахуванням наступного:

- величини необхідної межі вогнестійкості конструкції;
- типу конструкції, що захищається;
- виду навантаження;
- температурно-вологісних умов експлуатації і виробництва монтажних робіт;
- збільшення навантаження на конструкцію за рахунок маси вогнезахисту;
- трудомісткості монтажу вогнезахисту;
- естетичних вимог до конструкції, техніко-економічних показників [15].

Фактична межа вогнестійкості сталевих конструкцій при «стандартному» режимі пожежі, залежно від товщини елементів перерізу і величини діючих напруг, складає від 0,1 до 0,4 год. Виняток становлять сталеві оболонки, мембранні покриття, у яких межа вогнестійкості без вогнезахисту може досягати 0,75-1 год. При проектуванні будівель і споруд межу вогнестійкості незахищених сталевих конструкцій з наведеною товщиною металу у 1 см допускається приймати рівною 0,25 год. Значення ж необхідних меж вогнестійкості основних будівельних конструкцій, зокрема металевих, складають від 0,25 до 2,5 год., залежно від ступеня вогнестійкості будівлі і типу конструкцій [7]. Таким чином, більшість незахищених сталевих конструкцій відповідають лише вимогам межі вогнестійкості 0,25 год. Це дозволяє зробити висновок про те, що сфера застосування металевих конструкцій обмежена щодо вогнестійкості, оскільки не виконується умова безпеки – $MВ_{ф} \geq MВ_{вим}$.

Ця умова безпеки є основним критерієм обґрунтування необхідності вогнезахисту металевих конструкцій, тобто якщо $MВ_{ф} \geq MВ_{вим}$ – вогнезахист не потрібен, а при $MВ_{ф} < MВ_{вим}$ – вогнезахист необхідний [14,15, 16].

Вибір конкретного типу вогнезахисного складу і матеріалу, встановлення їх сфер застосування проводиться на основі техніко-економічного аналізу з урахуванням наступного:

- величини необхідної межі вогнестійкості конструкції; типу конструкції, що захищається;
- виду навантаження;
- температурно-вологісних умов експлуатації і проведення монтажних робіт;
- ступеня агресивності навколишнього середовища по відношенню до вогнезахисного матеріалу і матеріалу конструкції;
- збільшення навантаження на конструкцію за рахунок маси вогнезахисту;
- трудомісткості монтажу вогнезахисту;
- естетичних вимог до конструкції, техніко-економічних показників [16].

Найбільш надійними способами вогнезахисту в даний час є:

облицювання з негорючих матеріалів; вогнезахисні покриття; підвісні стелі [7].

Як облицювальні матеріали для вогнезахисту металевих конструкцій використовуються бетон, цегла, гіпсокартонні листи (ГКЛ) й інші плиткові і листові вироби, а також різні типи штукатурки (рис. 2.6) [15, 16].

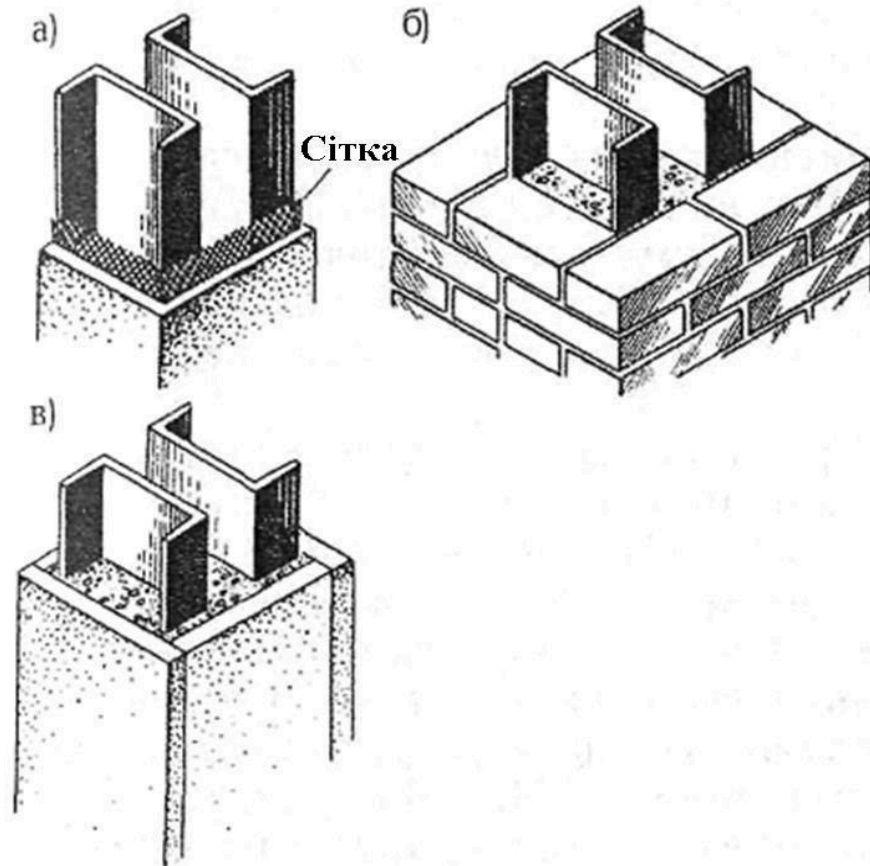


Рис. 2.6 – Облицювання сталевих колон:

а - бетоном або штукатуркою по сітці; б - цеглою; в - плитковим матеріалом

Обетонування. Вогнезахист металевих конструкцій за допомогою бетону у вітчизняному будівництві застосовується порівняно часто. Застосування бетонного захисту найраціональніше у тому випадку, коли одночасно проводиться посилення ригелів, колон або стійок, наприклад, при реконструкції будівель і споруд. Обетонування проводять після прикріплення до колони армуючої сітки (рис. 2.6,а). Товщина шару бетону складає 5 см, якщо потрібна межа вогнестійкості 2 години, і 6 см, якщо потрібні 2,5 години. Обетонування є ефективним способом вогнезахисту металевих конструкцій.

Облицювання цеглою. Цегляне облицювання найчастіше застосовують для підвищення межі вогнестійкості колон і стійок (рис. 2.6,б). Кладку для

вогнезахисного облицювання виконують з глиняної звичайної і силікатної цегли на цементно-піщаному розчині марки не нижче 50. Улаштування вогнезахисного облицювання з порожнистих і щілинних цегл припускається товщиною тільки в 1/2 цеглини (120 мм). Кладку виконують з однорядною перев'язкою швів. Горизонтальні і вертикальні шви заповнюють розчином з подальшим обробленням їх ззовні «під розшивання» [15].

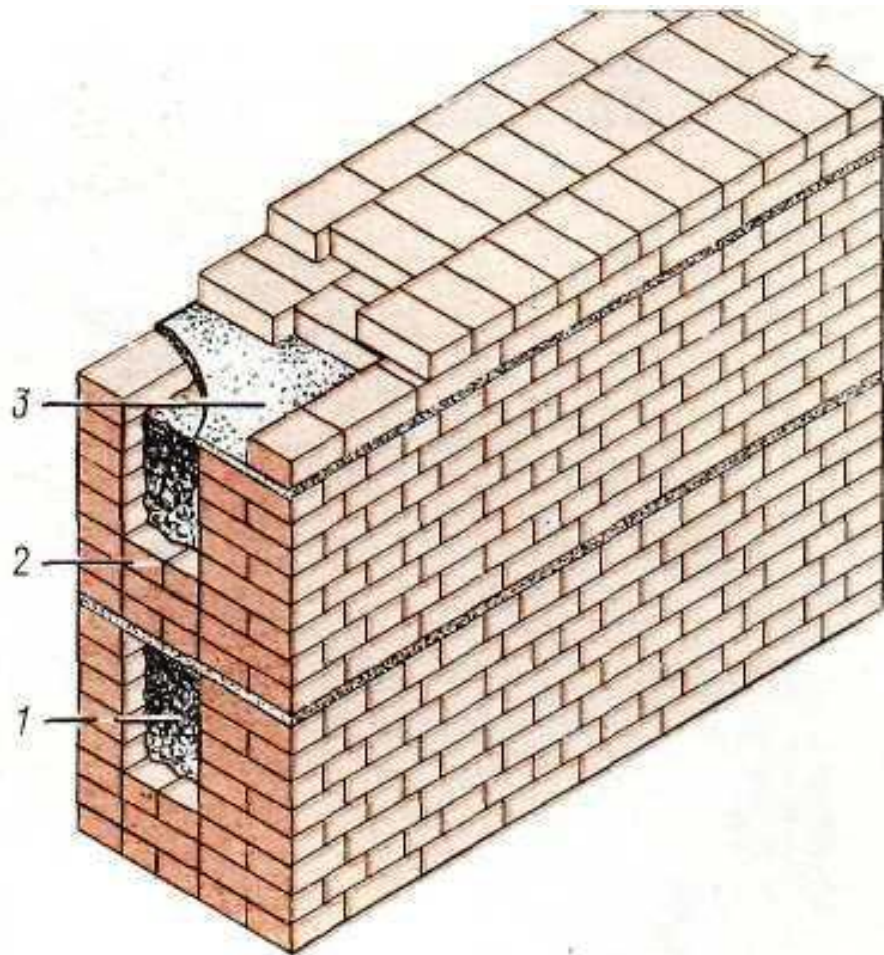


Рис. 2.7 – Приклад полегшеної кладки

При улаштуванні облицювання цеглою враховують, що у сталі і цегли коефіцієнти лінійного розширення відрізняються в 3 рази. Тому влаштовують зазор між металевою конструкцією і цегляною кладкою. Для посилення цегляну кладку армують дротом діаметром до 8 мм. Для отримання межі вогнестійкості 2 години достатній шар цегли завтовшки 6,5 см.

Облицювання з бетону і цегли не бояться вогкості, можуть застосовуватися практично за будь-яких температурно-вологісних умов, за наявності агресивного

середовища, вони стійкі до атмосферних дій і динамічних навантажень. Але ці способи вогнезахисту пов'язані з трудомісткими опалубними і арматурними роботами, малопродуктивні, значно обважнюють каркас будівлі і подовжують терміни будівництва [16].

Облицювання з теплоізоляційних плит.

Облицювання металевих конструкцій теплоізоляційними плитами є одним з найбільш ефективних і перспективних методів пасивного вогнезахисту, особливо для сталевих елементів будівель (колон, балок, ферм). Найбільш перспективними вважаються облицювання на основі плит з спученого перліту, вермікуліту в поєднанні з цементом, а також напівжорстких мінераловатних плит (наприклад, на базальтовій або скловаті). Такі матеріали поєднують низьку теплопровідність, легкість, негорючість і відносну простоту монтажу. Заводська товщина плит зазвичай становить близько 5 см, що забезпечує межу вогнестійкості до 2 годин (або більше залежно від складу та конфігурації) за умови надійного кріплення до захищеної конструкції.

Перлітові та вермікулітові плити (включаючи перлітофосфогеліві) виготовляються з спучених мінералів, зв'язаних цементом або фосфогелем, що робить їх стійкими до високих температур.

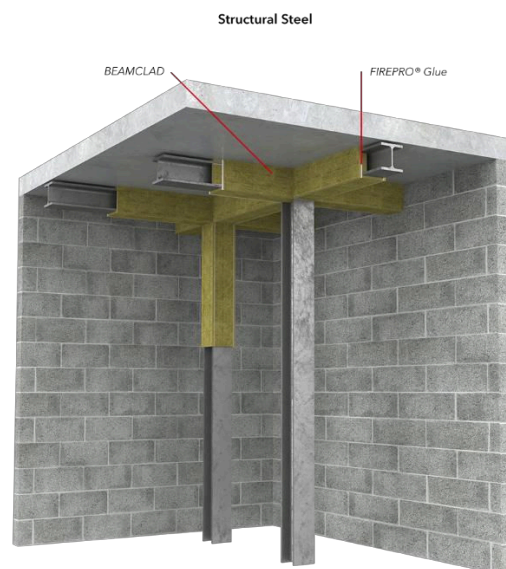


Рис. 2.8 – Перлітові та вермікулітові плити

Ефективність облицювання значною мірою залежить від способу кріплення плит. Один з надійних методів – приварювання до конструкції випусків арматури (шпильок), які вводяться в плити під час заводського виготовлення. Це забезпечує жорстке з'єднання, стійке до вібрацій і температурних деформацій. Шви між плитами закладаються тим же складом, з якого виготовлено плити (наприклад, перлітовим або цементно-перлітовим розчином), що створює монолітний захисний шар без слабких місць.

Альтернативний спосіб – використання нащільників (обмежувачів) з холодноотягнутих сталевих профілів. Нашцільники кріпляться до конструкції самонарізуючими гвинтами або заклепками і слугують для фіксації плит, обмежуючи їх температурні розширення та усадкові деформації під час пожежі. Це запобігає передчасному руйнуванню облицювання, відшаруванню плит або утворенню тріщин, через які полум'я могло б проникнути до металу.

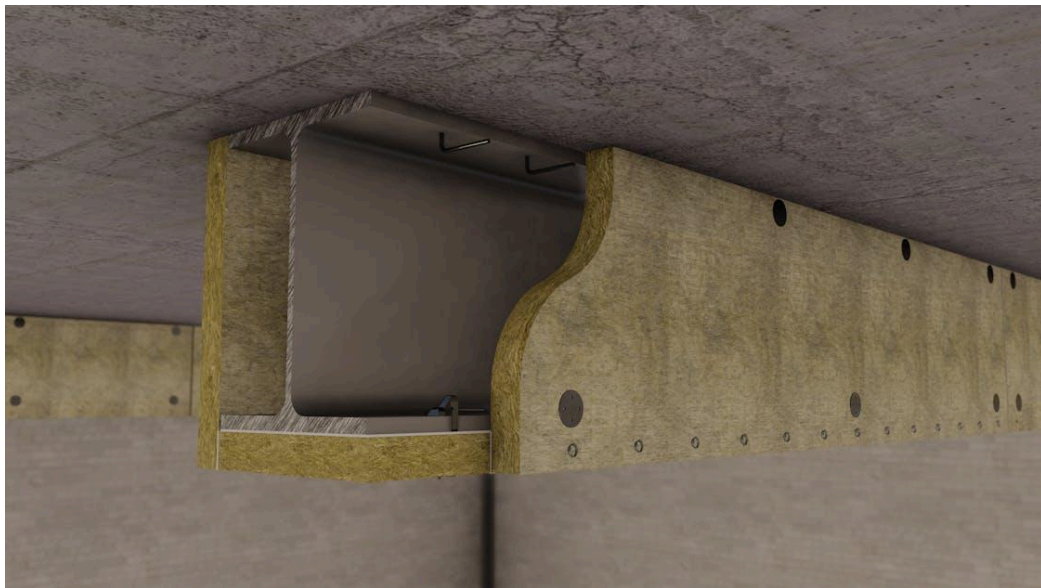


Рис. 2.9 – Приклад облицювання металевих конструкцій теплоізоляційними плитами

На рис. 2.9 показано різні варіанти облицювання металевих конструкцій теплоізоляційними плитами:

– а-в: Перлітофосфогелеві плити (2) з армуванням склополотном (3), пробками (4), шпильками (5) та кутиками (6). Додатково може застосовуватися сітка (7) і цементно-піщаний розчин (8) для фінішного шару.

– г: Комбіноване облицювання перлітними плитами (9) з профільованими алюмінієвими листами (10), кріплення на сталевих пластинах (11) самонарізуючими гвинтами (12).

– д: Напівжорсткі мінераловатні плити (13) з профільованим сталевим листом (14) для зовнішнього захисту, фіксація заклепками (15).

Такі конструкції застосовуються для колон (1) і балок (16), забезпечуючи комплексний захист. Переваги плитного облицювання: висока вогнестійкість (до REI 120-180), екологічність, можливість комбінації з іншими захисними шарами (наприклад, фарбами або спреями для підвищення межі). Недоліки – більша товщина порівняно з тонкошаровими покриттями та вища вартість монтажу.

У сучасних умовах плитні системи широко використовуються в промисловому та цивільному будівництві, особливо для об'єктів з високими вимогами до вогнестійкості (склади, торгові центри, багатоповерхові будівлі). Вони дозволяють досягти необхідної межі вогнестійкості без значного збільшення навантаження на конструкції.

Найбільш перспективні облицювання з теплоізоляційних плит на основі перліту, вермікуліту і цементу і напівжорстких мінераловатних плит (рис. 2.6,в) і (рис. 2.10). Заводська товщина плит складає близько 5 см, що забезпечує межу вогнестійкості до 2 годин за умови надійного кріплення плит до конструкції.

Ефективним способом кріплення плит є приварювання до конструкції випусків арматури, введеної в теплозахисні плити в процесі їх виготовлення. Шви закладають тим же складом, з якого виготовлені плити. Інший спосіб кріплення – установка націлінників з холоднотягнутих профілів.

Націлінники кріпляться самонарізуючими гвинтами і в умовах пожежі обмежують температурні й усадкові деформації плит і виключають їх передчасне руйнування [7, 15, 16].

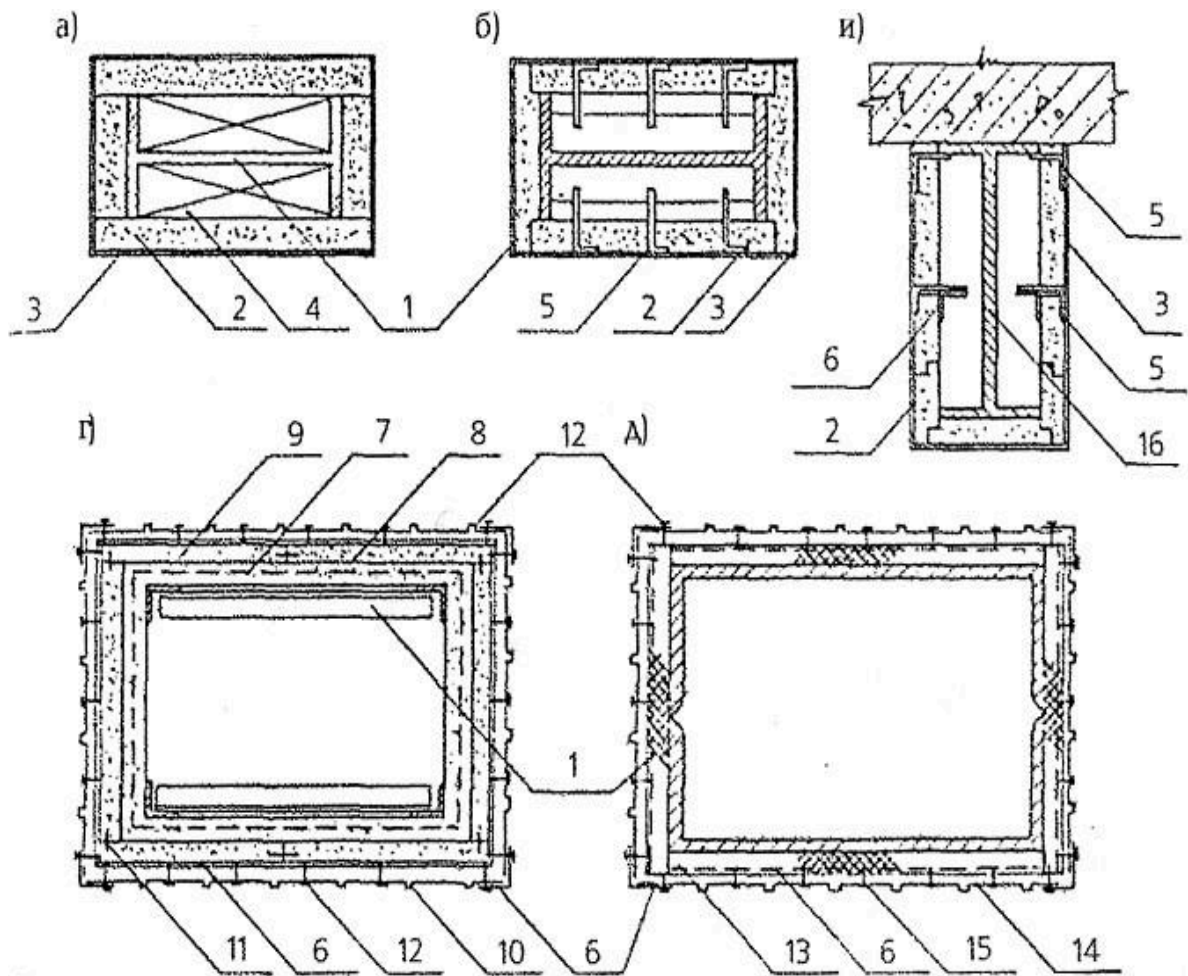


Рис. 2.10 – Облицювання металевих конструкцій теплоізоляційними плитами:

а-в – перлітофосфогелієвими; г – перлітними і алюмінієвими листами; д – напівжорсткими мінераловатними; 1 – колона; 2 – перлітофосфогелева плита; 3 – склополотно; 4 – перлітофосфогелева пробка; 5 – шпилька; 6 – кутик; 7 – сітка; 8 – цементно-піщаний розчин; 9 – перлітна плита; 10 – профільований алюмінієвий лист; 11 – сталеві пластини; 12 – самонарізуючий гвинт; 13 – напівжорстка мінераловатна плита; 14 – сталевий профільований лист; 15 – заклепка; 16 – балка

Облицювання гіпсокартонними листами (ГКЛ). У даний час розроблене вогнезахисне облицювання з гіпсокартонних листів. Конструкції виконані переважно для багатоповерхових будівель і споруд із сталевим несучим каркасом, з міжповерховими перекриттями із збірних залізобетонних плит або моноліту. Ці конструкції значно легші за цегляне або бетонне облицювання, індустріальніші, ефективніші з погляду вогнестійкості. При застосуванні ГКЛ допускається демонтаж вогнезахисного облицювання і виконання різних робіт з посилення несучих конструкцій, а також повторного нанесення антикорозійного

покриття несучих конструкцій будівлі. Внутрішню порожнину між вогнезахистом і елементами несучої конструкції можна використовувати для монтажу різних інженерних конструкцій.

Вогнезахисні облицювання з гіпсокартонних листів є досить перспективними. Один шар завтовшки 16 мм може забезпечити межу вогнестійкості колон і ригелів 1 год. Але, враховуючи можливість передчасного руйнування гіпсокартонних листів при пожежі із-за технологічних дефектів, рекомендується влаштовувати вогнезахист не в один, а в два шари.

Для улаштування вогнезахисту з ГКЛ (рис. 2.11) використовуються додаткові кріпильні елементи з холоднотягнутих профілів, що створюють каркас. Відстань між подовжніми елементами каркаса – 50 см.

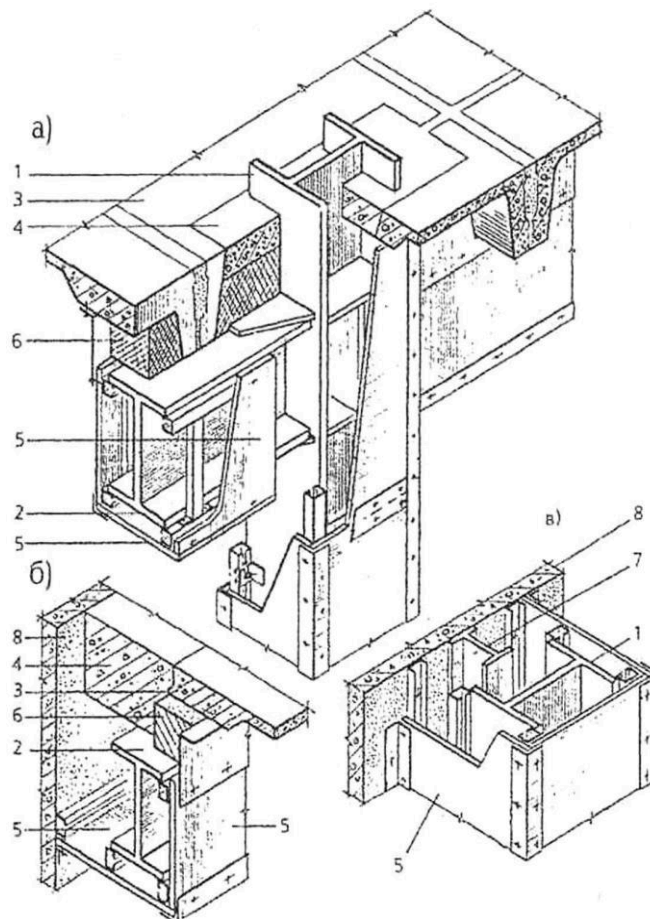


Рис. 2.11 – Фрагменти сталевих конструкцій із вогнезахисним облицюванням з гіпсокартонних плит (ГКЛ):

а- захист вузла з'єднання рядової колони з ригелем; б - захист ригеля, розташованого біля стіни будівлі; в - захист колони, розташованої біля стіни будівлі; 1 - ко-лона; 2 - ригель; 3- плити перекриття; 4- монолітний бетон; 5 - обшивка; 6 - тепло-ізоляційний пояс; 7 - стійка фахверка; 8 - стіна будівлі

Окрім подовжніх, є також поперечні елементи каркаса, що розміщуються через 90 см на ригелі або через 1,2 м на колоні, а також у місцях стиків гіпсокартонних листів. Елементи каркаса прикріплюють самонарізуючими гвинтами. Стики облицювань між собою і конструкціями будівлі перекриваються сталевими нащільниками, що прикріплюються самонарізуючими гвинтами з кроком 200 мм [15, 16].

У місцях спирання ребристих плит перекриття на ригелі влаштовують додаткову теплоізоляцію у вигляді поясу з мінеральної вати (рис. 2.8,а,б).

Особливу увагу звертають на місця примикання облицювання до стінок, перегородок і стель (рис. 2.8, б,в). Нащільники кріплять до захищаючих конструкцій цвяхами дубеля.

Нащільники теплоізоляційного поясу кріплять до залізобетонних конструкцій цвяхами дубеля.

Штукатурка. Традиційним видом вогнезахисного покриття є цементно-піщана штукатурка (рис. 2.6,г). Для її приготування використовуються цемент і пісок. Вона рекомендується для захисту таких металоконструкцій будівель, як колони, ригелі, елементи зв'язків, вузли сполучення між елементами (рис. 2.12).

Таблиця 2.1

Вогнезахисний ефект цементно-піщаної штукатурки [15]

Елемент конструкції	Товщина захисного шару штукатурки, мм, при необхідних межах вогнестійкості, год.			
	0,75	1,50	2,00	2,50
Колона	25	38	50	60
Ригель	10	20	25	30

В той же час цей вид вогнезахисту має ряд недоліків, що обмежують його застосування, до яких відносяться: велика трудомісткість робіт по нанесенню покриття із-за необхідності армування сталевією сіткою; великі навантаження на фундаменти будівель за рахунок збільшення маси каркаса; необхідність застосування антикорозійних складів.

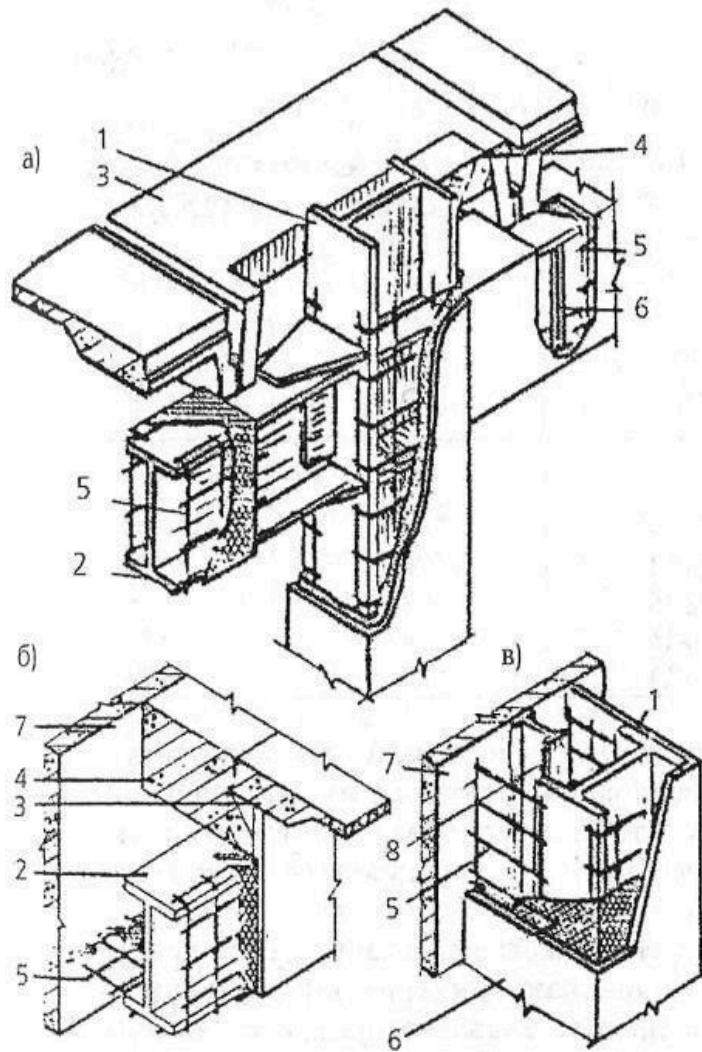


Рис. 2.12 – Фрагменти сталевих конструкцій з вогнезахисним облицюванням зі штукатурок різного складу

а - захист вузла з'єднання рядової колони з ригелем; б - захист ригеля, розташованого біля стіни будівлі; в - захист колони, розташованої біля стіни будівлі; 1- колони; 2 - ригель; 3 - плита перекриття; 4 - монолітний бетон; 5 - арматурна сітка; 6 - штукатурка; 7 - стіна будівлі; 8 - стійка фахверка

Прагнення понизити масу вогнезахисного облицювання привело до розробки останнім часом легких штукатурок і покриттів на основі перліту, вермікуліту, фосфатних з'єднань і інших ефективних матеріалів. Ці облицювання мають малу щільність ($200 - 600 \text{ кг/м}^3$) і тому низьку теплопровідність. На випадок пожежі вони не виділяють диму і токсичних продуктів.

Останнім часом застосовуються полегшені штукатурки, що наносяться механічним способом. Прикладом є перлітна штукатурка. Виходячи з виду конструкції, її товщини і необхідної межі вогнестійкості, значення товщини

перлітної штукатурки подані в табл. 2.2 [15, 16].

Для штукатурки, що наноситься методом напівсухого торкретування, як армуючі елементи використовуються Г-подібні шпильки з дроту. Шпильки приварюють до конструкції, що захищається, з кроком 200 мм і відгортають так, щоб відстань від їх кінцевих країв до поверхні конструкцій складала 10 мм [15].

Таблиця 2.2

Товщина шару перлітової штукатурки [15]

Конструкції	Мінімальна товщина конструкції, мм	Мінімальна товщина покриття, мм, при межах вогнестійкості, год	
		1,0	0,75
Зварена балка і колона двотаврового перерізу	14	20	15
	16	20	15
	20	15	10
	30	10	10
	50	10	5
Балки і колона у вигляді прокатних двотаврів:			
№№ 10 - 14	4,5 – 4,9	30	25
№№ 16 - 18a	5,0 – 5,1	30	25
№№ 20 - 24a	5,2 – 5,6	30	25
№№ 27 - 30a	6,0 – 6,5	30	25
№№ 33 - 40a	7,0 – 8,3	25	20

Балки і колони, виконані з двотавру або швелера полицями назовні, перед кріпленням армуючої сітки обгортають склотканиною або фольгою, що закриває порожнечі і що знижує витрату дефіцитних теплоізоляційних матеріалів. Для збільшення жорсткості шару облицювання застосовується арматурний каркас. Вогнезахисні штукатурки можуть наноситися як на заводі, так і безпосередньо на будмайданчику вручну або механізованим способом. Для нанесення складів, що мають достатньо високу міцність у перші хвилини після нанесення, а також складів на основі в'язучих, що швидко схоплюються, застосовують метод напівсухого торкретування. При цьому нанесення

штукатурки виконується за допомогою цемент-пушок з продуктивністю 1-2 м³/год.

Разом з методом напівсухого торкретування застосовується метод набризкування. Для нанесення штукатурки цим методом у внутрішніх приміщеннях використовується спеціальна установка продуктивністю до 1,2 м³/год і дальністю подачі до 30 м [15]. Легкі вогнезахисні штукатурки ефективніші в порівнянні з цементно-піщаними, оскільки, забезпечуючи однакову межу вогнестійкості конструкції, вони значно менше обважнюють каркас будівлі. В той же час цьому виду покриттів властиві недоліки: матеріал покриттів м'який, має невелику конструктивну міцність, легко відшаровується від поверхні металу. Таке покриття не можна використовувати для відкритих поверхонь, незахищених від механічних пошкоджень, а також для зовнішніх робіт. Ці покриття не захищають від корозії і не відповідають естетичним вимогам. Необхідність застосування арматурних сіток збільшує трудомісткість робіт [15].

Вогнезахисні покриття. Одним з перспективних способів вогнезахисту металевих конструкцій є високоефективні покриття, які наносять на поверхню конструкції порівняно тонким шаром. Ці покриття можуть бути такими, що не спучуються і спучуються.

В даний час використовується склад ОФП-МВ. За своїми вогнезахисними і фізико-механічними властивостями, способом нанесення, використовуваними механізмами для нанесення, ці склади ідентичні. Відмінність є лише в підготовці робочого складу. У даний час широко застосовується і полегшене покриття марки ОПВ-180, до складу якого входять гіпсоцементне пуцоланове в'язуче, муллітокремнеземне волокно, пластифікатор і шлам флотації фосфоритних руд.

Вогнезахисні покриття, що спучуються, є композиційними матеріалами, що включають полімерне в'язуче і наповнювачі (антипірени, газоутворювачі, жаростійкі речовини і стабілізатори спіненого вугільного шару). При спученні і одночасному обвуглюванні відбувається утворення дрібнопористого за

структурою шару, що має низьку теплопровідність, унаслідок чого різко сповільнюється прогрівання металевих конструкцій [7, 15].

Вогнезахисний склад ОЗС-МВ на основі рідкого скла, неорганічних наповнювачів і вигоряючих добавок призначений для створення на поверхні металу вогнезахисного покриття, що спучується, з метою підвищення вогнестійкості сталевих металевих конструкцій, експлуатованих усередині приміщень будівель, споруд промислового і цивільного призначення з відотною вологістю не більше 80 %. Склад сертифікується відповідно до вимог ГОСТ 9980.1-86Е «Материалы лакокрасочные. Правила приемки». Склад наноситься на сталеві поверхні, оброблені грунтами типу ГФ, а також на негрунтуючі поверхні [15].

Вогнезахисний склад ОЗС-МВ дозволяє відмовитися від значної кількості ручних робіт у будівництві, оскільки замінюють обштукатурювання по металевій сітці, що дозволяє економити дефіцитні матеріали – сталь, цемент, вапно і ін.; здійснювати роботи з вогнезахисту механізованими засобами; скоротити питому витрату матеріалів для вогнезахисту. В даний час використовуються також вогнезахисні покриття типу ОВПФ-л, «Екран-М». Ефективність перерахованих видів вогнезахисту подана в табл. 2.3 [15].

Вогнестійкі підвісні стелі є ефективним засобом підвищення вогнестійкості металевих конструкцій покриттів і перекриттів. Особливо доцільні підвісні стелі для вогнезахисту ферм і структур. Безпосередній захист кожного елемента цих конструкцій облицюваннями або покриттями, що спучуються, трудомісткий і недостатньо надійний, оскільки важко здійснюється у вузлових з'єднаннях елементів конструкцій [15].

Улаштування підвісної вогнезахисної стелі надійніше, оскільки між стелею і конструкцією, що захищається, створюється повітряний зазор, який додатково підвищує її межу вогнестійкості. Найбільш простою і дешевою підвісною стелею є стеля з мінераловатних плит, укладених на сталеву сітку або різні штукатурки по сітці. Сітка за допомогою сталевих стрижнів, розташованих з кроком 0,8-1 м, підвішується до нижнього поясу ферм або

структур. Зовнішня поверхня стелі закривається декоративним матеріалом. При товщині плит 50-80 мм підвісна стеля підвищує межу вогнестійкості ферм і структур до 0,75-1 год [14, 15].

Таблиця 2.3

Види вогнезахисту і їх ефективність [15]

№ з/п	Вид вогнезахисту	Середня щільність, кг/м ³	Товщина вогнезахисту, мм., при необхідних межах вогнестійкості, год.				
			0,75	1,0	1,5	2,0	2,5
Вогнезахисні облицювання:							
1	цегла	1800	65	65	65	65	120
	гіпсокартонні листи	850	16	16	32	32	-
2	Обетонування	2500	-	-	-	50	60
Вогнезахисні покриття							
3	Цеметно-піщана штукатурка	1800	25	30	40	50	60
	Перлітна штукатурка	500	15	20	30	40	50
	фосфатні покриття (ОФП-ММ, ОФП-МВ)	300	15	20	30	40	45
4	ОЗС-МВ	1230	8,1	-	-	-	-

Конструктивне рішення підвісної стелі із застосуванням ГКЛ показано на рис. 2.13. Конструкція стелі складається з металевого каркаса, облицювання і кріпильних елементів. Товщина підвісних стель, що включають каркас і облицювання, складає від 40 до 84 мм. Відстань від екранів до площини поверхні, що захищається, 80-350 мм. Як облицювання захисних екранів підвісних стель використовуються:

- гіпсобетонні плити завтовшки 14 мм;
- гіпсокартонні перфоровані плити, що обважнюють, і полегшені, завтовшки 30 мм із заповненням мінеральною ватою і наклейкою алюмінієвої фольги;
- декоративні гіпсові плити завтовшки 20 мм;

- мінераловатні плити;
- мінераловатні плити на синтетичному в'язучому завтовшки 30 мм [15].

Використання таких підвісних стель дозволяє забезпечити межу вогнестійкості металевої конструкції 0,75-2,5 год [14, 15].

Найбільш надійними конструкціями стелі є такі, які мають облицювання і герметичні стики. Улаштування в підвісній стелі отворів знижує її вогнезахисну здатність. Так, наприклад, влаштовувана для цілей вентиляції кризна перфорація площею 2,7 % в плитах стелі знижує її вогнезахисну здатність у два рази.

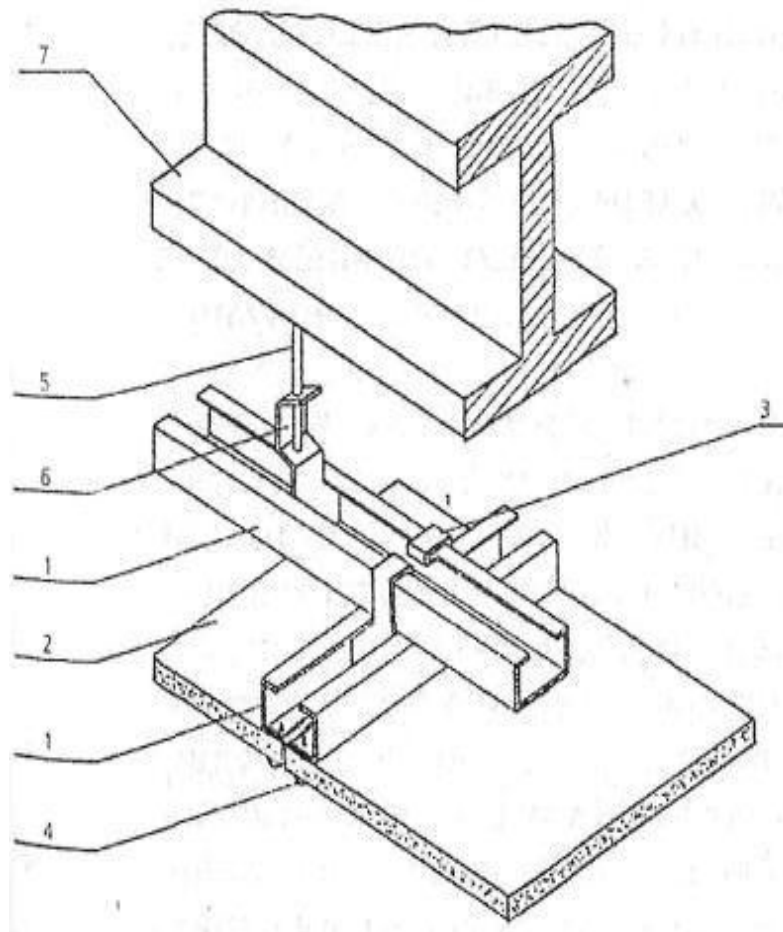


Рис. 2.13 – Конструкція вогнезахисної підвісної стелі:

1 - швелер з листової сталі; 2 - гіпсокартонний лист; 3 - хомут; 4 - самонарізуючий гвинт; 5 - підвіска; 6 - пружина підвіски; 7 - сталева конструкція, що захищається

Зарубіжна і вітчизняна практика передбачають як вогнезахист металевих конструкцій застосовувати водяне охолодження цих конструкцій. Вода для охолодження може подаватися безпосередньо на поверхню конструкції від спринклерних, дренчерних і інших систем. Необхідно, щоб зрошувачі були

спрямовані на конструкції, що захищаються. Вся система подачі води під тиском повинна бути розрахована з урахуванням необхідності живлення всіх пристроїв, призначених для захисту каркаса. Для підвищення ефективності охолодження несучих конструкцій система автоматичного пожежогасіння повинна мати спеціальні пристрої, що забезпечують безперебійну подачу достатньої кількості води на елементи, що захищаються [7, 15].

Конструкції, виконані з елементів порожнистого перерізу, наприклад труб, можуть заповнюватися водою для їх охолодження при пожежі. Такі конструкції називаються водонаповненими.

Водонаповнені конструкції зверху і знизу об'єднані в замкнуту мережу.

Рівень води підтримується за допомогою розташованого вище резервуара, який одночасно є компенсатором при збільшенні об'єму води і джерелом випаровування. Коли під час пожежі такі колони нагріваються, в системі, за рахунок підйому нагрітої в окремих місцях води, встановлюється природна циркуляція, яка відводить притік тепла і сприяє охолодженню конструкції, що знаходиться в осередку пожежі. Досягнення нагрітою водою температури кипіння і її випаровування залежить головним чином від тривалості і розмірів пожежі, а також від кількості циркулюючої в системі води [7, 15].

За рахунок випаровування відбувається пониження рівня води в резервуарах, причому живлення системи може проводитися або з резервуара достатньої місткості, або із зовнішнього джерела (рис. 2.14.а,б). Таким чином, вся система залишається повністю заповненою водою впродовж всієї пожежі, а достатнє видалення тепла від нагрітих сталевих елементів, що досягли температури кипіння, забезпечується за рахунок охолодження при випаровуванні. Конструкції можуть бути постійно заповнені водою, що вимагає відповідних заходів щодо боротьби з корозією і забезпеченню їх герметичності або заповнюватися водою з водопроводу при пожежі в результаті розтину спринклера і відкриття пов'язаного з ним автоматичного клапана. Запобігти замерзанню води можна за допомогою добавки відповідного антифризу, а внутрішньої корозії можна уникнути за допомогою добавки інгібітора корозії [7,

15].

У деяких випадках можна винести несучі металокаркати за габарити захищаючих конструкцій. Металеві колони можна розмістити ззовні, а стінні панелі - прикріпити з внутрішньої сторони будівлі. Металеві ферми - захистити підвісною стелею. Таким чином, можна виключити пряму дію вогню на несучі металеві конструкції і підвищити стійкість будівлі або споруди до дії пожежі.

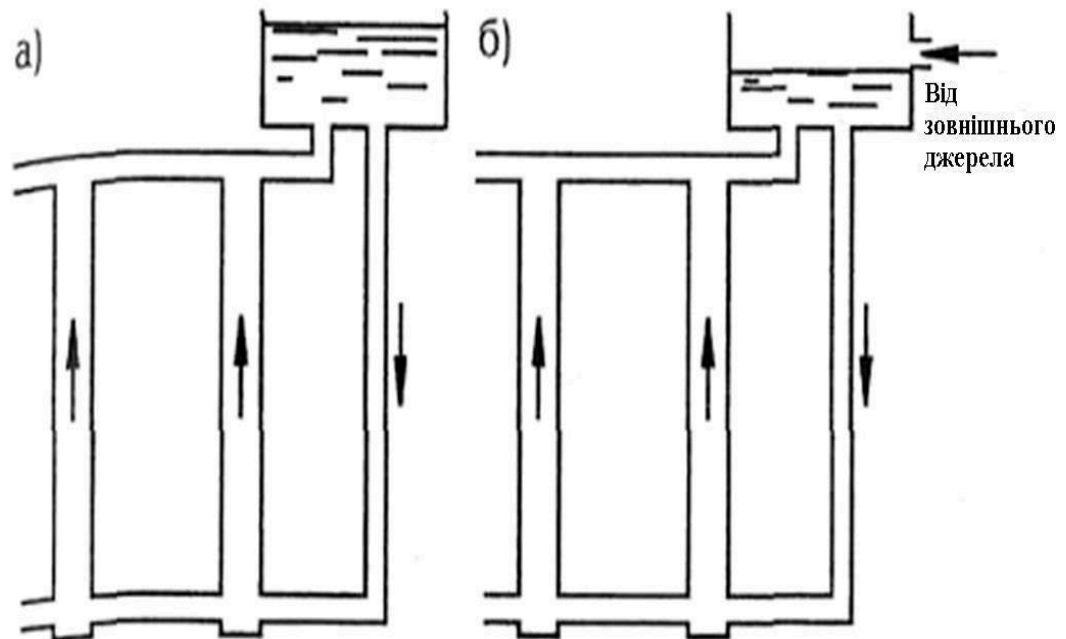


Рис 2.14 – Водонаповнені конструкції з живленням водою: а - з резервуара великої місткості; б - із зовнішнього джерела.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання роботи розглянуті основні об'ємно-планувальні рішення будівельних конструкцій та виявлені їх конструктивні особливості. Об'ємно-планувальні рішення промислових будівель базуються на каркасній системі, яка забезпечує великі прольоти, гнучкість планування та можливість розміщення технологічного обладнання. Типові рішення включають одноповерхові та багатоповерхові каркаси з сіткою колон 6×6, 12×6 м або більше, з використанням залізобетонних або сталевих елементів. Конструктивні особливості: рамні, зв'язкові або комбіновані системи, де колони та ригелі утворюють просторову жорсткість.

1. Розглянуті основні об'ємно-планувальні рішення будівельних конструкцій та виявлені їх конструктивні особливості.

2. Встановлено, що для забезпечення просторової стійкості каркасів промислових будівель застосовуються різні види зв'язків.

3. Розглянута поведінка металевих конструкцій при дії високих температур, що виникають при пожежі. Встановлено, що зниження міцності конструкцій в цілому залежить не тільки від виду металу, з якого вона виготовлена, а й з особливостей конструктивного виконання будівельних конструкцій.

4. Розглянуті існуючі матеріали, за допомогою яких можливо збільшити межу вогнестійкості металевих конструкцій з 0,25 год до 1,00 год.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА МАТЕРІАЛУ ЗАХИСТУ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ НА БАЗІ ЗОЛИ СМІТТЄСПАЛЕННЯ

Як було вже сказано раніше [6, 7, 10, 13], стійкість промислових будівель і споруд забезпечується стійкістю каркаса будівлі за рахунок введення додаткових зв'язків. На випадок пожежі стійкість металевих конструкцій, з яких складається каркас будівлі, забезпечується вогнезахисними покриттями, лаками, фарбами тощо [14, 15, 16].

До вогнезахисних складів виставляються наступні умови: вони повинні бути зроблені з доступної сировини; технологія повинна бути не дуже складною з мінімальними ресурсними затратами.

Такими матеріалами можуть бути різні види відходів, одним з яких є відходи сміттєспалення, як продукт зниження результатів людської життєдіяльності.

В роботі пропонується для підвищення стійкості металевих конструкцій промислового підприємства електротехнічної промисловості з вогнезахисного матеріалу з використанням відходів сміттєспалення – золи уноса.

3.1 Матеріали та методи досліджень

У роботі використовувалися такі матеріали: зола сміттєспалення, ортофосфорна кислота, аммофос, діаммофос.

Зола сміттєспалення являє собою продукт термічної переробки твердих побутових відходів, наряду зі шлаками. Якщо шлаки являють собою тверді комкоподібні речовини, то золи відрізняються більш дисперсною структурою і її зазвичай приходиться уловлювати фільтрами. Вона являє собою порошок, коричневого кольору, в залежності від хімічного складу. Щільність золи-уносу становить 1,2 – 1,4 г/см³. Кількісний хімічний склад її залежить від пори року, але в якісному складі він відповідає можливостям використання у різних галузях промисловості: цементному виробництві, виробництві бетонів для дорожнього

одягу, виробництві глиняної цегли, мінеральної вати тощо.

Ортофосфорна кислота [26] – неорганічна сполука, кислота складу H_3PO_4 , яка утворює ряд солей ортофосфатів (фосфатів). За кімнатної температури є білою кристалічною речовиною, а при нагріванні до $42,35\text{ }^\circ\text{C}$ перетворюється на безбарвну в'язку рідину.

Широко застосовується для отримання мінеральних добрив, для створення захисних покриттів, у виробництві косметики та скла.

При нормальних умовах ортофосфатна кислота являє собою безбарвну й розпливчасту на повітрі кристалічну сполуку із температурою плавлення $+42\text{ }^\circ\text{C}$ (65%-й розчин кислоти замерзає тільки при $-85\text{ }^\circ\text{C}$). У твердому стані й у розчині молекули ортофосфатної кислоти асоційовані за рахунок водневих зв'язків, і тому концентровані розчини мають високу в'язкість. Фосфатна кислота добре розчиняється у воді (до 80 % за масою). Її водні розчини – гарні електроліти (найвища електропровідність спостерігається тоді, коли концентрація кислоти становить 48 %) [26].

На відміну від багатьох сполук фосфору, фосфатна кислота не отруйна.

Густина – $1,87\text{ г/см}^3$. Температура плавлення $42,35\text{ }^\circ\text{C}$. У воді розчиняється дуже добре й у водному розчині є кислотою середньої сили. Утворює гемігідрат складу $\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ [26].

Промислова ортофосфорна кислота – це найважливіший напівпродукт для виробництва фосфорних і комплексних добрив (кормових фосфатів для тваринництва) та технічних фосфатів, широко використовується також, для фосфатування металів, виробництва зубних паст, як каталізатор в органічному синтезі. А також для очищення металевих поверхонь і створення антикорозійних покриттів [26].

Ортофосфорна кислота зареєстрована як харчова добавка **E338**. Застосовується як регулятор кислотності у газованих напоях (на кшталт «Кока-кола» та «Пепсі»). Є відомості, що вона призводить до вимивання кальцію з організму людини уже за годину після споживання [26].

Амофос. (скорочено від амоній та фосфор) – складне добриво, що

застосовується як ефективне джерело нітрогену та фосфору для рослин.

Основним компонентом амофосу є дигідрофосфат амонію $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, також в ньому може бути присутня невелика кількість гідрофосфату амонію $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (діамофосу).

За об'ємами виробництва амофос є одним з найбільш поширених фосфатних добрив, поступаючись лише діамофосу [27].

Складовими для отримання амофосу є безводний амоніак та ортофосфорна кислота, синтезована за методом вологого травлення.

Нині основним способом виробництва амофосу є метод компанії «Теннесі Веллі Ауторіті». Для підтримання водного балансу у реакційній системі вихідна ортофосфатна кислота повинна мати концентрацію, не меншу за 40% P_2O_5 . Кислотою заповнюють ємність, обладнану мішалкою – даний резервуар зветься переднейтралізатор. Зневоднений амоній пропускається дном ємності, розпочинаючи процес часткової нейтралізації кислоти. Тепло, що виділяється в результаті екзотермічної взаємодії, сприяє закипанню кислоти і вивільненню зайвої кількості води, утворюючи суспензію. Бажаним молярним співвідношенням $\text{NH}_3:\text{PO}_4$ є 1,4:1 – саме за цього значення розчинність продукту в даних умовах є найвищою. Витримуючи реакційну суміш у переднейтралізаторі, можна досягти вивільнення максимально можливої кількості води без втрати текучості суспензії. Зазвичай на виході з резервуару суспензія має температуру 115–125 °С і вміст води близько 16–20 %. Далі вона подається на обертальні барабани для її висушування і гранулювання. Сюди ж поступово впорскується фосфатна кислота для досягнення рівного співвідношення $\text{NH}_3:\text{PO}_4$. Іншим варіантом є утворення початкової суспензії із співвідношенням 1:0,6 – вона також має прийнятну розчинність. В цьому випадку, для досягнення еквімолярності, на обертальні барабани подаватиметься додаткова кількість амонію [27].

Для виробництва амофосу негранулярного типу застосовується суспензія із співвідношенням N:P близько 1,3:1, яка поступово подається у контактний змішувач для взаємодії із кислотою та вивільнення води. В результаті

утворюється порошкоподібний продукт із вмістом вологи 6%, залишкова кількість якої запобігає пилоутворенню і збільшує реакційну здатність амонію.

Амофос є подвійним, азотно-фосфорним добривом. Він містить 10–12% нітрогену і 46–50% P_2O_5 у добрерозчинній формі. Добриво є ефективним при застосуванні під усі культури, його можна вносити для підживлення ґрунтів із низьким вмістом фосфору і підвищеним вмістом калію. [27]

До недоліків амофосу відносять незбалансований масовий вміст у ньому нітрогену і фосфору (1:4). Це певною мірою обмежує можливість його використання як окремого, чистого добрива, тому амофос використовують у складі тукоsumішей, оскільки він добре поєднується із багатьма стандартними добривами. Маючи біологічну кислотність, амофос підкислює ґрунт [27].

Діамофос $(NH_4)_2HPO_4$ містить 20-21 % азоту і 51- 53 % P_2O_5 . Це найбільш концентроване складне добриво, розчинне у воді, з добрими фізичними властивостями. Як і амофос, його одержують насиченням фосфорної кислоти аміаком. Діамофос має більш сприятливе співвідношення (1:2,5) між азотом і фосфором, ніж амофос. Це найбільш концентроване складне добриво. Істотним недоліком діамофосу і амофосу є широке відношення між азотом і фосфором, тому для нормального співвідношення азоту і фосфору до амофосу і діамофосу додають аміачну селітру або карбамід. Використовують майже на всіх ґрунтах, особливо на чорноземах для основного удобрення і для підживлення технічних, зернових та овочевих культур. Він довго зберігається і добре змішується з усіма добривами [28].

Для досліджень використовувалися методи: визначення фізико-механічних та теплофізичних властивостей розробленого матеріалу: визначення середньої щільності, відкритої пористості, міцності на стиск, визначення коефіцієнту теплопровідності та термічного опору.

Для визначення середньої щільності матеріалів використовувалися методом, описаним в [17].

Середньою щільністю (ρ_0) матеріалу називають щільність матеріалу в природному стані, тобто враховують пори й пустоти.

Метод визначення середньої густини залежить від геометричної форми зразка матеріалу. Зразки матеріалу *правильної герметичної форми* (куб, паралелепіпед, циліндр тощо) вимірюють і розраховують об'єм за відповідною формулою для певної геометричної фігури. Потім зразок матеріалу зважують із похибкою не більше 0,1 г (із масою до 500 г) і не більше 1 г (з масою понад 500 г).

Для зразків *неправильної геометричної форми* середню густину визначають за допомогою об'ємоміра (рис. 3.1).

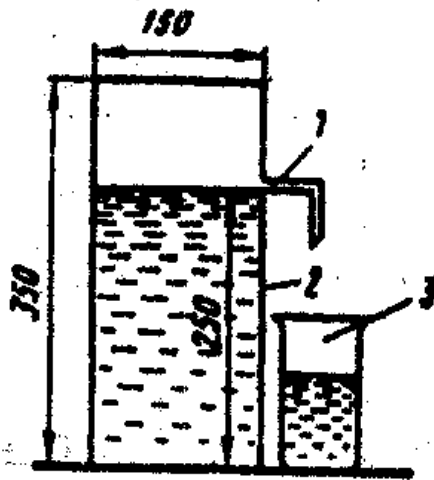


Рис. 3.1 – Об'ємомір:

1 – зливна трубка; 2 – мірний посуд; 3 – склянка

Об'ємомір використовують під час визначення середньої густини зразків масою понад 500 г. Зразок зважують (m_1), парафінують і знову зважують (m_2). В об'ємомір наливають воду до рівня зливної трубки. Під трубку ставлять зважену попередньо склянку (m_3). Зразок на нитці занурюють в об'ємомір.

Склянку з водою зважують (m_4). Маса води (г), витиснутої зразком ($m_4 - m_3$), дорівнює об'єму (см^3) зразка з парафіном ($V_o + n$), оскільки $\rho_{\text{води}} = 1 \text{ г/см}^3$.

Об'єм парафіну визначають за формулою:

$$V_o = (m_2 - m_1) / \rho_n, \quad (3.1)$$

де ρ_n – довідкова густина парафіну дорівнює $0,98 \text{ г/см}^3$.

Середню густину матеріалу розраховують за формулою:

$$\rho_o = m_1 / V_o = m_1 / [(m_4 - m_3) / \rho_{\text{води}} - (m_2 - m_1) / \rho_n]. \quad (3.2)$$

Відкриту пористість зразків визначали за методикою, що описана в [23, 24].

Зразки висушують до постійної маси при температурі 110 – 135 °С. Маса враховується постійною, якщо результат наступного зважування, що проведений через 1 год. Сушіння, відрізняється від попереднього не більше ніж на 0,1%.

Зважування проводять з похибкою не більше +/- 0,5 г.

Визначення лінійних розмірів зразка проводять з усередненням результатів вимірювання чотирьох середніх ліній усіх паралельних граней за кресленням

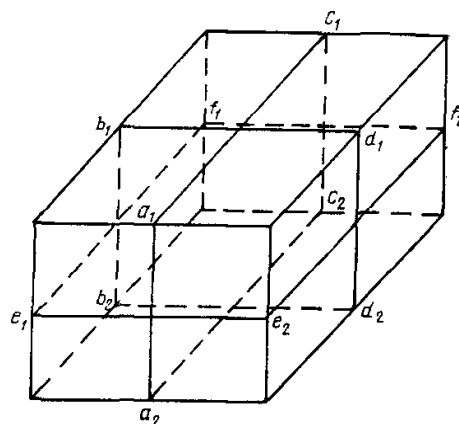


Рис. 3.2 – Схема вимірювання зразків

Лінійні розміри зразка розраховують за формулами:

$$a = \frac{a_1 a_2 + b_1 b_2 + c_1 c_2 + d_1 d_2}{4}, \quad (3.3)$$

$$b = \frac{b_1 d_1 + b_2 d_2 + e_1 e_2 + f_1 f_2}{4}, \quad (3.4)$$

$$c = \frac{a_1 c_1 + a_2 c_2 + e_1 f_1 + e_2 f_2}{4}. \quad (3.5)$$

Середню щільність ($\rho_{\text{каж}}$), г/см³, розраховують за формулою (3.6):

$$\rho_{\text{каж}} = \frac{m_{\text{сух}}}{V}, \quad (3.6)$$

де $m_{\text{сух}}$ – маса сухого зразка, г; V – об'єм зразка, см³.

Об'єм зразка (V), см³, розраховують за формулою (3.6):

$$V = a \times b \times c, \quad (3.6)$$

де a, b, c – лінійні розміри зразка, см.

Загальну пористість ($P_{\text{обш}}$), %, розраховують за формулою (3.7):

$$P_{\text{обш}} = \frac{\rho - \rho_{\text{каж}}}{\rho} \cdot 100, \quad (3.7)$$

де $P_{\text{обш}}$ – щільність матеріалу зразка, г/см^3 , що визначається за [17].

Для визначення теплопровідності використовували прилад з асиметричною схемою (рис. 3.3).

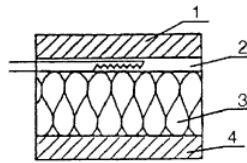


Рис 3.3 – Схема приладу з дним тепломіром

1 – нагрівник; 2 – тепломір; 3 – зразок, що випробується; 4 – холодильник.

Обчислюють відносну зміну маси зразка внаслідок його сушіння m_r та у процесі випробування m_w і щільність ρ_v зразка за формулами:

$$m_r = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \quad (3.8)$$

$$m_w = \frac{M_2 - M_3}{M_2} \quad (3.9)$$

$$\rho_v = \frac{M_3}{V_u} \quad (3.10)$$

Об'єм зразка, який випробують, обчислюють за результатами вимірювання його довжини і ширини після закінчення випробування, а товщини (d_u) – у процесі випробування.

Різницю температур ΔT_u лицьових граней і середню температуру T_{mu} зразка, що випробують, обчислюють за формулами:

$$T_u = T_{1u} - T_{2u} \quad (3.11)$$

$$T_{mu} = \frac{T_{1u} + T_{2u}}{2} \quad (3.12)$$

При обчисленні теплофізичних показників зразка і щільності

стаціонарного потоку в розрахункові формули підставляють середньоарифметичні значення результатів п'яти вимірювань сигналів датчиків різниці температур і сигналу тепломіра або електричної потужності, виконаних після встановлення стаціонарного теплового потоку крізь зразок, який випробують.

При проведенні випробування на приладі, зібраному за асиметричною схемою, термічний опір R_u зразка обчислюють за формулою:

$$R_u = (\Delta T_u / q_u) - 2R_k, \quad (3.13)$$

де R_k приймають таким, що дорівнює 0,005 м²К/Вт (а для теплоізоляційних виробів - нулю).

Ефективну теплопровідність λ_{ef} зразка обчислюють за формулою:

$$\lambda_{ef} = \frac{d_u}{\left(\frac{\Delta T_u}{q_u}\right) - 2R_k}, \quad (3.14)$$

де d_u - товщина зразка,

Щільність стаціонарного теплового потоку q_u крізь зразок, який випробується на приладі з асиметричною схемою обчислюють за формулою:

$$q_u = f_u e_u, \quad (3.15)$$

де f_u – значення градуовального коефіцієнту приладу, які відповідають значенню теплового потоку, що протікає крізь зразок, який випробують.

e_u ,- вихідний сигнал тепломіру після встановлення стаціонарного теплового потоку крізь зразок, що випробується.

Для оціночних попередніх визначень теплопровідність може бути розрахована за формулою В. П. Некрасова [29]:

$$\lambda = 1,16 (0,0196 + 0,22\rho^2 - 0,16)$$

де ρ – відносна щільність матеріалу.

Міцнісні характеристики зразків визначалися за методикою, що описана в [17, 20].

Механічні властивості матеріалів характеризують їхню здатність опиратися впливу зовнішніх механічних сил і характеризують їхню міцність.

Міцність матеріалів характеризується межею міцності.

Межа міцності – максимальне напруження, що виникає в матеріалі й передуює його руйнуванню. Межа міцності визначається дослідами на зразках встановлених розмірів і форми. Межу міцності матеріалу визначають на серіях зразків, не менше трьох. Остаточним результатом вважають середнє арифметичне тільки тих показників, що відрізняються один від одного не більше ніж на 15%.

Під час випробувань використовують гідравлічні преси з максимальним зусиллям 10 т і 100 т. Граничне навантаження визначають за показаннями фіксувальної стрілки манометра. Руйнівне зусилля визначають за тарувальними таблицями, що додаються до преса. Межу міцності під час стискання розраховують за формулою:

$$R = P/S, \quad (3.16)$$

де P – руйнівне зусилля, кг; S – площа зразка, см².

3.2 Розробка захисних складів

Для забезпечення вогнезахисту металевих конструкцій обрано матеріал, який на нашу думку спроможен виконати вогнезахисні функції та забезпечить підвищення стійкості металевих будівельних елементів.

Виходячи з досліджень робіт попередніх авторів [7, 5, 16], для досліджень в якості основного матеріалу було обрано відходи термічної переробки твердих побутових відходів, а для придання їм вигляду виробу, аналогічно з цементом ортофосфорну кислоту та амофос. Таким чином, отримуємо в'язуче хімічного твердіння, що відрізняється від твердіння будівельного цементу, який є гідравлічним в'язучим, тобто речовиною, здатною твердіти в присутності води.

Для визначення оптимального складу були виготовлені зразки сумішей, склад яких наведено в табл. 3.1.

Для зразків 1 – 3 суміші готувалися наступним чином. Попередньо зважену золу засипали у лабораторний кульовий млин і подрібнювали протягом 30 хвилин. Ортофосфорну кислоту додавали безпосередньо при виготовленні

суміші.

Зразки 5 – 12 (табл. 3.1) при приготуванні сумішей проводили сумісний помел золи та амофосу (5 – 8) або діамофосу (9 – 12). Для придання суміші пластичного стану додавалася вода.

Суміші ретельно перемішували протягом 20 хвилин і поміщали у металеві форми повного застигання, тобто утворення твердого каменеподібного тіла.

Таблиця 3.1

Склад сумішей, що досліджуються

№ зразка суміші	Зола-унос, мас. %	Ортофосфорна кислота, об. %	Амофос, мас. %	Діамофос, мас. %
0	100	-	-	-
1	90	10	-	-
2	85	15	-	-
3	80	20	-	-
4	75	25	-	-
5	90	-	10	-
6	85	-	15	-
7	80	-	20	-
8	75	-	25	-
9	90	-	-	10
10	85	-	-	15
11	80	-	-	20
12	75	-	-	25

Зразок 0, враховуючи цього хімічний склад, виготовляли як контрольний, щоб з'ясувати можливість самостійного твердіння матеріалу.

При твердінні матеріалу, особливо зразків 5 – 12 за рахунок гідролізу амофосу та діамофосу відбувалося збільшення об'єму маси, що тягло за собою спучування загальної маси, тому після набуття твердого стану надлишок матеріалу зрівнювали з поверхнею форми.

У формах зразки витримували 28 суток, за аналогією проведення

випробувань з портландцементом.

Після досягнення вказаного терміну зразки витягувалися з форм і далі піддавалися дослідженню властивостей, що повинні були встановити можливість їхнього використання у якості вогнезахисного матеріалу для захисту металевих конструкцій від впливу високих температур, що виникають при пожежі.

Як було встановлено, зразок 0 після витягування з форми мав дуже низький опір стисканню (руйнувався майже в руках) і подалі у випробуваннях не використовувався.

Зразки з додатком ортофосфорної кислоти, амофосу та діамфосу (1 - 12) були використані для подальших досліджень їх властивостей.

3.3 Дослідження властивостей розробленого матеріалу

Для досліджень на підставі складів, наведених в табл. 3.1, виготовляли зразки, які витримували у формі до повного їх застигання (28 діб), після чого їх витягували з форми з метою подальшого дослідження їх властивостей: межі міцності на стискання, середню щільність, відкриту пористість та теплопровідність.

Виготовлені для дослідження фізико-механічних властивостей вогнезахисного матеріалу зразки мали форму куба розміром 30 x 30 x 30 мм.

Після витягування зразків з форми з метою подальшого їх дослідження зразки висушували в сушильній шафі при температурі 110 ± 10 °C до постійної ваги.

Механічні властивості, середню щільність, відкриту пористість та теплопровідність визначали за методиками, описаними в [17, 19, 21, 22].

Механічні властивості визначали на гідравлічному пресі з максимальним зусиллям 100 кН. Результати вимрювань наведені в табл. 3.2. Склад зразків наведений в табл. 3.1.

Виготовлені за вимогами [17] зразки після висушування встановлювалися на гідравлічний прес і випробувалися на стискання. Результати випробувань

наведені в табл. 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.2

Фізико-механічні та теплофізичні властивості вогнезахисного матеріалу

№ зразка	Міцність на стиск, МПа	Середня щільність, г/см ³	Загальна пористість, %	Теплопровідність, Вт/(мК)
1	4,0	1,15	26,4	0,8
2	5,5	1,18	23,2	0,75
3	7,0	1,2	21,7	0,70
4	6,8	1,18	23,2	0,72
5	1,5	1,05	32,6	0,75
6	2,0	1,10	29,0	0,70
7	2,5	1,08	30,4	0,68
8	2,2	1,06	31,9	0,70
9	4,5	0,9	43,5	0,25
10	6,0	0,88	44,9	0,23
11	7,5	0,80	50,7	0,20
12	7,4	0,82	49,0	0,22

Схема проведення випробувань наведена на рис. 3.4.

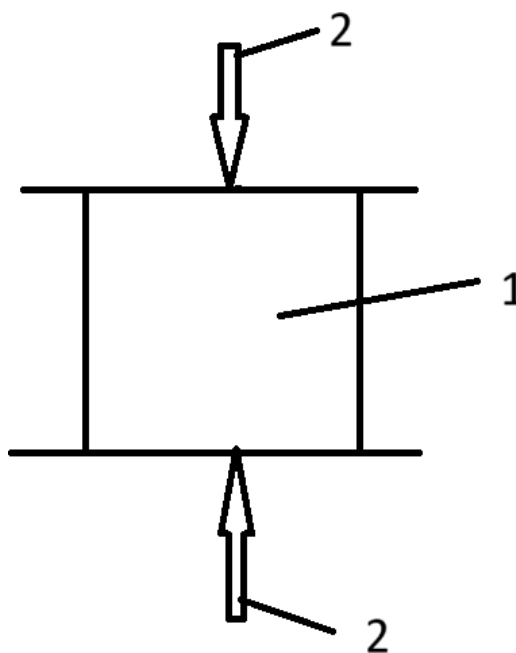


Рис. 3.4 – Схема проведення випробувань:

1 – зразок; 2 – прикладені навантаження

Таблиця 3.2

Результати випробувань зразків вогнезахисного матеріалу

№ зразка	Площа зразка см ²	Максимальне руйнуюче зусилля, кН	Межа міцності при стиску, МПа
1	9	36	4,0
2	9	49,5	5,5
3	9	63	7,0
4	9	61,2	6,8
5	9	13,5	1,5
6	9	18	2,0
7	9	22,5	2,5
8	9	19,8	2,2
9	9	40,5	4,5
10	9	54	6,0
11	9	67,5	7,5
12	9	66,6	7,4

Як показали результати досліджень, при збільшенні матеріалу хімічної речовини більше 20 мас. (об.) %, збільшення міцності матеріалу, що досліджується, не виявлено.

При дослідженні середньої щільності зразків усі зразки обмірялися та зважувалися на технічних вагах, після чого проводилися розрахунки середньої щільності за формулою (3.6). Результати досліджень наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Дані з дослідження середньої щільності зразків вогнезахисного матеріалу

№ зразка	Вага, г	Об'єм, см ³	Середня щільність, г/см ³
1	30,82	26,8	1,15
2	31,74	26,9	1,18
3	31,92	26,6	1,20
4	31,27	26,5	1,18
5	28,25	26,9	1,05

6	29,15	26,5	1,10
7	28,73	26,6	1,08
8	28,30	26,7	1,06
9	24,21	26,9	0,9
10	25,62	26,5	0,88
11	21,44	26,8	0,80
12	21,81	26,6	0,82

Загальну пористість зразків визначали за методикою, описаною в [17], для чого спочатку за допомогою об'ємоміра досліджували справжню щільність золи. Золю висушували до постійної ваги в сушильній шафі. Заливали воду в об'ємомір до нижньої позначки і зважували, потім в об'ємомір, заповнений водою, висипали попередньо зважену золю до досягнення водою верхньої позначки, зважували залишок золи і об'ємомір з водою та золою. За різницею ваги знаходили кількість золи, що знаходилася в об'ємомірі. Знаючи, що об'єм води, що знаходиться між позначками та вагу золи, що витіснила цей об'єм, знаходимо справжню щільність золи.

Таким чином, в результаті досліджень було встановлено, що справжня щільність золи складає $\rho_0 = 1,50 \text{ г/см}^3$.

Результати досліджень наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Результати визначення справжньої щільності

Найменування показників	Позначення показника	Значення
Зола уноса		
Наважка порошку, г	m_1	30
Маса залишку порошку, г	m_2	15,0
Маса порошку, який висипали в об'ємомір, г	$m_1 - m_2$	15,0
Об'єм порошку за константою приладу, см^3	V_0	10
Справжня щільність матеріалу, г/см^3	$\rho_0 = (m_1 - m_2)/V_0$	1,50

Знаючи середню та справжню щільності золи, за формулою (3.17)

розраховуємо загальну пористість зразків.

$$P = 100 \cdot \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0}, \quad (3.17)$$

Результати розрахунків заносимо до табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Результати визначення загальної пористості зразків

№ зразка	Справжня щільність, $\rho_0, \text{г/см}^3$	Середня щільність, $\rho \text{ г/см}^3$	Загальна пористість, %
Зола уноса			
1	1,50	1,15	26,4
2	1,50	1,18	23,2
3	1,50	1,20	21,7
4	1,50	1,18	23,2
5	1,50	1,05	32,6
6	1,50	1,10	29,0
7	1,50	1,08	30,4
8	1,50	1,06	31,9
9	1,50	0,9	43,5
10	1,50	0,88	44,9
11	1,50	0,80	50,7
12	1,50	0,82	49,0

При визначенні теплопровідності отриманих зразків вогнезахисного матеріалу був використаний метод, описаний в [21, 22].

Попередні розрахунки теплопровідності матеріалу за формулою В. П. Некрасова [29] показали, що очікувана теплопровідність вогнезахисного матеріалу на базі золи-уноса термічної переробки твердих побутових відходів складе:

$$\lambda = 1,16(0,0196 + 0,22 \rho^2 - 0,16) = 1,16*(0,0196 + 0,22*1,50^2 - 0,16) = 0,41 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$$

При випробуваннях була задіяна установка, наведена на рис. 3.3. Для викробувань використовувалися зразки (4, 8, 12). Враховуючи попередні

дослідження механічної міцності на стиск, засвоєння хімічного зв'язуючого для

Результати випробувань та розрахунки представлені в табл. 3.6.

Табл. 3.6 – Результати досліджень матеріалу на теплопровідність

№ зразка	$\Delta T, K$	$q_u, Bm/m^2$	d_u, m	$R_u, m^2K/Bm$	$\lambda_{ef}, Bm/(m K)$
1	20	-	-	-	0,88
	200	4000	0,04	0,050	0,8
2	20	-	-	-	0,77
	200	3774	0,04	0,053	0,75
3	20	-	-	-	0,72
	200	3509	0,04	0,057	0,70
	300	5085	0,04	0,059	0,68
	400	5970	0,04	0,067	0,60
	500	6849	0,04	0,073	0,55
4	20	-	-	-	0,75
	200	3570	0,04	0,056	0,72
5	20	-	-	-	0,78
	200	3774	0,04	0,053	0,75
6	20	-	-	-	0,74
	200	3509	0,04	0,057	0,70
	300	4839	0,04	0,062	0,65
	400	6349	0,04	0,063	0,63
	500	6849	0,04	0,073	0,55
7	20	-	-	-	0,72
	200	3390	0,04	0,059	0,68
8	20	-	-	-	0,74
	200	3509	0,04	0,057	0,70
9	20	-	-	-	0,28
	200	1250	0,04	0,160	0,25
10	20	-	-	-	0,25
	200	870	0,04	0,174	0,23
11	20	-	-	-	0,22
	200	1000	0,04	0,200	0,20
	300	1351	0,04	0,222	0,18
	400	1498	0,04	0,267	0,15

	500	1502	0,04	0,333	0,12
12	20	-	-	-	0,24
	200	1058	0,04	0,189	0,22

Таким чином найліпші результати з теплопровідності можемо спостерігати у зразка (11).

Усі результати досліджень наведені в табл. 3.1, 3.4.

Як показали результати досліджень, найбільш перспективним з точки зору використання розробленого вогнезахисного матеріалу є зразок (11). Таким чином, подальші розрахунки визначення товщини захисного шару матеріалу будуть проведені на підставі властивостей зразка (11).

3.4 Розрахунок межі вогнестійкості колони, облицьованої вогнезахисним матеріалом

3.4.1 Розрахункові методи визначення вогнестійкості стиснутих металевих елементів

Розрахунок будівельних конструкцій на вогнестійкість (окремої конструкції, частини конструктивної системи або конструктивної системи в цілому) враховує такі етапи: – вибір проектних сценаріїв пожежі; – визначення відповідних температурних режимів пожежі; – розрахунок підвищення температури в будівельних конструкціях; – розрахунок механічної роботи будівельних конструкцій в умовах пожежі.

Розрахунок будівельних конструкцій на вогнестійкість включає прикладання впливів для теплового аналізу та впливів для механічного аналізу.

Навантаження і впливи на будівлі та споруди внаслідок пожежі класифікують як випадкові (аварійні).

Для встановлення аварійної проектної ситуації на основі оцінки пожежного ризику визначають відповідні проектні сценарії пожежі та температурні режими, що пов'язані з ними.

Для конструкцій з особливим ризиком виникнення пожежі внаслідок інших аварійних впливів, цей ризик розглядають при визначенні загальної

концепції безпеки.

Температурний режим пожежі стосується тільки одного протипожежного відсіку будинку, якщо інше не вказано у проектному сценарії пожежі.

Конструкції, для яких встановлені вимоги щодо їх нормованої вогнестійкості, можна розглядати за стандартним температурним режимом, якщо в нормативних документах не вказано інше.

Для теплотехнічного розрахунку окремої конструкції враховують розташування проектної пожежі відносно цієї конструкції.

Для зовнішніх конструкцій враховують вогневий вплив крізь прорізи у фасаді та даху.

Для зовнішніх огорожувальних стін враховують вогневий вплив зсередини (з відповідного протипожежного відсіку) і, як альтернативу, ззовні (з іншого протипожежного відсіку), якщо це необхідно.

Залежно від вибору температурного режиму використовують такі підходи:
– для номінального температурного режиму теплотехнічний розрахунок конструкцій виконують для визначеного проміжку часу, не враховуючи фазу загасання. Цей проміжок часу або відповідає нормованій межі вогнестійкості конструкції, наведеній в нормативних документах, або може бути розраховано згідно з додатком А; – для моделі реальної пожежі теплотехнічний розрахунок конструкцій виконується для повної тривалості пожежі, враховуючи фазу загасання.

Повна аналітична методика розрахунку на вогнестійкість конструктивних систем має враховувати поведінку конструктивної системи за підвищених температур, можливий вплив тепла та сприятливі впливи активних систем вогнезахисту, враховуючи невизначеності, що пов'язані з цими трьома особливостями та важливістю конструктивної системи (наслідки руйнування). Можна застосовувати методику для встановлення дійсної роботи конструкцій, що включає, якщо не всі, то деякі параметри та показати, що конструктивна система або її частини відтворюватимуть дійсну роботу при реальній моделі пожежі. Однак, якщо методика базується на номінальному (стандартному)

температурному режимі, то класифікація, що визначає межу вогнестійкості, враховує (приблизно) вищенаведені особливості та невизначеності.

Розрізняють визначені підходи та підходи, засновані на роботі конструкцій. Визначені підходи використовують номінальний температурний режим для генерування теплових впливів. Підхід заснований на роботі конструкцій, використовує інженерно-технічне забезпечення пожежної безпеки, стосується теплових впливів, що залежать від фізичних і хімічних параметрів. Для проектування згідно з цим стандартом необхідно використовувати EN 1991-1-2 для визначення теплових та механічних впливів на конструктивну систему.

3.4.2 Розрахунок межі вогнестійкості колони, облицьованої вогнезахисним матеріалом

З метою визначення товщини шару вогнезахисного матеріалу для забезпечення необхідної межі вогнестійкості металевої колони проведемо необхідні розрахунки за третім граничним станом вогнестійкості: прогріву необігрівальної поверхні захисного матеріалу до критичної температури сталі $T_{cr} = 500 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для цього скористаємось методикою, викладеною в [31].

Огороджуючі конструкції при випробуваннях на вогнестійкість підлягають односторонньому тепловому впливові. Межа вогнестійкості огороджуючих конструкцій, які виконують одночасно і несучі функції, може наступити при температурі необігрівальної поверхні, яка дорівнює, або дуже близька до початкової.

В цьому випадку температурне поле в перетині описується рівнянням теплопровідності напівобмеженого масиву. Для інших огороджуючих конструкцій при розрахунку температурного поля необхідно враховувати теплообмін необігрівальної поверхні з навколишнім середовищем.

Визначаємо межу вогнестійкості вертикальної конструкції за втратою теплоізолюючої здатності (за III граничним станом), а також ступінь вогнестійкості, якому вона відповідає.

Загальна послідовність розв'язання задачі:

- визначення коефіцієнтів теплопровідності і теплоємності;
- визначення критичної температури для необігріваної поверхні;
- визначити коефіцієнти впливу щільності матеріалу, температуропровідності та теплопередачі;
- визначити критерій Біо;
- визначити межу вогнестійкості стіни.

Для рішення даної задачі становлюємо наступні вихідні дані:

$$\lambda_{500} = 0,12 \text{ Вт/(м К)} = 0,103 \text{ ккал/м}^0\text{С}; c = 0,8 \text{ г/см}^3$$

$$C_{500} = 0,295 \text{ ккал/м}^0\text{С}; P = 2 \%,$$

$$t_{\text{нр}} = 500 \text{ }^{\circ}\text{С}, \quad t_n = 20 \text{ }^{\circ}\text{С}$$

$$0,1 - 0,3 \text{ м}$$

Визначаємо коефіцієнт температуропровідності:

$$a_{\text{red}} = 0,22 / [(0,295 + 0,012 * 2) * 800] = 0,00095 \text{ м}^2/\text{год},$$

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі з необігрівальної поверхні:

$$\alpha = 4,8 + 9 * 0,85 = 12,45,$$

Знаходимо критерій Біо:

$$Bi = (12,45 / 0,22) * (0,1 + 0,5 * (0,00095^{0,5})) = 6,5,$$

За таблицями [30] визначаємо:

$$\mu_1 = 2,7410; \quad A_1 = -0,2536,$$

Знаходимо час прогріву захисного шару матеріалу до критичної температури сталі, з якої виготовлена конструкція, тобто до 500 °С:

$$\tau = 2,3 * (0,1 + 0,5 * 0,00092^{0,5})^2 / (2,7410^2 * 0,00092) * \ln(A_1 / [(500 - 20) / (1250 - 500) - 1 / (1 + 6,5)]) = 3, \text{ год.}$$

Таким чином, при нанесенні на металеву колону вогнезахисного матеріалу з товщиною шару $\delta = 0,1 \text{ м}$ температура на необігрівальній поверхні досягне значення 500 °С (що є критичною температурою для сталі) через 3 години.

Таким чином, в результаті проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Матеріал на базі золи-уноса термічної переробки твердих

побутових відходів та діамофосі може бути використаний для вогнезахисту металевих будівельних конструкцій;

2. Орієнтовний склад вогнезахисного матеріалу наведений в табл. 3.7

Складники	Кількість, мас. %
зола-унос	80
діамофос	20
вода	15 > 100

ВИСНОВКИ

1. Розглянуті існуючі методи вогнезахисту металевих конструкцій та матеріалів для їх захисту від дії високих температур при пожежі.

2. Розроблений матеріал вогнезахисту на основі золи термічної переробки твердих побутових відходів.

3. Вивчені властивості вогнезахисного матеріалу та розрахований час прогріву необігрівальної поверхні матеріалу, що стикається з металом колони, до критичної температури сталі.

РОЗДІЛ 4

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ СМІТТЄСПАЛЕННЯ

4.1. Обсяги утворення та класифікація відходів

За офіційними статистичними даними, щорічно в Україні утворюється приблизно 500 млн. т відходів. Практично всі вони (95%) відправляються на звалища, переробляється лише невеличка частка. Наразі обсяг вже накопичених відходів, за різними оцінками, становить від 15 до 36 млрд. т. [33]

За фізичним станом міські відходи поділяються на рідкі, тверді та газоподібні. Рідкі відходи поділяються за містом їх виникнення (утворювання) на побутові (нечистоти, помий, стічні води) та промислові (рідина, суспензії, стічні води з промисловими домішками та інші). Відведення (видалення) та знешкодження рідких побутових відходів здійснюється за системою водовідведення міста. Тверді відходи класифікують за містом їх походження наступним чином:

- побутові відходи житлових будівель – харчові відходи, кімнатний та дворовий змій (сміття, яке змійтають), скло, шкіра, резина, папір, метал, ганчір'я, відходи від ремонту квартир, зола, шлак від опалювальних пристроїв, при місцевому опалюванні, великі предмети домашнього обіходу (старі меблі та інші відходи);

- побутові відходи установ адміністративного та громадського призначення – переважно папір, текстиль, деревина, скло, кімнатний змій (сміття, яке змійтають);

- відходи торговельних підприємств та установ культурно-побутового призначення – переважно папір, тара і матеріал, призначений для пакування;

- відходи установ громадського харчування – переважно харчові відходи, папір, кістки, скло, змій (сміття, яке змійтають);

- відходи ринків очистки від овочів, солома, відходи тваринного походження, гній, матеріали, призначені для пакування, змій (сміття, яке змійтають);

- відходи лікувальних та санітарно-епідеміологічних закладів – переважно перев’язочний матеріал харчові відходи, скло, кімнатний зміт, частково предмети побутового сміття;

- відходи, які утворюються на міських територіях загального використання: зміт з проїжджої частини і тротуарів вулиць і майданів площ, з територій зелених насаджень і спортивних комплексів (продукти руйнування і стирання дорожніх покриттів, пил і земля, речі, викинуті перехожими, опале листя, відходи з урн, осад з водостічних колодязів);

- промислові відходи (відходи промислових підприємств, специфічні відходи, відходи домових, квартальних і районних котелень) – деревина, папір, текстильні відходи, шкіра, резина, гіпс, солі, шлаки, зола, формовочна земля, метал, відходи тваринного походження;

- будівельне сміття — відходи від будівельних конструкцій при новому будівництві та капітальному ремонті будівель та споруд [33].

До газоподібних відходів, забруднюючих повітряний басейн міст і других населених пунктів, відносяться пило- і газоподібні продукти згорання палив і відвідні продукти газів промислових підприємств, пилоподібні продукти стирання покриттів і ґрунтів, газоподібні продукти розкладання і зруйнування твердих і рідких відходів. На норми накопичення і склад твердих побутових відходів (ТПВ) впливають:

- поверховість;
- розвиток громадського харчування, культура торгівлі;
- ступінь добробуту населення; - кліматичні умови (різна тривалість опалювального сезону), споживання овочів і фруктів [33].

Для великих міст норми накопичення вище, ніж для середніх і малих. Уточнення норм накопичення ТПВ, що утворюються в умовах того або іншого міста, визначаються на спеціально обраних контрольних ділянках.

У містах з населенням до 300 тис. мешканців контрольна ділянка охоплює

2% жителів, у містах з населенням до 500 тис. меш. - 1%, у містах з населенням більш 500 тис. меш. – 0,5%. З культурно-побутових об'єктів вибирають не менш двох найбільш характерних. Норми накопичення визначаються за сезонами року. Виміри проводяться протягом 7 днів і оформляються спеціальними актами, які затверджуються міськвиконкомами як еталон норми накопичення ТПВ на наступні 5 років. Середньорічна норма утворення ТПВ на одного мешканця складатиме: – для мешканців будинків місцевих рад, будинків ЖБК, а також підвідомчих будинків – 1,5 м³; – для мешканців приватних будинків – 2,2 м³. Середньорічна норма утворення великогабаритних відходів на одного мешканця: – для мешканців будинків місцевих рад, будинків ЖБК, а також підвідомчих будинків – 0,15 м³; – для мешканців приватних будинків – 0,22 м³. Норми накопичення в житлових будинках залежать від ступеня їхнього благоустрою. При наявності сміттєпроводу норма накопичення збільшується на 20-25 % у зв'язку зі сприятливими умовами для швидкого видалення відходів у будь-який час доби. Норми накопичення ТПВ за об'єктами їх утворення для міста наведені в таблиці 5.1 (0,2 м³).

Таблиця 4.1

Норми накопичення побутових відходів [33]

Побутові відходи	Кількість побутових відходів на людину на рік	
	кг	л
Тверді від житлових будівель, які обладнані водопроводом, каналізацією, центральним опаленням і газом	190 - 225	900 - 1000
Від інших житлових будівель	300 - 450	1100 - 1500
Рідкі з вигребів (при відсутності каналізації)	-	2000 - 3500

Для мешканців будинків місцевих рад, будинків ЖБК, а також підвідомчих будинків – 0,15 м³ для мешканців приватних будинків – 0,22 м³. Великогабаритні відходи - тверді відходи, розміри яких перевищують 50 x 50 x 50 см., що не дає

змоги розмістити їх у контейнерах об'ємом до 1,1 м³. Великогабаритні відходи збирають на спеціальних майданчиках, розташованих поряд з житловими будинками. Вивіз їх проводиться за графіком або заявці ЖЕО.

4.2. Відходи як вторинна сировина

Екологічна небезпечність відходів перетворила їх на небезпечний фактор забруднення навколишнього середовища. Відходами називають залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів, інших виробів чи продуктів, які утворилися в процесі виробництва чи споживання, а також товари (продукція), які втратили свої споживчі властивості. Відходи бувають твердими, рідкими та газоподібними. Також розрізняють відходи: комунальні (побутові), виробничого споживання, промислові, сільськогосподарські та будівельні. У цілому відходи є неоднорідними за хімічним складом, складними багатокomпонентними сумішами речовин, які мають різні фізико-хімічні і фізико-механічні властивості.

Однак сучасний підхід до поводження з відходами передбачає не лише їх утилізацію чи захоронення, а й розгляд як потенційного ресурсу – вторинної сировини. Згідно з законодавством України, відходи як вторинна сировина – це відходи, для утилізації та переробки яких існують відповідні технології, виробничо-технологічні та економічні передумови. Це поняття охоплює матеріали, що після первинного використання можуть повторно застосовуватися у виробництві, наприклад, макулатуру, склобій, пластик, металобрухт, зношені шини чи відходи деревини. Використання відходів як вторинної сировини є ключовим елементом циркулярної економіки, яка спрямована на мінімізацію відходів і максимальне повторне використання ресурсів.

Екологічна небезпека відходів полягає в їхньому накопиченні на полігонах, де вони забруднюють ґрунт, воду та повітря. В Україні щорічно утворюється мільйони тонн побутових і промислових відходів, значна частина яких (понад 90% у деякі періоди) потрапляє на звалища. Це призводить до викидів метану – потужного парникового газу, забруднення ґрунтових вод токсичними речовинами та втрати цінних ресурсів. Перетворення відходів на вторинну сировину дозволяє значно зменшити ці ризики. Наприклад, переробка

однієї тонни макулатури зберігає до 17 дерев, зменшує викиди CO₂ і економить енергію. Аналогічно, переробка пластику чи металу знижує потребу в первинній сировині, яка часто видобувається з руйнуванням природних екосистем.

Екологічні переваги використання відходів як вторинної сировини очевидні. По-перше, зменшується обсяг відходів на полігонах, що запобігає забрудненню довкілля. По-друге, скорочується споживання природних ресурсів: переробка металу вимагає на 95% менше енергії, ніж виробництво з руди, а скла – майже не втрачає якості при повторному використанні. По-третє, знижуються викиди парникових газів і токсичних речовин. У глобальному масштабі рециклінг сприяє боротьбі зі зміною клімату, зберігає біорізноманіття та покращує якість повітря й води. В Україні, де проблема накопичення відходів загострюється через війну (сотні тисяч тонн будівельного сміття від руйнувань), переробка стає не лише екологічним, а й економічним порятунком – наприклад, подрібнений бетон використовують для дорожнього будівництва.

Економічні аспекти також важливі. Вторинна сировина часто дешевша за первинну, що знижує витрати виробництва. В Україні підприємства, які займаються переробкою (наприклад, макулатури чи пластику), створюють робочі місця та зменшують залежність від імпорту. За даними фахівців, ефективна переробка могла б заощадити мільярди гривень на рік. Приклади використання відходів як вторинної сировини різноманітні:

Макулатура: переробляється на новий папір, картон, ізоляційні матеріали чи навіть будівельні плити. В Україні переробка 400 тис. тонн макулатури щорічно могла б замінити стільки ж целюлози.

Пластик (ПЕТ-пляшки, плівка): стає гранулами для нової тари, одягу (фліс), меблів чи труб.

Скло: переплавляється без втрати якості для нової тари чи будівельних сумішей.

Металобрухт: основна сировина для металургії, економить енергію та ресурси.

Будівельні відходи: подрібнений бетон і цегла – для доріг, заповнювачів; дерево – на паливні брикети чи компост.

Органічні відходи: компостування для добрив чи біогазу.

У контексті України Національна стратегія управління відходами до 2030 року передбачає збільшення переробки до 50-70%, впровадження роздільного збору та модернізацію інфраструктури. Нові закони, як "Про управління відходами", стимулюють розширену відповідальність виробників і створюють умови для інвестицій у переробні заводи.

Висновок: Перехід до використання відходів як вторинної сировини – це не лише спосіб зменшити екологічну небезпеку, а й шлях до стійкого розвитку. В Україні, попри виклики (низький відсоток сортування, застаріла інфраструктура), потенціал величезний. Свідоме сортування відходів кожним громадянином, розвиток технологій і державна підтримка дозволять перетворити проблему на ресурс, зберігаючи природу для майбутніх поколінь. Це вимагає спільних зусиль влади, бізнесу та суспільства, але переваги – чистіше довкілля, економія ресурсів і нові можливості – варті того.

4.3. Екологічна небезпека спалювання та система поводження з відходами

До небезпечних відходів відносять відходи, які містять у своєму складі речовини, що мають такі небезпечні властивості, як токсичність, вибухонебезпечність, інфекційність, пожежонебезпечність тощо. Небезпечними є екотоксичні відходи з ефектом біо-акумуляції, здатні до небезпечних перетворень під час збереження. Найбільшу небезпеку для людини та біоти становлять небезпечні відходи, які містять хімічні речовини I і II класу токсичності. Це відходи, до складу яких входять радіоактивні ізотопи, діоксини, пестициди, бенз(а)пірен, фурани, хлоровані біфеніли, миш'як [32].

Утворення відходів: це одна з найбільш гострих суспільних проблем області. З кожним роком накопичення відходів збільшується, виникають несанкціоновані звалища, не вирішується проблема поводження з небезпечними відходами.

В основному це відходи виробництва продуктів харчових та напоїв, відходи видобування корисних копалин, відходи виробництва продукції

лісового господарства та лісозаготівлі та відходи виробництва продукції сільського господарства та мисливства.

Відходи I класу небезпеки склали 0,1 тис.тонн, II класу- 0,3 тис.тонн, III класу-1,0 тис.тонн. Основна частина утворених відходів - це відходи, що містять ртуть, свинець та їх сполуки, відходи, що містять відпрацьовані та непридатні до використання мінеральні масла, у тому числі масляні фільтри, відпрацьовані автомобільні шини, агресивні розчини та відходи пестицидів і агрохімікатів непридатних чи заборонених до використання [32].

Україна входить в число країн з найбільш високими абсолютними обсягами утворення та накопичення відходів. Щорічно їх утворюється 700-720 млн т Загальна маса накопичених на території України відходів у поверхневих сховищах перевищує 25 млрд т, що в розрахунку на 1 кв.км площі становить близько 40 тис. тонн.

Відходи нагромаджуються у вигляді шламосховищ, териконів, відвалів, різних звалищ. Площа земель, зайнята ними, становить близько 160 тис. га. Внаслідок гіпертрофованого розвитку гірничодобувної промисловості в Україні домінують відходи, що утворюються під час розробки родовищ (до 75 % загального обсягу) та збагачення корисних копалин (відповідно 13 і 14 %). Значну частину становлять відходи хіміко-металургійної переробки сировини.

З урахуванням сучасного технологічного рівня переробки відходів в Україні серед загальної кількості відходів, які утворюються щороку, реальну цінність становлять 410-430 млн т. До категорії високотоксичних належать лише 1-2 відсотки всіх промислових відходів, але їх вплив на довкілля дедалі зростає.

В результаті життєдіяльності одного мешканця України за рік утворюється одна тона відходів. Утилізується лише третина загальної кількості відходів, що свідчить про значні ресурсні резерви. Існуючий рівень утилізації відходів вторинних ресурсів не впливає на поліпшення стану довкілля. Це пов'язано з тим, що до переробки залучаються в основному великотонажні гірничопромислові та деякі інші відходи - малотоксичні чи нейтральні (інертні). Тому екологічний ефект переробки відходів є незначним.

Однак до цього часу не збудовано жодного спеціалізованого заводу з

переробки токсичних промислових відходів, немає належним чином організованої системи збирання, зберігання та видалення токсичних відходів, відсутні техніка та обладнання для переробки відходів будівництва і комунального господарства. Неefективні норми адміністративної та кримінальної відповідальності за порушення правил збирання, зберігання, транспортування та використання промислових й інших відходів.

При будь-якій господарській діяльності утворюються відходи – промислові та побутові, які можуть бути потенційною сировиною. Відходи виробництва – це залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів, які утворюються в процесі отримання певного продукту і частково, або повністю втратили свої первісні властивості [32].

Відходи – це об'єкти, які вже були у вжитку і втратили свої споживчі якості. Виходячи з можливості подальшого їх використання, розрізняють відходи які утилізуються й не утилізуються. Для перших може існувати технологія переробки з наступним включенням у виробництво або подальшим застосуванням у господарському обігу, для інших це неможливо. *Утилізація* (лат. утиліс – корисний) - технологічний процес, спрямований на отримання користі з відходів.

Виснаження запасів первинної сировини змусило до переведення технологій багатьох країн на використання тільки вторинної сировини. Одержання паперу переробкою макулатури замість його виготовлення з деревини потребує енергії на 60% менше, знижує забруднення повітря на 15% і води - на 60%. Сталь із металобрухту на 70% дешевше, ніж одержана із руди. При цьому економія на кожній тонні сталі складає 1,5 тонни руди і 0,2 тонни коксу, зменшує масу відходів.

Пластмаси у вигляді відходів природним шляхом розкладаються дуже повільно або взагалі не розкладаються. При їх спалюванні відбувається дуже інтенсивне забруднення атмосфери, наприклад діоксинами, бензпіренами. У світі утилізується лише невелика частина із 80 млн т пластмас, що випускаються щороку в світі. Найбільш ефективними засобами запобігання накопиченню пластмасових відходів є їх повторна переробка (рециклінг) і впровадження

біодеградальних (тобто таких, що самі руйнуються в природі) полімерних матеріалів. Типовий рециклінг пластмас включає такі етапи: збирання відходів і транспортування; сортування та їх ідентифікація; регенерація з наступним використанням отриманого напівфабрикату за призначенням. Регенерація пластмаси включає дроблення, очистку, сепарацію і попередню переробку. Одержана регенована пластмаса може бути використана як дешева сировина для формування нового виробу, виготовлення необхідних рецептур компаундів (сумішей), тобто матеріалів з наповнювачем.

Рециклінг "відпрацьованих" пластмас здійснюється у США, Японії і в 16 промислово розвинених країнах Європи. За оцінкою Управління з охорони навколишнього середовища США і загальна кількість відходів пластмас сягнула понад 25 млн т за рік. Кількість рециклінгованих пластмас у США зросла з 103, 4 тис. т у 1989 р. до 406 тис. т в 1994 р. В Японії ведуться розробки в галузі технології переробки полімерних відходів. Ще в 1988 р. при загальному обсязі полімерного виробництва в країні 11 млн т обсяг продукції з рециклінгованих полімерів сягнув майже 5 млн тон. В країнах Європейського Союзу (ЄС) кількість відновлених пластмас збільшилася з 914 тис т у 1991 р. до 2,4 млн т у 1996 р. Відповідно прибуток від таких полімерів збільшився з 224 до 775 млн фунтів стерлінгів. Найбільша кількість рециклінгової пластмаси за вартістю серед країн ЄС припадає на Германію – 74 млн фунтів стерлінгів, де обсяг пластмасових відходів складає понад 3 млн т, з яких 500 тис. підлягають рециклінгу.

У Великобританії Британська федерація пластмас оприлюднила звіт про діяльність 60 компаній, які виробляють пластмаси та займаються їх рециклінгом. Кількість пластмас, які утворюються в країні, оцінюється майже в 1,5 млн т за рік. Щороку із відходів регенерується і повертається у виробництво 150 тис. т пластмас.

Ще в 1989 р. італійська хімічна компанія "Феррузі" оголосила про створення першого у світі повністю біодеградального пластику і одержала патент на його промислове виробництво в 1990 р. Пластик зроблений із поліетиленової тканини, який містить порожнечі, заповнені кукурудзяним

крохмалем у кількості від 10 до 50%. Мікроорганізми руйнують новий пластик до вуглекислого газу та води за півроку. Подібний тип пластмас, оснований на крохмалі, розроблений в Австрії для виробництва біодеградальних кухлів, емностей для яєць, кухонного посуду.

Велику проблему складає утилізація скляної тари. Скляні банки утилізуються двома шляхами: повторним використанням або переплавленням для виробництва скляної тари. У Швейцарії, Нідерландах, Австрії і Бельгії утилізують понад половину скляної тари, яку використали. У Швейцарії перероблюють 55% скляної тари, виготовляють пляшки та банки з використанням битого віконного скла для 75% всієї виробленої продукції. Германія утилізує майже 1,17 млн т скляного бою. Фінляндія утилізує лише 3% склотари.

Ступінь утилізації алюмінієвих і жерстяних банок сильно варіює в промислово розвинутих країнах: у Великобританії вона складає 3,5%, у країнах Західної Європи 13%, у США 55%. Брухт металів виникає у вигляді відходів промисловості (67%), амортизаційного брухту (31%) і металу, що видобувається із шлакових відходів (2%). Промислові відходи утворюються на 45% металургійних підприємств і на 22% металообробних.

Науково-технічний прогрес в промисловості і зменшення природної сировини можуть змінити існуючу оцінку та роль відходів, і раніше непридатні для подальшого виробництва вони повинні стати економічно вигідною сировиною. Тому треба знати основні методи визначення класу небезпечності відходів та оцінки ефективності переробки промислових відходів. Вже тепер реальною є необхідність отримання синтетичного газу та нафти з органічних відходів, які спалюються і забруднюють повітря.

Спалювання відходів не відповідає принципам циклічної економіки. Але в тих умовах, в яких зараз перебуває наша економіка та суспільство, від спалювання відходів ми поки що не зможемо відмовитися, до спалювання відходів ми повинні підходити виважено, застосовувати цю операцію лише тоді, коли неможливо застосувати шляхи повторного використання відходів.

В багатьох країнах лєвова частка цієї решти іде на спалювання. Інші

віддають перевагу захороненню. Загалом в Європі 499 установок для спалювання відходів, причому їхня кількість зросла за останні роки. Щорічно в Європі спалюється 99 млн. т відходів.

Спалюючи відходи, зменшуємо їхній об'єм, але збільшуємо токсичність, навіть з найкращими технологіями спалення. Спалювання просто замінює потік одних відходів іншими

Щоб сформувавши мислення про рециклінг, потрібна поетапність. Ця інформаційна складова нашою державою повністю випущена. По суті, вона розвивається так, як це бачить окремий журналіст, окреме видання, окремий телеканал. І тільки деякі громадські організації можуть показати іншу сторону медалі. В Україні сфера поводження з відходами вимагає масштабних інформаційних кампаній – і на рівні держави, і з ініціативи підприємств, що працюють в цій сфері.

ВИСНОВКИ

1. Розглянута проблема санітарної очистки міст від відходів життєдіяльності людини.
2. Встановлено, що в Україні на сьогодні немає жодного підприємства, здатного переробляти тверді побутові відходи.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи «Підвищення стійкості промислової будівлі електромеханічного заводу за рахунок підвищення межі вогнестійкості основних будівельних конструкцій» були досягнуті поставлені мета та завдання. Робота базувалася на аналізі нормативно-правової бази, вивченні конструктивних особливостей промислових будівель, поведінки металевих конструкцій під час пожежі, розробці нового вогнезахисного матеріалу на основі відходів та оцінці екологічних аспектів утилізації. Отримані результати дозволяють зробити наступні висновки, які узагальнюють ключові аспекти дослідження.

Розглянуті основні вимоги до об'єктів критичної інфраструктури, що викладені в нормативно-правових документах держави. Зокрема, проаналізовано Закон України «Про критичну інфраструктуру» від 16 листопада 2021 р. № 1882-IX, який визначає правові та організаційні засади захисту таких об'єктів, їх ідентифікацію, категоризацію та паспортизацію. Об'єкти критичної інфраструктури включають підприємства енергетики, транспорту, хімічної промисловості, банківської системи, телекомунікацій, охорони здоров'я, продовольчого забезпечення та комунального господарства. Виведення з ладу цих об'єктів може призвести до каскадних ефектів, значних матеріальних збитків і людських жертв. У контексті війни в Україні (з 2022 р.) проблема захисту загострилася через атаки на енергетичну систему, порти та дамби. Постанови КМУ № 1109 від 9 жовтня 2020 р. (із змінами) та інші документи встановлюють чотири категорії критичності об'єктів, критерії їх оцінки (кількість постраждалих, економічні та екологічні наслідки) та механізми ідентифікації. Це дозволило класифікувати електромеханічний завод як потенційний об'єкт критичної інфраструктури в секторі промисловості, підкресливши необхідність посилення його стійкості.

На підставі вимог нормативно-правових документів визначено забезпечення захисту та стійкості об'єктів критичної інфраструктури. Відповідно до ст. 5 Закону № 1882-IX, державна політика спрямована на запобігання

несанкціонованому втручанню, прогнозування кризових ситуацій та створення національної системи захисту. Завдання включають розробку нормативної бази, цільових програм, управління ризиками, підготовку персоналу та міжнародне співробітництво (з ЄС та НАТО). Державна політика ґрунтується на принципах визнання безпеки, державно-приватного партнерства, раннього виявлення загроз та швидкого відновлення. Національна система має чотири рівні управління: загальнодержавний (КМУ, уповноважений орган), регіональний/галузевий (центральні та місцеві органи), місцевий (органи самоврядування) та об'єктовий (оператори). У 2025 р. прийнято нові постанови (наприклад, № 367 від 1 квітня щодо управління ризиками та № 881 від 15 липня щодо радіоелектронного прикриття), що посилюють захист в умовах агресії. Це підкреслює превентивний характер заходів, але також необхідність ліквідації наслідків, включаючи пожежі, для забезпечення стійкості.

Розглянуті основні об'ємно-планувальні рішення будівельних конструкцій та виявлені їх конструктивні особливості. Виробничі будівлі поділяються на дві групи: залежні від технологічного процесу (наприклад, мартенівські цехи) та універсальні (для верстатобудування, легкої промисловості). Проектування базується на принципах оптимальних умов для технології та індустріальних методів будівництва, з урахуванням ДБН. Уніфіковані габаритні схеми (УГС) включають прольоти (L), крок колон (Ш) та висоту поверху (Н). Одноповерхові будівлі (75-80% підприємств) можуть бути павільйонними (роздільна забудова), прогонними ($L > Ш$, прольоти 18-30 м) або чарунковими (квадратна сітка колон, гнучкі для змін технології). Багатоповерхові (до 10 поверхів) відрізняються вертикальними зв'язками (сходи, ліфти). Конструктивні особливості: каркаси з залізобетону або сталі, уніфіковані типові прольоти (УТП) та секції (УТС) для температурних блоків (60-144 м). Це забезпечує гнучкість, але вимагає врахування навантажень (вітрових, кранових) для стійкості.

Встановлено, що для забезпечення просторової стійкості каркасів промислових будівель застосовуються різні види зв'язків. Зв'язки необхідні для жорсткості каркаса, незмінюваності системи, сприйняття навантажень та зручного монтажу. Класифікація: за місцем (між колон, шатра), геометрією

(лінійні, площинні), орієнтацією (вертикальні, горизонтальні) та матеріалом (залізобетонні, сталеві). Зв'язки між колон: хрестові, порталні, розкісні; основні (від фундаментів до підкранових балок) та верхні (для монтажу оголовків). Зв'язки покриття: горизонтальні (поперечні, подовжні) та вертикальні для стійкості ферм. Розташування: в середині температурних відсіків для свободи переміщень. У будівлях з кранами обов'язкові зв'язки по нижніх поясах для горизонтальної жорсткості. Це забезпечує стійкість до вітрових і кранових впливів, спільну роботу рам та блокування приміщень.

Розглянута поведінка металевих конструкцій при дії високих температур, що виникають при пожежі. Встановлено, що зниження міцності конструкцій в цілому залежить не тільки від виду металу (вуглецева сталь втрачає 50% міцності при 500-600°C), а й від особливостей конструктивного виконання (переріз, вузли, навантаження). При пожежі відбуваються термодформації, прогин, втрата стійкості та каскадні руйнування. Критична температура для сталі – 500°C, коли модуль пружності падає вдвічі. Фактори: теплопровідність, теплоємність, деформації. Це підкреслює необхідність вогнезахисту для підвищення межі вогнестійкості з 0,25 год (без захисту) до 1-3 год.

Розглянуті існуючі вогнезахисні матеріали, за допомогою яких можливо збільшити межу вогнестійкості металевих конструкцій з 0,25 год до 1,00 год. Матеріали: спучуючі фарби (утворюють ізоляційний шар), обмазки (перліт, вермікуліт, гіпс), мінераловатні плити, комбіновані системи. Перлітові та вермікулітові плити (товщиною 5 см) забезпечують до 2 год вогнестійкості. Кріплення: арматурні випуски, націлінники з профілів. Приклади: перлітофосфогелеві плити з армуванням, перлітні з алюмінієвими листами, мінераловатні з профільованим листом. Це дозволяє досягти REI 60-120, зменшуючи навантаження на конструкції.

Розглянуті існуючі методи вогнезахисту металевих конструкцій та матеріалів для їх захисту від дії високих температур при пожежі. Методи: облицювання плитами (перліт, вермікуліт, мінераловата), обмазки, спреї, комбінації. Кріплення: приварювання арматури, самонарізні гвинти. Шви закладаються аналогічним складом. Переваги: негорючість, низька

теплопровідність, екологічність. Недоліки: товщина, вартість монтажу. Застосування в промислових об'єктах для колон, балок, ферм.

Розроблений матеріал вогнезахисту на основі золи термічної переробки твердих побутових відходів. Склад: зола (основний компонент), ортофосфорна кислота, амофос, діамофос (до 20%). Виготовлення: змішування, формування кубиків 30×30×30 мм, витримка 28 діб. Досліджено склади (0-12), оптимальний – зразок 11 (міцність на стиск 5,2 МПа, щільність 0,8 г/см³, пористість 46,7%, теплопровідність 0,41 Вт/(м·К)).

Вивчені властивості вогнезахисного матеріалу та розрахований час прогріву необігрівальної поверхні матеріалу, що стикається з металом колони, до критичної температури сталі. Міцність на стиск: до 5,2 МПа; щільність: 0,8 г/см³; пористість: 46,7%; теплопровідність: 0,41 Вт/(м·К). Розрахунок за методикою [31]: для шару 0,1 м час прогріву до 500°C – 3 год. Матеріал перспективний для вогнезахисту, підвищує межу вогнестійкості до 3 год.

Розглянута проблема санітарної очистки міст від відходів життєдіяльності людини. Щорічно в Україні утворюється 500 млн т відходів, 95% на звалища. Класифікація: тверді, рідкі, газоподібні; побутові, промислові. Норми накопичення: 1,5-2,2 м³/мешканця/рік. Проблеми: відсутність переробки, небезпечні відходи (ртутні, свинцеві). Спалювання зменшує об'єм, але збільшує токсичність.

Встановлено, що в Україні на сьогодні немає жодного підприємства, здатного переробляти тверді побутові відходи. Накопичено 15-36 млрд т відходів на 160 тис. га. Утилізується лише третина, бракує заводів для токсичних відходів. Необхідні інвестиції в рециклінг, циркулярну економіку, роздільний збір за стратегією до 2030 р.

Таким чином, розглянуто наступні питання:

1. Основні вимоги до об'єктів критичної інфраструктури, що розглянуті в нормативно-правових документах держави.
2. На підставі вимог нормативно-правових документів визначено забезпечення захисту та стійкості об'єктів критичної інфраструктури.
3. Основні об'ємно-планувальні рішення будівельних конструкцій та

виявлені їх конструктивні особливості.

4. Встановлено, що для забезпечення просторової стійкості каркасів промислових будівель застосовуються різні види зв'язків.

5. Поведінка металевих конструкцій при дії високих температур, що виникають при пожежі. Встановлено, що зниження міцності конструкцій в цілому залежить не тільки від виду металу, з якого вона виготовлена, а й з особливостей конструктивного виконання будівельних конструкцій.

6. Існуючі вогнезахисні матеріали, за допомогою яких можливо збільшити межу вогнестійкості металевих конструкцій з 0,25 год до 1,00 год.

7. Існуючі методи вогнезахисту металевих конструкцій та матеріалів для їх захисту від дії високих температур при пожежі.

8. Розроблений матеріал вогнезахисту на основі золи термічної переробки твердих побутових відходів.

9. Вивчені властивості вогнезахисного матеріалу та розрахований час прогріву необігрівальної поверхні матеріалу, що стикається з металом колони, до критичної температури сталі. Розглянута проблема санітарної очистки міст від відходів життєдіяльності людини.

10. Встановлено, що в Україні на сьогодні немає жодного підприємства, здатного переробляти тверді побутові відходи.

Проведена робота демонструє, що підвищення вогнестійкості металевих конструкцій за допомогою розробленого матеріалу на базі золи сприяє стійкості об'єктів критичної інфраструктури, зменшує екологічні ризики та сприяє утилізації відходів. Рекомендується впровадження в промисловому будівництві для посилення безпеки в умовах надзвичайних ситуацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про критичну інфраструктуру. Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text>. Дата звернення 10.09.2025 р.
2. Про невідкладні заходи з нейтралізації загроз енергетичній безпеці України та посилення захисту критичної інфраструктури. Указ Президента України 16 лютого 2017 року № 37/2017. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/37/2017#Text>. Дата звернення 12.10.2025 р.
3. Про основні засади забезпечення кібербезпеки України. Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19#Text>. Дата звернення 12.10.2025.
4. Про удосконалення заходів забезпечення захисту об'єктів критичної інфраструктури. Указ Президента України від 16 січня 2017 року № 8/2017. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0014525-16#Text>. Дата звернення 12.10.2025 р.
5. Деякі питання об'єктів критичної інфраструктури . Постанова КМ України № 1109 від 09.10.202 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1109-2020-%D0%BF#Text>. Дата звернення 12.10.2025 р.
6. ДСТУ Б В.2.2-29:2011 Будівлі підприємств. Параметри (ГОСТ 23838- 89, MOD).
7. Третьяков О. В., Доронін Є. В., Халмурадов Б. Д., Зозуля С. В. Основи пожежної безпеки: Підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2024. 356 с.
8. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. 141 с.
9. ДБН В.2.5-28:2018 Природне та штучне освітлення. Київ : Манрегіон України, 2018. 137 с.
10. ДБН В.1.2-6:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Механічний опір та стійкість. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 36 с.
11. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація. Частина 1. Проектування. Частина 2. Будівництво. Київ : Мінрегіонбуд України, 2019. 101 с.
12. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та

конструктивної безпеки будівель і споруд. Київ : Мінрегіонбуд України, 2022. 41 с.

13. Васильченко О. В., Квітковський Ю. В., Миргород О. В., Стельмах О. А. Будівельні конструкції та їх поведінка в умовах надзвичайних ситуацій: Навчальний посібник. Харків : НУЦЗУ, 2015. 522 с.

14. ДБН В. 1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ : Мінрегіонбуд України, 2017. 47 с.

15. Пушкаренко А. С., Васильченко О. В., Луценко Ю. В., Миргород О. В. Вогнезахисне оброблення будівельних матеріалів і конструкцій : Навчальний посібник. Харків : НУЦЗУ, КП "Міська друкарня", 2011. 176 с/

16. Васильченко О. В. Стійкість будівель та споруд в умовах надзвичайних ситуацій : Конспект лекцій. Харків : НУЦЗУ, 2023. 454 с.

17. Кондращенко О. В. Будівельне матеріалознавство. Лабораторний практикум : Навчальний посібник. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. 100 с.

18. ДСТУ Б А.1.1-48-94. Матеріали будівельні. Методи визначення теплофізичних властивостей. Терміни та визначення (61976). Київ : Держкоммістобудування України, 1994. 33 с.

19. ДСТУ БВ.2.7-42-97. Будівельні матеріали Методи визначення водопоглинання, густини і морозостійкості будівельних матеріалів і виробів. Київ : Держкоммістобудування України, 1997. 38 с.

20. ДСТУ Б В.2.7-187:2009. Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск (59564). Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 22 с.

21. ДСТУ Б В.2.7-105-2000 Будівельні матеріали. Матеріали і вироби будівельні. Метод визначення теплопровідності і термічного опору при стаціонарному тепловому режимі.

22. ДСТУ Б В.2.7-105-2000. Матеріали будівельні. Метод визначення теплопровідності і термічного опору при стаціонарному тепловому режимі. Київ : Держкомітет будівництва, архітектури та житлової, 2001. 25 с.

23. ДСТУ ISO 5017:2014 Вироби вогнетривкі щільні формовані. Метод визначення уявної щільності, відкритої пористості та загальної пористості (ISO 5017:1998, IDT).

24. ДСТУ ISO 5016:2013. Вироби вогнетривки теплоізоляційні. Метод визначення уявної щільності та загальної пористості (ISO 5016:1997, IDT).

25. ДСТУ Б В.2.7-231:2010. Будівельні матеріали. Методи випробувань природного каменю. Визначення дійсної густини, об'ємної щільності, загальної та відкритої пористості (59642).

26. Ортофосфорна кислота. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%80%D1%82%D0%BE%D1%84%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%B0%D1%82%D0%BD%D0%B0_%D0%BA%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B0. Дата звернення 15.10.2025 р.

27. Амофос. Вікіпедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D0%BE%D1%84%D0%BE%D1%81>. Дата звернення 15.10.2025 р.

28. Складні комплексні добрива. URL: <https://superagronom.com/slovník-agronoma/skladni-kompleksni-dobryva-id22782>. Дата звернення 15.10.2025 р.

29. Шаповал С. В., Баранова А. А. Сучасні будівельні матеріали і технології : Конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 97 с.

30. Розрахунок сталевих конструкцій на вогнестійкість відповідно до Єврокоду 3 : Практичний посіник до ДСТУ -Н EN 1993-1-2^2010. Київ : Український центр сталевих будівництва, 2016. 81 с.

31. Ю. В. Квітковський, М. М. Удянський, О. В. Миргород, Ю. В. Луценко, А. І. Морозов. Будівельні конструкції та їх поведінка в умовах надзвичайних ситуацій : Практикум для студентів, курсантів та слухачів заочної форми навчання . Харків : НУЦЗУ, 2011. 221 с.

32. Про управління відходами. Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>. (Дата звернення 20.10.2025 р.)

33. Відходи виробництва та їх утилізація. URL: https://pidru4niki.com/15800119/ekologiya/vidhodi_virobnitstva_utilizatsiya. Дата звернення 18.10.2025.

34. Санітарне очищення міст. URL: https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/1114255/mod_resource/content/2/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%B0%2013.pdf. Дата звернення 19.10.2025 р.