

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

магістр
(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження вогнестійкості сталевих конструкцій та факторів, що впливають на її зміну

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1923-мопа-дн
спеціальності 192 Будівництво та цивільна
інженерія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Містобудування та
об'ємно-просторова архітектура

(назва освітньої програми)

Сегрушні Іссам

(ініціали та прізвище)

Керівник проф., д.т.н, Банах В. А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент доц., к.т.н, Фостащенко О.М.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра міського будівництва і архітектури

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія

(код та назва)

Освітня програма Містобудування та об'ємно-просторова архітектура

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

« 11 » 10 20 24 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Сегрушні Іссаму

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проєкту) Дослідження вогнестійкості сталевих конструкцій та факторів, що впливають на її зміну

керівник роботи проф., д.т.н. Банах В. А.

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

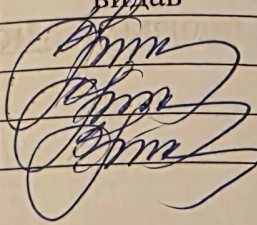
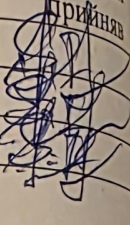
затверджені наказом ЗНУ від « 30 » 09 2024 року № 1486-с

1 Строк подання студентом роботи 01.02.2025

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

3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Літературний огляд. Провести аналіз проблеми вогнестійкості металевих конструкцій у теорії та практиці та аналіз дії антипіренів для вогнезахисту деревини. Дослідити зниження деформації характеристик сталевих зразків, що стикаються з деревиною, від впливу температури.

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

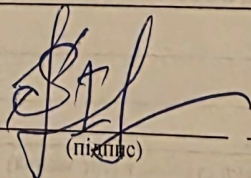
5 Консультанти розділів роботи		Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта		
1	Банах В. А.		
2	Банах В. А.		
3	Банах В. А.		

6 Дата видачі завдання 01.09.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд	01.10	викон.
2	Розділ 1	01.11	викон.
3	Розділ 2	15.11	викон.
4	Розділ 3	01.12	викон.
5	Розробка графічної частини	15.12	викон.
6	Оформлення роботи	15.01	викон.
7	Попередній захист	01.02	викон.

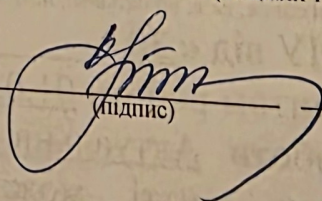
Студент


(підпис)

Сегрушні Іссам

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)

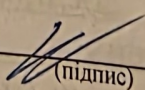

(підпис)

Банах В. А.

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер


(підпис)

Гребенюк І.В.

(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Сегрушні Іссам. Дослідження вогнестійкості сталевих конструкцій та факторів, що впливають на її зміну.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник В.А. Банах. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні ЗНУ, кафедра міського будівництва і архітектури, 2025.

У процесі проведення випробувань виявлено способи вогнезахисту металевих конструкцій, що знаходяться у безпосередньому контакті з горючою речовиною (деревиною).

У результаті дослідження доведено, що найбільшу міцність на вигин мають сталеві зразки при створенні на сталевій поверхні функціонального покриття для зварювання та просоченні деревини модифікованим антипіреном.

Ключові слова: МЕТАЛЕВІ (СТАЛЕВІ) КОНСТРУКЦІЇ, ВОГНЕЗАХИСТ, ВОГНЕЗАХИСНИЙ СКЛАД, ВОГНЕЗАХИСНЕ ПОКРИТТЯ, ВОГНЕЗАХИСНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ПРИВЕДЕНА ТОВЩИНА МЕТАЛУ, ПРОМІСКА МЕТАЛУ, ПРОГЛЯД.

ABSTRACT

Segrushni Issam. Research of Fire Resistance of Steel Structures and Factors Influencing Its Change.

Qualifying graduation thesis for obtaining a master's degree of higher education in specialty 192 - Construction and civil engineering, supervisor V.A. Banach. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebni ZNU, Department of Urban Construction and Architecture, 2025.

In the process of conducting tests, methods of fire protection of metal structures that are in direct contact with a combustible substance (wood) were discovered.

As a result of the study, it was proven that the greatest bending strength is possessed by steel samples when a functional coating for welding is created on the steel surface and wood is impregnated with a modified flame retardant.

Keywords: METAL (STEEL) STRUCTURES, FIRE PROTECTION, FIRE PROTECTION COMPOSITION, FIRE PROTECTION COATING, FIRE PROTECTION EFFICIENCY, REDUCED METAL THICKNESS, METAL INTERMEDIATENESS, OVERVIEW.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	8
Розділ 1	СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ У ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИЦІ.....	10
1.1	Металеві конструкції у будівельній галузі.....	10
1.2	Статистичний аналіз постраждалих та загиблих внаслідок пожеж в Україні.....	11
1.3	Вогнезахист у сталевому будівництві України.....	15
1.4	Історія розвитку вогнезахисної галузі в Україні.....	17
1.5	Комітет з вогнезахисту УЦСБ.....	18
1.6	Сучасні тенденції розвитку пасивного вогнезахисту.....	23
1.7	Межа вогнестійкості сталевих конструкцій як показник пожежної небезпеки.....	27
1.8	Вогнезахист металевих конструкцій.....	28
1.9	Висновки з першого розділу	29
Розділ 2	МЕТОДОЛОГІЯ ВОГНЕЗАХИСТУ СТАЛЕВИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	31
2.1	Методи та засоби вогнезахисту сталевих будівельних конструкцій.....	31
2.2	Характеристика наповнювачів вогнезахисних покриттів.....	32
2.3	Захист деревини як пального матеріалу в умовах зіткнення з металом.....	37
2.4	Висновки з другого розділу.....	39
Розділ 3	ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯК ПОКАЗНИКІВ ВОГНЕСТІЙКОСТІ СТАЛІ, ЩО СТИКАЄТЬСЯ З ГОРЮЧИМИ ДЕРЕВНИМИ МАТЕРІАЛАМИ В БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ.....	41
3.1	Деформативні характеристики сталі.....	41
3.2	Визначення показників вогнестійкості сталі.....	43
3.3	Економічні показники.....	57

3.4	Техніка безпеки під час виконання робіт з визначення вогнестійкості.....	59
3.5	Розрахунок ступеня комфорту працюючих у лабораторії.....	62
3.6	Висновки з третього розділу.....	66
	ОСНОВНІ ВИСНОВКИ.....	67
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68

ВСТУП

Актуальність дослідження. В Україні щорічно в середньому відбувається понад 50 тисяч пожеж, матеріальні збитки при цьому становлять 8 млрд. гривень, гине понад 10 тисячі осіб, велика кількість людей зазнають травм. Матеріальні та людські втрати відбуваються через обвалення будівельних конструкцій, виділення тепла та газів при горінні будівельних матеріалів. При цьому одним із найпоширеніших матеріалів для виготовлення будівельних конструкцій є метал.

Основними перевагами металевих конструкцій є: висока здатність, що несе; висока надійність; легкість та транспортабельність та ін. Однак вогнестійкість металевих несучих конструкцій незначна. Так при температурах понад 400°C сталеві конструкції піддаються пластичній деформації. А при більш високих температурах, що виникають під час пожежі, здатність сталевих конструкцій, що несе, може значно знижуватися, що може призвести до її руйнування.

Так, наприклад, температура займання деревини 400 °C, а температура її горіння 800 - 1000 °C. Сталеві конструкції, що безпосередньо стикаються з деревиною, піддаються високотемпературному впливу. Тому однією з головних завдань при експлуатації будівель є забезпечення нормативних властивостей міцності несучих сталевих елементів не тільки в звичайних умовах, але і при взаємодії з горючими матеріалами, що сприяють підвищенню температури під час пожежі.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є забезпечення вогнестійкості сталевих конструкцій в умовах їх взаємодії з горючим матеріалом.

Для вирішення мети поставлено такі завдання:

1. Проаналізувати проблеми вогнестійкості металевих конструкцій у теорії та практиці;
2. Визначити засоби та способи вогнезахисту;

3. Провести аналіз дії антипіренів для вогнезахисту деревини;
4. Виконати експериментальні дослідження щодо зниження деформації характеристик сталевих зразків, що стикаються з деревиною, від впливу температури.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є система сталь-деревина у відкритому полум'ї.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є вогнестійкість сталі в системі сталь-деревина.

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

Наукова новизна одержаних результатів. Проаналізовано проблеми забезпечення вогнестійкості металевих конструкцій у теорії та практиці. Дано аналіз методів та засобів вогнезахисту сталевих будівельних конструкцій.

Практичне значення одержаних результатів. Виконано експериментальні дослідження щодо визначення деформативних характеристик сталевих зразків, як показника вогнестійкості сталі, що стикається з палим деревним матеріалом.

Особистий вклад дослідника. Постановка мети і завдання дослідження. Збір і аналіз даних для проведення дослідження.

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, основних висновків, списку використаних джерел, містить 75 сторінок, 17 рисунків, 9 таблиць, 71 список використаних джерел.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ У ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИЦІ

1.1 Металеві конструкції у будівельній галузі

Будівельна галузь є однією з матеріаломістких галузей, в якій широко використовуються металеві споруди та конструкції. Це вимагає створення раціональних конструктивних форм з використанням попередньої напруги, впровадження висячих, просторових та комбінованих конструкцій.

При цьому необхідно відзначити, що металеві конструкції складають основу виробничих будівель, які обладнуються важкими мостовими кранами з великими прольотами і складні інженерні споруди. В даний час на несучі елементи каркасу промислових будівель (колони, ферми, підкранові балки) витрачається понад 50% будівельних металоконструкцій. На листові конструкції близько 20% тоннажу будівельних конструкцій.

Особливу групу металоконструкцій складають спеціальні конструкції цивільного та промислового призначення, до яких можна віднести залізничні та автодорожні мости, шляхопроводи та естакади, несучі каркаси висотних будівель, великопрогонові покриття будівель громадського призначення (спортивні та видовищні споруди, виставкові авіаскладальні цехи, елінги), баштові та щоглові споруди (щогли для радіозв'язку та телебачення, опори ліній електропередач високої напруги, бурові та нафтові вишки, башти для маяків та освітлення тощо), рухомі конструкції (несучі конструкції великих підйомно-транспортних машин) та екскаваторів, затвори гідротехнічних споруд, ворота шлюзів тощо).

Основними перевагами металевих конструкцій є: висока здатність, що несе; висока надійність; легкість порівняно з конструкціями із залізобетону, каменю та дерева; суцільність матеріалу та сполук, що дозволяє здійснювати водонепроникні та газонепроникні конструкції; індустріальність, що

досягається виготовленням конструкцій на спеціалізованих заводах та високоомеханізованим їх монтажем на місці зведення споруди.

Крім того, металеві конструкції зручні в експлуатації, легко ремонтуються і легко можуть бути посилені при збільшенні навантажень і тому найповніше використовуються при реконструкціях.

Однак у спостереженнях і дослідженнях багатьох авторів зазначається, що вогнестійкість металевих конструкцій незначна. Так при температурах більше 400 ° С для сталей і більше 200 ° С для алюмінієвих сплавів починає проявлятися суттєвий розвиток пластичних деформацій при постійному навантаженні (повзучість).

Межа вогнестійкості несучих металевих конструкцій залежить від наведеної товщі металу, що визначається як відношення площі поперечного перерізу в елементах (см²) до частини периметра перерізу (в см), що обігрівається. Наприклад, сталеві балки, прогони та статично визначні форми при опорі плит та настилів по верхньому поясу, а також колони та стійки з наведеною товщиною металу 0,3; 0,5; 1; 1,5; 2; 3 мають такі межі вогнестійкості відповідно 0,12; 0,15; 0,25; 0,3; 0,35; 0,45 години.

1.2 Статистичний аналіз постраждалих та загиблих внаслідок пожеж в Україні

В Україні щорічно в середньому відбувається понад 50 тисяч пожеж, матеріальні збитки при цьому становлять 8 млрд. гривень, гине понад 10 тисячі осіб, велика кількість людей зазнають травм. [3].

Втрати людей та споруд відбуваються через обвалення будівельних конструкцій, виділення тепла та газів при горінні будівельних матеріалів. Міністерство з надзвичайних ситуацій в Україні веде статистичний облік пожеж та їх причин. У таблиці 1.1 представлено кількість постраждалих та загиблих за 2017-2021р.р.

Таблиця 1.1 - Кількість травмованих та загиблих внаслідок пожеж в Україні у період з 2017 по 2021 роки

Рік	Кількість загиблих внаслідок пожежі, чол	Кількість травмованих внаслідок пожежі, осіб
2017	12000	12436
2018	11600	12111
2019	10501	11032
2020	10238	10597
2021	9537	10620

На графіку, рис. 1.1 показано, що найбільша кількість травмованих та загиблих внаслідок пожеж в Україні припадає на 2017 рік.

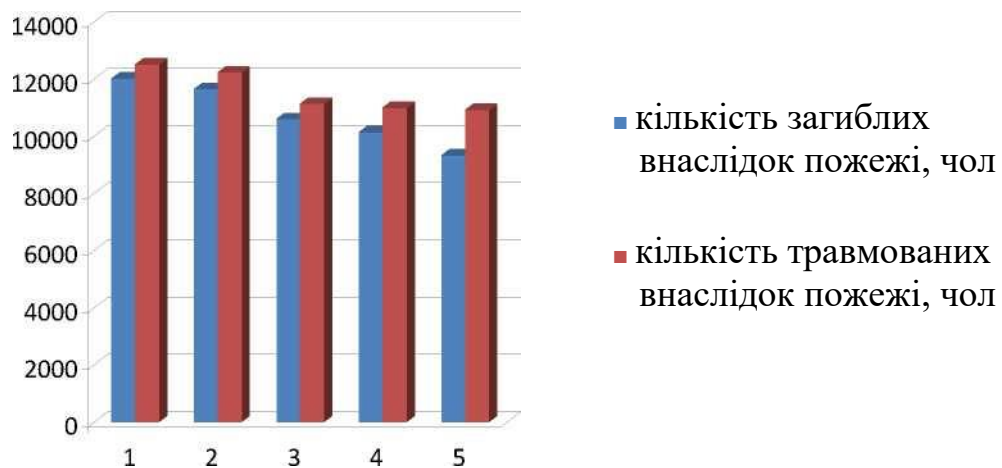


Рисунок 1.1 - Кількість травмованих та загиблих внаслідок пожеж в Україні в період з 2017 по 2021 рік

Аналіз результатів таблиці 1.2 викликає, що найбільша кількість знищених будівель та техніки внаслідок пожеж припадає на 2017 та 2020 роки.

Таблиця 1.2 - Кількість знищених будівель та техніки в наслідок пожеж в Україні в період з 2017 по 2021 роки

Рік	Кількість знищених будов, тис. од.	Кількість знищеної техніки, тис. од.
2017	43,21	8,2
2018	40,8	8,3
2019	36	8,1
2020	41,3	8,2
2021	41,4	0

З рисунка 1.2 видно, що найбільша кількість пожеж припадає на будівельні конструкції, загалом у період з 2017р. по 2021 р. знищено 203,14 тис. будов.

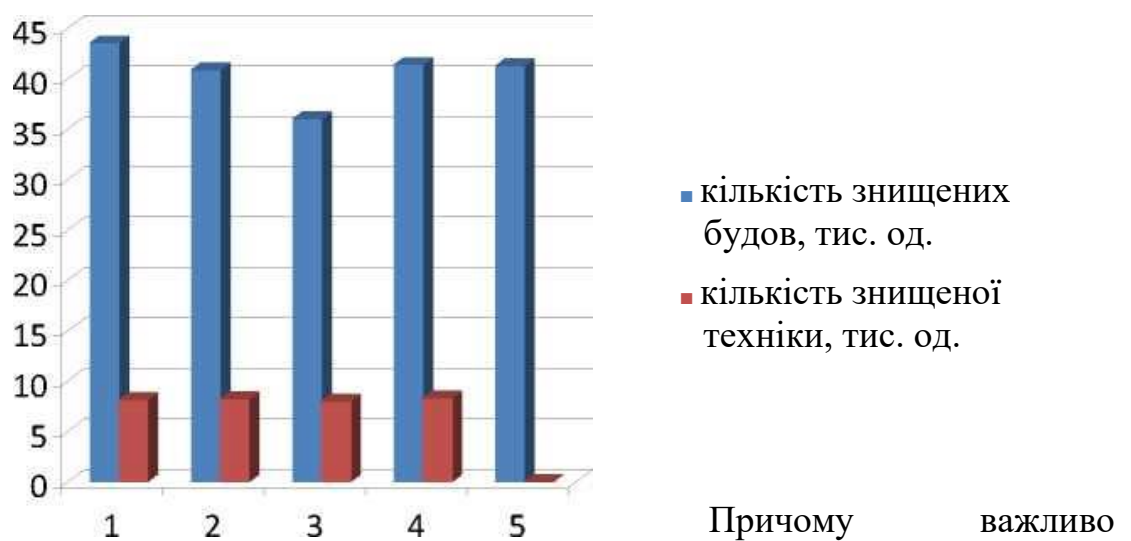


Рисунок 1.2 - Кількість знищених будівель та техніки внаслідок пожеж в Україні в період з 2017 до 2021 року

зазначити, що матеріальні збитки заподіяні пожежами в Україні за період з 2017 по 2021 роки у міських поселеннях та сільській місцевості значно різняться, і про це свідчить аналіз даних представлених на діаграмах (рис.1.2 та 1.3). Що на наш погляд може бути пов'язане з високою концентрацією в містах промислових будівель та споруд, а також наявністю сучасних об'єктів інфраструктури, які побудовані з використанням сталевих будівельних конструкцій.

Таблиця 1.3 - Матеріальні збитки заподіяні пожежами у містах та сільській місцевості в Україні за період з 2017 по 2021 роки

Рік	Прямий матеріальний збиток, тис. грн	Матеріальні збитки у містах, тис. грн	Матеріальні збитки у сільській місцевості, тис. грн
2017	18199321	12839834	5360045
2018	15693245	10864567	4829156
2019	14885567	9091921	5793780
2020	18246876	12466956	5780940
2021	18814256	11496856	7317043

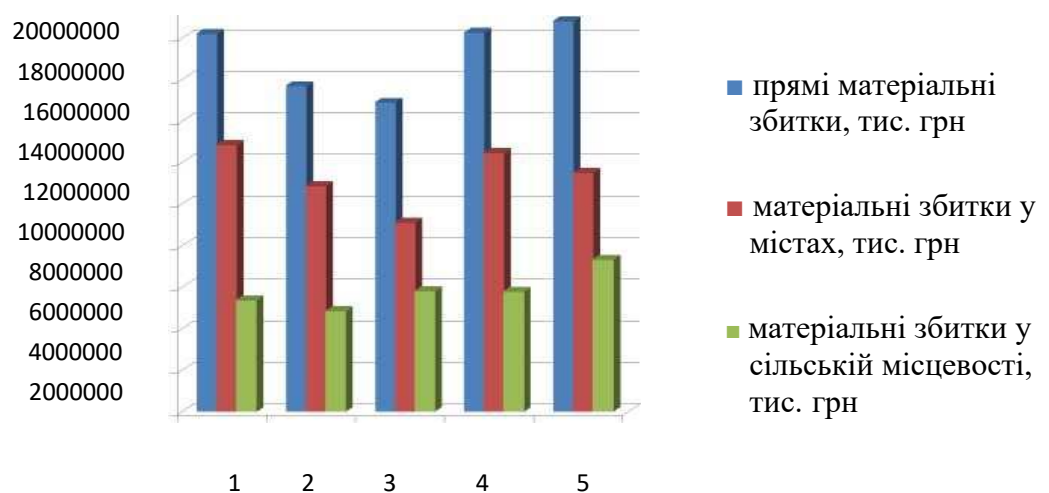


Рисунок 1.3 - Матеріальні збитки заподіяні пожежами у містах та сільській місцевості в Україні за період з 2017 по 2021 роки

1.3 Вогнезахист у сталевому будівництві України

У сучасному будівельному секторі, де важливі швидкість, економічна ефективність та мінімальний вплив на навколишнє середовище, сталеве будівництво відповідає вимогам ринку щодо якості, продуктивності та економії часу.

У розвинених країнах сталь є незаперечним лідером серед конструкційних матеріалів для цивільного та промислового будівництва, часто використовується разом із бетоном у будівельних конструкціях. Приклади довговічності сталевих споруд, що використовуються більше 100 років, включають Ейфелеву вежу в Парижі (збудована в 1889 році) та Бессарабський ринок у Києві (збудований у 1912 році).



Рисунок 1.4 - Металеві конструкції

Переваги сталі як будівельного матеріалу – співвідношення ціни та якості, міцність і пластичність, збірне виготовлення, адаптивність конфігурацій, швидкість, довговічність та можливість багаторазового використання – детально описані у спеціалізованій літературі [25, 31] і не викликають сумнівів. Сучасні вимоги та тенденції будівельного бізнесу висувають на передній план також переваги «сухого» будівництва та свободу дизайну, що дозволяє створювати простори з великими прольотами і найвишуканішими архітектурними формами.

Згідно з доповіддю Організації економічного співробітництва та розвитку, витрати сталі у будівельному секторі перевищують 50% від загального світового споживання сталі [24], а в деяких країнах до 70% комерційного будівництва здійснюється із використанням сталевих конструкцій. В Україні цей показник становить не більше 15%, що пов'язано насамперед з обсягом українського будівельного ринку – лише 2,2% у структурі ВВП. Крім того, низькі темпи впровадження сталевих будівництва в Україні обумовлені необхідністю проведення заходів з вогнезахисту [13], що значно підвищує вартість як сталевих конструкцій, так і будівництва загалом. Метал потребує вогнезахисної обробки, оскільки при пожежі він швидко втрачає міцність, що призводить до втрати несучої здатності конструкцій і можливого руйнування будівлі. Тому забезпечення відповідного класу вогнестійкості, регламентованого чинним законодавством, є обов'язковою умовою використання сталевих конструкцій у будівництві.

Відомо, що витрати на вогнезахист металоконструкцій в Україні можуть становити 40-45% від їхньої вартості. Водночас, у країнах Європейського Союзу за останні 30 років частку витрат на протипожежний захист знижено до 10-15% від вартості сталевих каркасів у комерційних багатоповерхових будинках [8]. Це стало можливим завдяки планомірним дослідженням фахівців з інженерної пожежної безпеки та науковцям, які розробляють інноваційні та ефективні вогнезахисні технології. Попит на ці технології зростає пропорційно до розвитку сталевих будівництва.

1.4 Історія розвитку вогнезахисної галузі в Україні

Сучасні вогнезахисні технології в Україні були започатковані наприкінці 1980-х років завдяки науковим розробкам Інституту фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України (ІнФОВ). Дослідження проводилися за замовленням Всесоюзного науково-дослідного інституту протипожежної оборони, головного інституту СРСР у сфері пожежної безпеки. Результатом співпраці стало створення першого вітчизняного вогнезахисного покриття нового покоління на основі графіту, що спучується, а також ряду унікальних полімерних антипіренів. Ці матеріали вироблялися на Дослідному виробництві ІнФОВ і застосовувалися для захисту стратегічних об'єктів, таких як військово-промисловий комплекс, склади боєприпасів та машинні зали атомних електростанцій. Науково-дослідні роботи з розробки ефективних вогнезахисних складів і виробів для оборонної інфраструктури, що базуються на фундаментальних дослідженнях хімічних перетворень складових, продовжуються і фінансуються НАН України.

Перше українське підприємство, яке спеціалізувалося на пасивному вогнезахисті, НВП "Спецматеріали", було засновано в 1991 році в м. Донецьк і довгий час займало монопольну позицію на вітчизняному ринку. Згодом в Україні з'явилися нові виробники протипожежної продукції, такі як "Ковлар Груп" (м. Київ, 2015 р.) та "Капітель Дніпро" (м. Дніпро), які розширили свій асортимент, додавши до лакофарбових матеріалів також вогнезахисні склади. Сьогодні українські підприємства випускають майже весь спектр засобів протипожежного призначення, що дозволяє повністю задовольняти потреби внутрішнього ринку.

З початку 90-х років, коли вогнезахисна обробка будівельних конструкцій стала регламентованою галуззю, відповідні державні структури та інституції активно займалися нормотворчою та регуляторною діяльністю. Новий імпульс розвитку вогнезахисної галузі та металевого будівництва в Україні був наданий у 2013 році з появою громадської організації Український

Центр Сталевого Будівництва (УЦСБ), створеної під егідою та за підтримки міжнародної гірничо-металургійної групи компаній "Метінвест".

УЦСБ об'єднує учасників ринку сталевих будівництва, включаючи провідних виробників та дистриб'юторів сталевих прокатів, заводи з виробництва металопродукції, покрівельних та фасадних систем, галузеві проєктні та наукові організації, монтажні та будівельні компанії, а також виробників засобів вогнезахисту. Основна мета УЦСБ – збільшити частку сталевих конструкцій у будівництві з 25% до 60% у комерційному секторі та активно просувати передові системи огорожувальних, покрівельних і несучих конструкцій у житловому та комерційному секторах. Для досягнення цієї мети члени організації вирішують низку завдань:

- Скорочення витрат сталевих будівництва через технічний розвиток
- Усунення нормативних та правових бар'єрів для вибору сталі як будівельного матеріалу, особливо щодо вогнезахисту металопродукції
- Розвиток сучасних сталевих рішень, спрямованих на зниження вартості будівництва
- Позиціонування сталі як пріоритетного матеріалу в будівництві

Діяльність УЦСБ зосереджена на популяризації сучасних методів і рекомендацій щодо проєктування металопродукції, зміні регуляторного режиму галузі, а також на постійному моніторингу ключових проблем, з якими стикаються проєктувальники та будівельники, та розробці відповідних рішень.

1.5 Комітет з вогнезахисту УЦСБ

З перших днів роботи УЦСБ було створено комітет з вогнезахисту, основною функцією якого є пошук шляхів зниження витрат на вогнезахист сталевих конструкцій для здешевлення сталевих будівництва. Діяльність комітету була спрямована на два основні напрями:

- Просвітницька робота щодо роз'яснення економічно доцільних положень, методів, та нормативів як для засобів вогнезахисту, так і для вогнезахисної обробки сталевих конструкцій.
- Участь комітету у державній нормотворчій діяльності з питань вогнезахисту та пожежної безпеки, з метою гармонізації з європейськими стандартами та їх адаптації до чинного національного законодавства.

За десять років напруженої роботи фахівці комітету з вогнезахисту досягли значних успіхів у зазначених напрямках. У 2014 році було видано першу публікацію УЦСБ «Вогнезахист сталевих конструкцій», яка стала бестселером не лише серед українських спеціалістів, але й здобула популярність на пострадянському просторі. Ця книга вважається першим українським підручником з вогнезахисту та вогнезахисної обробки сталевих будівельних конструкцій. З часу заснування УЦСБ було випущено багато таких корисних і інформативних видань. Зокрема, варто виділити щорічний Аналітичний огляд ринку засобів вогнезахисту сталевих конструкцій, який також є докладним каталогом поточних засобів вогнезахисту, сертифікованих та представлених на ринку України, з детальним описом технічної документації та даними сертифікатів відповідності.

В рамках адаптації норм та стандартів ЄС до українських реалій, члени комітету з вогнезахисту виконали значну роботу щодо впровадження положень Єврокодів у національне сталеве будівництво. Це призвело до створення та випуску практичного посібника для ДСТУ-Н EN 1993-1-2:2010, призначеного для архітекторів, проєктувальників та інженерно-технічних працівників будівельних організацій під назвою «Розрахунок сталевих конструкцій на вогнестійкість згідно з Єврокодом 3» [13]. У цьому посібнику наведено методичні рекомендації щодо проєктування сталевих конструкцій згідно з Єврокодом 3, з урахуванням національних додатків України та вимог щодо вогнестійкості. Також представлені основні варіанти температурно-

часових залежностей, розрахункові методи та довідкові матеріали для стандартного температурного режиму, що використовується у більшості випадків.

Щоб зрозуміти практичну користь від визначення класу вогнестійкості металу, відповідної для конкретної сталеві конструкції критичної температури, розглянемо простий приклад.

В Україні тривалий час температура близько 500 °С використовувалася як основна критична (проектна) температура сталевих конструкцій з вогнезахисними покриттями та облицюванням згідно з ДСТУ Б В.1.1-4-98*.

Впровадження ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010 та ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016 дозволило застосовувати диференційований підхід до визначення критичної температури, що включає розрахунок вогнестійкості сталевих конструкцій і проектування вогнезахисту згідно з Єврокодом 3. Використання розрахункових методів проектування дає змогу визначити критичну температуру сталевих елементів конкретної будівлі з урахуванням температурно-часової залежності сценарію пожежі, як це описано в зазначеному посібнику.

Розглянемо дані Сертифікату відповідності інтумесцентної фарби, що використовується в Україні (рис. 1.5). Якщо проектувати вогнезахист колони з профільним коефіцієнтом перерізу $A_m/V = 200 \text{ м}^{-1}$ згідно з ДСТУ Б В.1.1-4-98* (критична температура $\Theta_{a,cr} = 500 \text{ °C}$), потрібно забезпечити шар покриття товщиною 0,90 мм. У випадку проектування вогнезахисту тієї ж колони за допомогою розрахункових методів згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016 (критична температура $\Theta_{a,cr} = 650 \text{ °C}$), товщина покриття зменшується до 0,46 мм, що дозволяє зменшити витрати вогнезахисної фарби майже вдвічі (на 49%).

Таким чином, наочно показано, що використання розрахункових значень $\Theta_{a,cr}$ при проектуванні вогнезахисної обробки дозволяє значно зменшити витрати вогнезахисного матеріалу. Це, в свою чергу, знижує витрати на роботи з нанесення, що призводить до суттєвої економії коштів для девелоперів будівельного ринку.

Проектна температура, °C		400	450	500	550	600	650
Зведена товщина δ , мм	Коефіцієнт перерізу, A_m/V , мм ⁻¹	Клас вогнестійкості					
		Мінімальна товщина покриву, за якої температура нижче проектної, мм					
14,5	69	0,55	0,40	0,29	0,21	0,21	0,21
14,3	70	0,56	0,41	0,30	0,21	0,21	0,21
12,5	80	0,65	0,49	0,37	0,26	0,21	0,21
11,1	90	0,74	0,57	0,43	0,32	0,23	0,21
10,0	100	0,83	0,64	0,49	0,37	0,27	0,21
9,1	110	0,91	0,70	0,55	0,42	0,32	0,23
8,3	120	0,98	0,76	0,60	0,46	0,35	0,26
7,7	130	1,05	0,82	0,64	0,50	0,39	0,29
7,1	140	1,11	0,87	0,69	0,54	0,42	0,32
6,7	150	1,17	0,92	0,73	0,57	0,45	0,35
6,3	160	1,23	0,97	0,76	0,61	0,48	0,38
5,9	170	-	1,01	0,80	економія матеріала 49%		0,40
5,6	180	-	1,05	0,83			0,42
5,3	190	-	1,09	0,87	0,70	0,55	0,44
5,0	200	-	1,12	0,90	0,72	0,57	0,46

Рисунок 1.5 – Фрагмент Додатку до Сертифіката відповідності

Знаковою для галузі вогнезахисту є книга «Розрахунок вогнестійкості сталевих конструкцій і проектування вогнезахисту у відповідності до Єврокоду 3 і національних додатків», яка представляє методологію проектування сталевих конструкцій згідно з Єврокодом 3 з урахуванням вимог щодо вогнестійкості. У книзі викладено основи проектування та поведінки сталевих конструкцій в умовах пожежі та відповідних аварійних розрахункових ситуацій. Поведінка конструкцій під час пожежі значною мірою залежить від розрахункової температурно-часової залежності, що називається розрахунковим сценарієм пожежі. Врахування прогнозованого сценарію пожежі може визначити параметри вогнестійкості металевої конструкції, змінюючи значення $\Theta_{a,cr}$, а отже, і необхідну товщину

вогнезахисного покриття, як було показано у попередньому прикладі (рис. 1.6).

Професійний підхід до вогнезахисної обробки, що формується завдяки консалтинговій та просвітницькій діяльності комітету з вогнезахисту УЦСБ, майже завжди надає економічні переваги за рахунок урахування на перший погляд простих чи незначних факторів. Наприклад, ретельне обчислення коефіцієнта перерізу елементів сталевих конструкцій, що підлягають вогнезахисній обробці, може значно зменшити кількість необхідного вогнезахисного матеріалу для забезпечення нормативних параметрів вогнестійкості сталі. Як показує аналіз даних сертифіката відповідності на вогнезахисне покриття (рис. 1.6), зниження значення профільного коефіцієнта перерізу всього на 30 м-1 (з 200 м-1 до 170 м-1) дозволяє знизити витрати вогнезахисного матеріалу на 11%.

Проектна температура, °C		400	450	500	550	600	650
Зведена товщина δ , мм	Коефіцієнт перерізу, A_m/V , мм ⁻¹	Клас вогнестійкості R45					
		Мінімальна товщина покриття, за якої температура нижче проектної, мм					
14,5	69	0,55	0,40	0,29	0,21	0,21	0,21
14,3	70	0,56	0,41	0,30	0,21	0,21	0,21
12,5	80	0,65	0,49	0,37	0,26	0,21	0,21
11,1	90	0,74	0,57	0,43	0,32	0,23	0,21
10,0	100	0,83	0,64	0,49	0,37	0,27	0,21
9,1	110	0,91	0,70	0,55	0,42	0,32	0,23
8,3	120	0,98	0,76	0,60	0,46	0,35	0,26
7,7	130	1,05	0,82	0,64	0,50	0,39	0,29
7,1	140	1,11	0,87	0,69	0,54	0,42	0,32
6,7	150	1,17	0,92	0,73	0,57	0,45	0,35
6,3	160	1,23	0,97	0,76	0,61	0,48	0,38
5,9	170	-	1,01	0,80	0,64	0,51	0,40
5,6	180	-	1,05	0,83	економія матеріала 11%		0,42
5,3	190	-	1,09	0,87			0,44
5,0	200	-	1,12	0,90	0,72	0,57	0,46

Рисунок 1.6 – Фрагмент Додатку до сертифіката відповідності

Комітет з вогнезахисту УЦСБ розробив основоположний стандарт для сталевих будівництва та вогнезахисту – ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016 «Проектування сталевих конструкцій. Розрахунок конструкцій на

вогнестійкість» [14], який увійшов до головного нормативного документа у галузі пожежної безпеки – ДБН В 1.1.7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва». Цей стандарт визначає вимоги щодо проєктування сталевих конструкцій будівель і споруд під час пожежі, застосовуючи виключно пасивні методи вогнезахисту.

Зараз комітет з вогнезахисту трансформувався у центр консалтингу з вогнезахисту УЦСБ, що об'єднує висококваліфікованих технічних експертів у сфері вогнезахисту будівельних конструкцій. Фахівці надають безкоштовні консультації та всебічну підтримку учасникам будівельного процесу (інвесторам, девелоперам, архітекторам, проєктувальникам) з питань нормування вогнестійкості будівельних конструкцій та їх вогнезахисту.

1.6 Сучасні тенденції розвитку пасивного вогнезахисту

На світовому будівельному ринку розвиток і виробництво вогнезахисних матеріалів для сталевих конструкцій визначаються такими основними чинниками:

- Збільшення обсягів капітального будівництва, яке використовує сталеві конструкції.
- Розвиток нафтовидобувного та газового комплексів, що впливає на попит на сталеві конструкції і вогнезахисні матеріали.
- Підвищення вимог до пожежної безпеки, зростання потреб у страхуванні нерухомості та збільшення капіталу страхових компаній.

Підвищення обсягів виробництва та продажу вогнезахисних матеріалів є глобальною тенденцією, яка прямо залежить від розвитку будівництва та вдосконалення нормативно-правових актів у галузі цивільної оборони і пожежної безпеки. Прогнозується, що обсяг глобального ринку пасивного вогнезахисту зростатиме із річним темпом 4,7% з 2020 по 2027 рік (рис. 1.7).

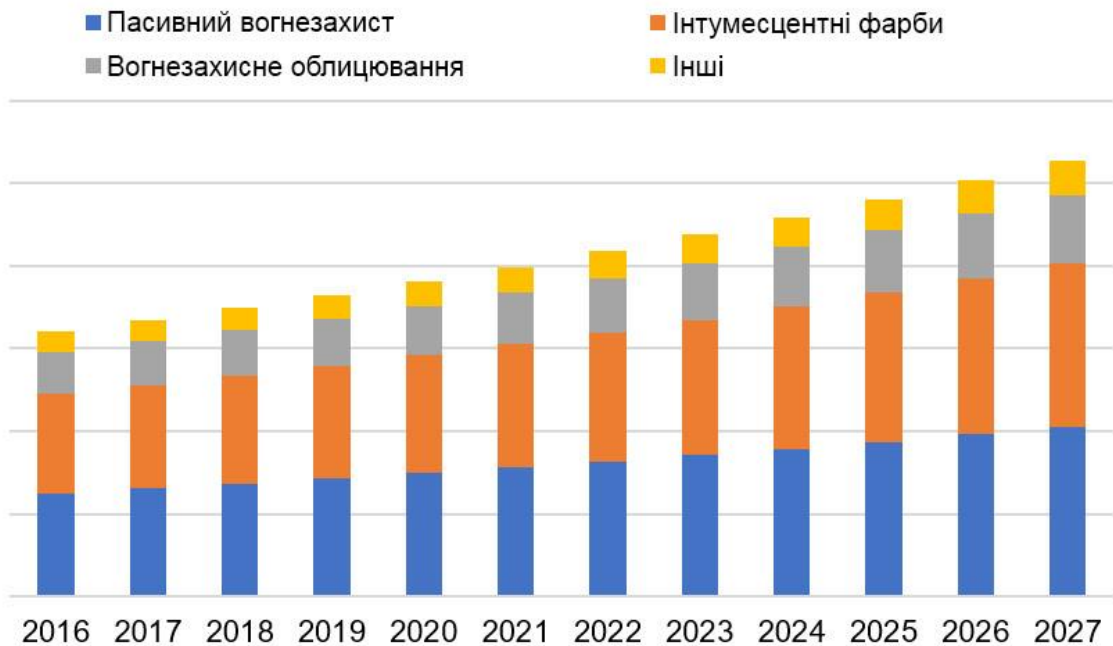


Рисунок 1.7 – Динаміка світових продажів засобів вогнезахисту за період 2016-2027 роки [33]

Згідно з останніми аналітичними даними [17], виробництво протипожежних засобів збільшилось з 4,44 мільярда доларів США в 2022 році до 4,81 мільярда доларів США в 2023 році, що свідчить про середньорічний темп зростання (CAGR) 8,2%. Це відбулося на фоні російської агресії, яка підірвала можливості для відновлення світової економіки після пандемії COVID-19, принаймні в короткостроковій перспективі. Однак прогнозується, що до 2027 року ринок пасивного протипожежного захисту досягне 6,27 мільярда доларів, з середнім річним темпом зростання 6,9% [17].

Таке зростання вартості ринку вогнезахисту зумовлене передусім збільшенням інвестицій у будівельний сектор. За даними звіту Global Construction Perspectives, очікується, що світова будівельна індустрія досягне рекордних 8 трильйонів доларів до 2030 року.

Ключовою тенденцією, що набуває популярності на ринку пасивного протипожежного захисту, є технологічний прогрес і використання фундаментальних наукових знань. Основні компанії, що працюють у сфері пасивного вогнезахисту, зосереджуються на розробці технологічних рішень для зміцнення своїх позицій. Особливу увагу приділяють тонкошаровим

інтумесцентним покриттям (спучувальним), які є одним з основних методів підвищення вогнестійкості металевих конструкцій. Хоча штукатурні суміші та плити забезпечують більш надійний вогнезахист, особливо для досягнення високих класів вогнестійкості (R) – 120 хвилин і більше, останнім часом для сталевих конструкцій перевагу надають вогнезахисним інтумесцентним покриттям. Це пояснюється тим, що тонкошарові покриття не порушують архітектурні форми та дизайнерські проекти, які базуються на естетичних можливостях та перевагах сталі у будівництві.

Згідно з прогнозами [33], зростання засобів реактивного вогнезахисту, зокрема інтумесцентних покриттів, очікується на рівні 5-6%. Це стимулює розвиток ринку вогнезахисних покриттів інтумесцентного типу для сталевих конструкцій у таких напрямках:

- Підвищення ефективності вогнезахисту, збільшуючи межу вогнестійкості до 150-180 хвилин при мінімізації товщини і витрат покриття.
- Збільшення терміну експлуатації покриття та його стійкості до впливу вологи та інших зовнішніх факторів.
- Відмова від використання галогенвмісних антипіренів та інших токсичних компонентів у складі покриттів відповідно до регламенту REACH, що обмежує застосування шкідливих для здоров'я людини речовин у будівельній індустрії.

Вибір між реактивними (тонкошаровими інтумесцентними) та теплоізоляційними (штукатурками, плитами тощо) засобами вогнезахисту залежить від вимог до пожежної безпеки об'єкту. Враховуючи загальні уявлення про ефективність та експлуатаційні можливості вогнезахисних матеріалів для сталевих конструкцій, слід зважати на такі фактори:

- Для забезпечення межі вогнестійкості R30 – R45 найдоцільніше використовувати тонкошарові інтумесцентні покриття.

- Межу вогнестійкості R60 можна досягти за допомогою фарб, штукатурок і плит. Вибір конкретного матеріалу може залежати від додаткових умов, таких як вартість вогнезахисту, конфігурація сталевих елементів, умови експлуатації та режим передбачуваного вогневого впливу.
- Починаючи з межі вогнестійкості R90, найбільш надійними для забезпечення вогнезахисної ефективності та експлуатаційних характеристик є плити та штукатурки. Однак, для збереження архітектурної привабливості дизайнерських рішень з металу, зростає популярність реактивного вогнезахисту, який, залежно від товщини конструкції, може забезпечити клас вогнестійкості до 180 хвилин.

Згідно з оглядом ринку пасивного протипожежного захисту в США, виробництво тонкошарових покриттів за останні кілька років зросло на 14%. Така ж тенденція спостерігається для штукатурок і облицювальних матеріалів, які становлять близько половини всіх вироблених засобів вогнезахисту в Північній Америці. Прогнозується, що попит на штукатурні матеріали (спреї) для сталевих конструкцій зростатиме завдяки їх більш доступним закупівельним цінам і високій надійності у забезпеченні вищих вимог до вогнестійкості для певних типів несучих сталевих конструкцій.

Інша ситуація спостерігається у Великій Британії [33]. За останні роки частка інтумесцентних покриттів перевищує 80%, тоді як частка штукатурних матеріалів у загальному обсязі засобів вогнезахисту знизилася з 8% до 1%. Важливим фактором, що стимулює розвиток вогнезахисної галузі, є збільшення видобутку нафти і газу, особливо сланцевого, в Китаї та США, а також посилення вимог пожежної безпеки на підприємствах відповідного профілю. Ці обставини, з одного боку, створюють додаткові умови для зростання світового ринку вогнезахисту, а з іншого — змінюють структуру та характеристики засобів вогнезахисту, зокрема щодо тонкошарових інтумесцентних покриттів. Очікується, що частка покриттів, здатних забезпечувати вогнезахист в умовах вуглеводневої пожежі,

збільшуватиметься. За оцінками аналітиків, саме ці покриття будуть найпопулярнішими та сприятимуть зростанню ринку.

Прогнозувати ситуацію на ринку вогнезахисту в Україні в найближчій перспективі практично неможливо через війну в країні та можливі драматичні зміни як макроекономічних факторів, так і розвитку будівельної індустрії. Проте всі оптимістичні прогнози пов'язані з очікуваннями швидкого початку післявоєнного відновлення країни, яке створить нові можливості та сприятиме стрімкому розвитку вогнезахисної галузі як невід'ємної частини національного будівельного сектору.

1.7 Межа вогнестійкості сталевих конструкцій як показник пожежної небезпеки

Згідно з ДБН В.1.2-7-2021, будівельні конструкції характеризуються вогнестійкістю та пожежною небезпекою. Показником вогнестійкості є межа вогнестійкості, що пожежну небезпеку конструкції характеризує клас її пожежної небезпеки. Межа вогнестійкості будівельних конструкцій встановлюється за часом (у хвилинах) настання одного або послідовно кількох нормованих для даної конструкції ознак граничних станів:

- втрати несучої здатності (R);
- втрати цілісності (E);
- втрати теплоізолюючої здатності (I) [18,19].

Межі вогнестійкості будівельних конструкцій та їх умовні позначення встановлюють ДСТУ EN 1363-1:2023 (EN 1363-1:2020, IDT). За пожежною небезпекою будівельні конструкції поділяють на чотири класи:

- K0 (непожежонебезпечні);
- K1 (малопожаронебезпечні);
- K2 (помірно пожежонебезпечні);
- K3 (пожежонебезпечні).

Клас пожежної небезпеки конструкцій встановлюють за ДБН В.1.2-7-

2021.

Метали мають високу чутливість до підвищення температури і до дії вогню. Вони швидко нагріваються і знижують властивості міцності. Класифікація на групи вогнезахисної ефективності сталевих конструкцій (за часом досягнення металом критичної температури 500 °C за хвилини):

1. Не менше 150
2. Від 120 до 150
3. Від 90 до 120
4. Від 60 до 90
5. Від 30 до 60
6. Менш ніж 30

Металеві конструкції відносять до протипожежних перешкод у будівництві, які і нормують за межами вогнестійкості конструкцій, що забезпечують стійкість перешкоди, вузлів кріплення між ними та конструкцій, на які вона спирається, за ознакою R повинні бути не меншими за необхідну межу вогнестійкості огорожувальної частини протипожежної. Пожежна небезпека протипожежної перешкоди визначається пожежною небезпекою її огорожувальної частини з вузлами кріплення та конструкцій, що забезпечують стійкість перешкоди. Усі протипожежні перешкоди мають бути класу K0 [21].

1.8 Вогнезахист металевих конструкцій

Для забезпечення вимог пожежної безпеки металевих конструкцій необхідно використовувати спеціальні засоби вогнезахисту, які зазнають обов'язкової сертифікації, відповідно до ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016 Проектування сталевих конструкцій. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість, ДСТУ EN 1363-1:2023 (EN 1363-1:2020, IDT) «Випробування на вогнестійкість Частина 1. Загальні вимоги».

Кожне вогнезахисне покриття отримує сертифікат пожежної безпеки, в

якому вказується: найменування вогнезахисного матеріалу; товщина сухого шару покриття; вогнезахисна ефективність; теоретична витрата вогнезахисного матеріалу (без урахування втрат), найменування та товщина ґрунту [22, 23].

Слід зазначити, що неприпустимим є нанесення вогнезахисного покриття на ґрунт, який відрізняється від зазначеного в Сертифікаті, а також нанесення на поверхню вогнезахисного покриття інших покриттів, не зазначених у Сертифікаті. Сертифікат пожежної безпеки видається терміном трохи більше трьох років органом із сертифікації.

При розробці проекту нового будівництва чи реконструкції, у разі потреби, вогнезахист несучих металевих конструкцій розробляється у складі заходів щодо пожежної безпеки у розділі «Архітектурно-будівельні рішення» відповідно до ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництво. Змінами № 1 та № 2». При застосуванні для вогнезахисту несучих конструкцій вогнезахисних складів у записці пояснення до проекту вказуються:

- група вогнезахисної ефективності складу ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016;
- необхідну межу вогнестійкості несучих конструкцій; товщина сухого шару вогнезахисного складу;
- найменування вогнезахисного складу, номер ТУ та Сертифіката пожежної безпеки; допустимі види (марки) ґрунтів для металевих конструкцій (за Сертифікатом пожежної безпеки);
- допустимі види (марки) покривних матеріалів.

1.9 Висновки з першого розділу :

Для експлуатованих будівель та споруд у разі потреби вогнезахисту несучих будівельних конструкцій розробляється проект вогнезахисту відповідно до ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016 . Проект вогнезахисту розробляється

організацією, що має ліцензію на даний вид діяльності.

До проведення роботи з вогнезахисту металевих конструкцій допускаються лише організації, що мають ліцензії на виробництво вогнезахисних робіт, а також сертифікати на вогнезахисні засоби, що застосовуються.

Технічні характеристики вогнезахисних матеріалів, які не вказані в Сертифікаті пожежної безпеки, повинні підтверджуватись ТУ, протоколами випробувань та висновками випробувальних лабораторій. Ряд провідних вітчизняних розробників та виробників засобів вогнезахисту досить успішно займаються виконанням вогнезахисних робіт із застосуванням власних матеріалів та технологій, постійно їх удосконалюючи.

Дослідження цих організацій дозволяють скоротити витрату вогнезахисних матеріалів, замінити їх на нові більш досконалі матеріали, доопрацювати вогнезахисні матеріали відповідно до вимог об'єкта і, як наслідок, знизити вартість вогнезахисних робіт при підвищенні якості.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ ВОГНЕЗАХИСТУ СТАЛЕВИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

2.1 Методи та засоби вогнезахисту сталевих будівельних конструкцій

Межа вогнестійкості сталевих конструкцій в залежності від товщини елементів перерізу і діючих напруг складає від 0,1 до 0,4 год. залежно від ступеня вогнестійкості будівель та типу конструкцій.

Завдання вогнезахисту сталевих конструкцій полягає у створенні на поверхні елементів конструкцій теплоізолюючих плівок, що витримують високі температури та безпосередню дію вогню. Наявність цих плівок сприяє уповільненню прогрівання металу і дозволяє зберігати конструкції свої функції під час пожежі протягом заданого періоду часу [24].

Вогнезахист металевих конструкцій здійснюють декількома способами. Це і традиційні методи, такі як бетонування, оштукатурювання, використання цегляної кладки, і нові, сучасні методи, що базуються на механізованому нанесенні полегшених матеріалів та легких заповнювачів - азбесту, спученого перліту та вермікуліту, мінерального волокна.

Одним з перспективних з діючих на сьогоднішній день засобів вогнезахисту металевих конструкцій є застосування складів терморозширюваного типу (покриття, що спучуються). Дія їх заснована на спучуванні нанесеного покриття під впливом високих температур ($170 - 250^{\circ}\text{C}$) та утворенні пористого теплоізолюючого шару. При цьому вогнезахисне покриття завтовшки від 0,5 до 2 мм збільшується в об'ємі в 10 - 40 разів і забезпечує вогнезахисну ефективність від 05 до 15 години [8].

Основні принципи побудови рецептур вогнезахисних фарб, що спучуються (інтумісцентних) аналогічні рецептурам лакофарбових матеріалів: плівкоутворювач, наповнювачі, пігменти (якщо необхідно),

реологічні інгредієнти, сикативи (затверджувачі), якщо покриття отверждаемого типу. Головна відмінність полягає в наявності інтумісцентної системи, яка відповідає за процес утворення пінококсу.

2.2 Характеристика наповнювачів вогнезахисних покриттів

Для покриттів, що спучуються, застосовують спеціальні компоненти, що підрозділяються на чотири групи:

- поліоли - органічні гідроксилвмісні сполуки з великим вмістом вуглецю (пентаеритрит, ді-, трипентаеритрит, крохмаль, декстрин та ін.);
- неорганічні кислоти або речовини, що виділяють кислоту при 100 - 250 °C (фосфорна кислота, її ефіри та солі, солі амонію, меламінфосфат та поліфосфат амонію);
- амідни або аміні (сечовина, диціандіамід, гуанідин та ін);
- галогеновмісні сполуки, найчастіше хлорпарафіни з 70% вмістом хлору.

Крім того, ряд наповнювачів (гідроксид алюмінію $\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, оксалати, карбонати металів, борна кислота та її солі, фосфати, що містять кристалізаційну воду) також виявляє властивості антипіренів. Вогнезатримуюча дія наповнювачів-антипіренів обумовлена виділенням парів води при розкладанні в полум'ї. У деяких випадках відбувається утворення оксидної плівки на поверхні, що горить, виділення газів, що не підтримують горіння.

Найчастіше використовуються галогенсодержащие антипірени, їх у загальному випуску становить майже 25%. Як добавки до поліолефінів застосовують хлорпарафіни, які добре поєднуються з полімером, вони досить ефективні, проте можуть випотівати; гексахлорциклопентадієн, його димери та аддукти з бутадієном, дивінілбензолом, циклооктадієном, дивінілбензолом або малеїновим ангідридом; броморганічні циклоаліфатичні сполуки - гексабромциклододекан, тетрабромциклооктан та ін. Якщо порівнювати

ефективність різних галогенів у їх сумішах з оксидом сурми (Sb_2O_3), то бром виявляє найбільший ефект. Так, при одночасному присутності в системі хлору та броду переважно утворюються броміди сурми, а хлор виділяється у вигляді хлороводню.

Широко відомі неорганічні та органічні сполуки фосфору. В даний час тільки ефіри фосфорних кислот становлять понад 15% всіх антипіренів-добавок. Також істотне значення мають реакційноздатні фосфоровмісні антипірени, наприклад, фосфоровмісні поліолі. Введення фосфоровмісних фрагментів у системи покриттів не тільки знижує їхню горючість, але й підвищує адгезію, протикорозійну стійкість і покращує важливі властивості. Добавки на основі фосфору єдині перешкоджають тлінню - антипірени, що містять фосфор, діють на початкових стадіях процесу горіння, запобігаючи розігріву і викликаючи дегідратацію полімеру, прискорюючи його коксування, тому вони більше підходять для зони піролізу.

В даний час намітилася тенденція до використання для вогнезахисту безгалогенних матеріалів на основі мелаїну (наприклад, мелаїнціанурат), крім того, мінімізуються добавки оксидів сурми. Вимоги до таких речовин такі: вони не повинні зазнавати корозії ні протягом переробки, ні у разі пожежі; виділяти при згорянні мінімальну кількість димагазової суміші; наскільки можна виключати виникнення діоксинів. Стосовно цих речовин повинна бути вказана термостабільність, тобто температура, за якої виникають перші ознаки розкладання. Вони повинні бути нерозчинні у воді та індиферентні до полімерів. З'єднання подібного виду дуже безпечні, виділяють невеликий обсяг диму при пожежі і мають низьку токсичність газів згорання. Мелаїнамілфосфат також може використовуватися як ефективний замітник оксиду сурми як вогнезахисної речовини в еластичних полівінілхлоридах [17].

Як добавки, що знижують пожежну небезпеку покриттів, в даний час починають застосовувати склосфери, порожнисті скляні мікрокульки, і вуглецеві нанотрубки. Це досить новий, але вже доказав свою перспективність

матеріал, що є порожнистими трубками розміром від 20 до 30 тисяч нм, що складаються з згорнутих шарів вуглецю.

Вибір полімерного сполучного визначається вимогами до фізико-хімічних, експлуатаційних і вогнезахисних властивостей фарб, що спучуються. Для отримання лакофарбових матеріалів можна використовувати плівкоутворювальні системи різних видів, у тому числі водні дисперсії, органодисперсії та 100% плівкоутворювальні системи. Найбільш поширені однофазні плівкоутворювальні системи, що є розчинами плівкоутворюючих в органічних розчинниках.

Як каталізатор карбонізації в композиціях, що спінюються широко використовуються різні фосфати. Більшість їх водорозчинні, і, отже, їх істотним недоліком є низька водо- і атмосферостійкість. Тому головним критерієм при виборі має стати невисока розчинність у воді.

З іншого боку, для інтенсивного пінококсоутворення та забезпечення ефективного вогнезахисту необхідно, щоб процеси, що відбуваються в покритті при впливі на них теплового потоку, протікали в строго певній послідовності, і, враховуючи, що вона залежить в першу чергу від температури розкладання складових компонентів покриття, Наступним критерієм є значення температур на початку розкладання фосфатів [23].

Основною характеристикою поліфосфату амонію для вогнезахисного складу є вміст азоту та фосфору, які повинні перебувати в межах 14 - 15% азоту та не менше 70% фосфору відповідно. Нижчий вміст фосфору не дозволить досягти потрібної висоти (кратності) піни. Поліфосфат амонію існує у двох видах: із кристалічною фазою I (ступінь полімеризації $n < 1000$) та кристалічною фазою II ($n > 1000$). Для першого типу характерні лінійна структура, нижча температура розкладання і високий рівень водорозчинності, тому у виробництві фарб використовується поліфосфат фази II з високим ступенем полімеризації.

Іншим важливим компонентом вогнезахисного покриття, що спучується, вважається карбонізуючий матеріал, який в умовах

високотемпературного піролізу в суміші з каталізатором карбонізації здатний утворювати стійкі конденсовані структури. Як такий матеріал, наприклад, застосовують пентаеритрит, ди- і трипентаеритрити, різні вуглеводи, аміноформальдегідні олігомери та ін.

Для додаткового посилення ефективності каталізатора карбонізації і карбонізуючого матеріалу в вогнезахисні матеріали, що спучуються додають спінювальні агенти (газоутворювачі). Останні завдяки виділенню великої кількості негорючих газів при терморозкладанні сприяють утворенню спіненого шару (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 - Властивості деяких спінюючих агентів

Назва з'єднання	Розчинність у воді	Температура розкладання, °C	Основні продукти розкладання
Мочевина	Розчинний	130	NH ₃ , H ₃ PO ₄
Гуанідін	Розчинний	160	NH ₃ , H ₃ PO ₄
Бутилмочевина	Не розчиняємо	96	NH ₃ , H ₃ PO ₄ , H ₂ O, CO ₂
Тіомочевина	Мало розчиняємо	180	NH ₃ , H ₃ PO ₄ , H ₂ O, CO ₂
Хлорпарафін	Не розчиняємо	200	H ₂ O, CO ₂ , HCl
Диціандіамід	Не розчиняємо	230	NH ₃ , H ₂ O, CO ₂
Меламін	Не розчиняємо	300	NH ₃ , H ₂ O, CO ₂

Безсумнівно, у зв'язку з несприятливою екологічною ситуацією найбільш поширені водно-дисперсійні покриття, що спучуються, виробництво і застосування яких не пов'язане з використанням токсичних і пожежонебезпечних органічних речовин. Тим не менш при фарбуванні різних споруд виникає необхідність в атмосферостійких ЛКМ, що спучуються, що

застосовуються в умовах підвищеної вологості (по мокрих поверхнях), з підвищеною морозостійкістю за умов нанесення в зимовий період і можливістю транспортування в райони з холодним кліматом. Крім того, в процесі будівництва фарби можуть наноситися на конструкції недобудованих об'єктів без стінових і дахових панелей, тому розробка вогнезахисних покриттів, що спучуються, на основі органічних розчинників досі залишається актуальною [19].

Органічні розчинники, що використовуються для цих цілей, відіграють велику роль у процесі формування покриттів, надаючи сильний вплив на структуру та властивості плівок, отриманих з полімерних розчинів.

Якщо донедавна підбір оптимального складу розчинників здійснювався в основному емпіричним шляхом, то останнім часом при виборі розчинників керуються термодинамічною спорідненістю в системі полімер - розчинник і летючістю розчинника. Від спорідненості компонентів системи залежить швидкість розчинення плівкоутворювача, стабільність та реологічні властивості розчинів або дисперсій, до певної міри - структура та властивості покриттів. Леткість розчинника позначається на технологічних характеристиках лакофарбових матеріалів та зовнішньому вигляді покриттів, які також залежать від методів нанесення.

В якості плівкоутворювачів для атмосферостійких розчинних складів, що спучують застосовують хлосульфирований поліетилен, пентафталеві лаки, хлорвінілові, стирол-акрилові полімери. Найбільш оптимальні для таких сполучних системи розчинник-розріджувач, де як розчинник використовуються ароматичні розчинники (толуол, ксилол, бутилацетат). Розріджувачем виступають сольвент або уайт-спірит. Час висихання до ступеня «3» ДСТУ ISO 12944-9:2019 за температури 20 °C таких покриттів становить, як правило, не більше 6 годин.

В цілому, для розробки рецептур вогнезахисних фарб, що спучуються, частіше застосовують систему поліфосфат амонію - донор фосфорної кислоти, меламін - газоутворюючий агент, пентаерит - карбонізатор у початковому

співвідношенні 20:10:10. Практично всі виробники смол та дисперсій пропонують клієнтам базові рецептури та опис технологічного процесу: розчинення смол (якщо йдеться про органорозчинні фарби), потім введення наповнювачів, пігментів та реологічних добавок.

2.3 Захист деревини як пального матеріалу в умовах зіткнення з металом

Особливо небезпечними можна вважати умови, коли металеві конструкції стикаються з деревом або пластиком і їхня присутність посилює процес, знижуючи тим самим час вогнестійкості.

Тому проблема обробки дерев'яних конструкцій вогнезахисними просоченнями - антипіренами є дуже актуальною.

Антипірени (від грец. *Anti* - приставка, що означає протидію, і *pyr* - вогонь) (інгібітори горіння), речовини, що знижують горючість матеріалів органічного походження (деревини, пластмас, тканин та ін.) [34].

Припускають, що їхня дія обумовлена:

- 1) розкладанням антипіренів під дією полум'я з поглинанням тепла та виділенням негорючих газів;
- 2) зміною напрямку розкладання матеріалу у бік утворення негорючих газів та важкогорючого коксового залишку;
- 3) гальмуванням окислення в газовій та конденсованій фазах;
- 4) утворенням на поверхні матеріалу теплозахисного шару пінококсу;
- 5) зміною напрямку реакцій у передполум'яній області у бік утворення сажоподібних продуктів.

Антипірени можуть бути поділені на інертні та активні; останні вступають із матеріалом у хімічну реакцію. Антипірени повинні задовольняти наступним вимогам: поєднуватися з матеріалом та не мігрувати на його поверхню; не погіршувати механічні та інші фізичні характеристики матеріалу; не розкладатися під час переробки матеріалу та експлуатації

виробу; бути нетоксичними, не виділяти при горінні токсичних продуктів та зменшувати димоутворення. Бажано також, щоб антипірени були безбарвні, атмосферостійкі, мали високі діелектричні показники.

Найбільш поширені антипірени: $Al(OH)_3$, сполуки бору (напр., $2BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot nH_2O$; $2ZnO \cdot 3B_2O_3 \cdot nH_2O$), фосфору [фосфати амонію, три(2,3-дибромпропіл)фосфат та ін.], сурми (Sb_2O_3 ін), високохлоровані парафіни C_{20} - C_{25} , бромпохідні ароматичних вуглеводнів, суміші солей неорганічних кислот з меламіно-або сечовино-формальдегідними смолами, аміни Ni, Zn, Co, карбонати та сульфати амонію, солі Mo, V, Se. Насправді застосовують зазвичай суміші різних антипіренів.

Метод введення антипіренів залежить від типу матеріалу, який потребує захисту. Для деревини антипірен може бути введений шляхом просочування розчином або нанесенням фарби, що містить антипірен. У випадку синтетичних полімерів антипірени можуть бути додані на етапі їх виготовлення, при подальшій переробці або безпосередньо в готовому виробі.

В даний час існує безліч антипіренів та антипіренів-антисептиків, що випускаються різними вітчизняними та зарубіжними виробниками. Їхньою розробкою займаються різні організації та відомства.

Під дією полум'я компоненти антипірену перетворюються на тверді продукти та газоподібні речовини, які, випаровуючись, охолоджують дерев'яну поверхню. У свою чергу, тверді компоненти, що обвуглилися, утворюють суцільну плівку, яка блокує надходження кисню. Таким чином, здійснюється як внутрішній, так і зовнішній вогнезахист просоченої антипіренами деревини.

При виборі інгібіторів горіння особливу увагу слід звертати на групу вогнезахисної ефективності, якою вони відповідають згідно з ДСТУ 4479:2005 «Речовини вогнезахисні водорозчинні для деревини. Загальні технічні вимоги та методи випробування». Просочення, що належать до другої групи, лише перешкоджають займанню, тоді як склади з першою групою вогнезахисної ефективності здатні забезпечити повноцінний захист на всіх стадіях розвитку

пожежі.

Вибираючи вогнезахисне просочення, важливо враховувати не лише показник групи вогнезахисної ефективності, але й характеристики кожного типу деревного матеріалу, такі як сорт, тип та щільність деревини, що підлягає обробці. Наприклад, дубова дошка горить повільніше, навіть без антипіренів на її поверхні, тоді як ялиновий чи сосновий брус згорає швидко, за кілька хвилин.

У побутових умовах вогнезахисні просочення зазвичай наносяться пензлем на поверхню дерев'яних конструкцій або виробів. Однак такий метод забезпечує лише короткостроковий захист, оскільки склад не проникає в структуру деревини і захищає лише її поверхню від вогню.

Антипірени нового покоління відрізняються тим, що вони сумісні з фінішним декоративним покриттям, яке наноситься на просочену деревину, чого не можна було досягти раніше. Традиційні інгібітори горіння, створені на кислотній основі, при взаємодії з лакофарбовим шаром пошкоджують його, тому їх випускають в різних кольорових рішеннях.

Серед переваг водорозчинних складів — безпека для внутрішнього оздоблення будівель та офісних меблів. Це пояснює їх зростаючу популярність. Важливо також, що такі просочення не підвищують гігроскопічність деревини, не сприяють корозії металевих частин і сполук, не завдають шкоди навколишньому середовищу та здоров'ю людини.

2.4 Висновки з другого розділу :

Однак при виконанні вогнезахисних робіт не варто забувати про додатковий захист деревини від появи грибка, комах, наростання плісняви, яку здатні забезпечити антисептики.

До них прийнято відносити хімічні препарати, що оберігають дерев'яні поверхні від біологічного руйнування (гниття, ураження деревоточками тощо). При нанесенні антисептиків також відбувається глибинне заповнення

структури деревного матеріалу спеціальним складом, що дозволяє повністю запобігти згубному впливу зовнішніх руйнівних факторів.

Обробка деревини подібними матеріалами проводиться в автоклаві під високим тиском з використанням вакууму, після чого всі покриті вироби піддаються сушінню в умовах кімнатної температури протягом 48 годин.

Для захисту такого широко використовуваного матеріалу, як деревина, необхідно ретельно вибирати вогнезахисні та антисептичні засоби, віддаючи перевагу сучасним матеріалам, що пройшли автоклавну обробку [34].

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯК ПОКАЗНИКІВ ВОГНЕСТІЙКОСТІ СТАЛІ, ЩО СТИКАЄТЬСЯ З ГОРЮЧИМИ ДЕРЕВНИМИ МАТЕРІАЛАМИ В БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ

Міцність, надійність, індустріальність у виготовленні сталевих конструкцій з урахуванням принципів уніфікації та стандартизації, транспортабельність, невеликі терміни при монтажі, всі ці характеристики визначають економічність використання сталевих конструкцій у будівництві [3].

3.1 Деформативні характеристики сталі

Однак сталеві конструкції мають такі недоліки, як схильність до впливу корозії, а також невелика вогнестійкість, трохи більше 400°C. Основна проблема використання сталевих конструкцій у тому, що під час пожежі при нагріванні вони деформуються.

Причому в умовах знаходження поряд зі сталевими конструкціями дерев'яних балок, прогонів, обрешітки покрівлі, плит перекриття, заповнених легкозаймистими матеріалами, стійкість сталевих конструкцій значно знижується.

Було проведено аналіз експериментів з виявлення деформативних характеристик сталі, що стикається з горючими деревними матеріалами, важливо розглянути закономірності зниження несучої здатності дерев'яних елементів.

Важливо відзначити, що зниження здатності дерев'яних елементів конструкцій відбувається через обвуглювання деревини, що призводить до зменшення розмірів робочого перерізу цих елементів.

При цьому змінюється і здатність сполук, що несе, сталь - деревина, так

як знижуються і міцнісні характеристики сталі.

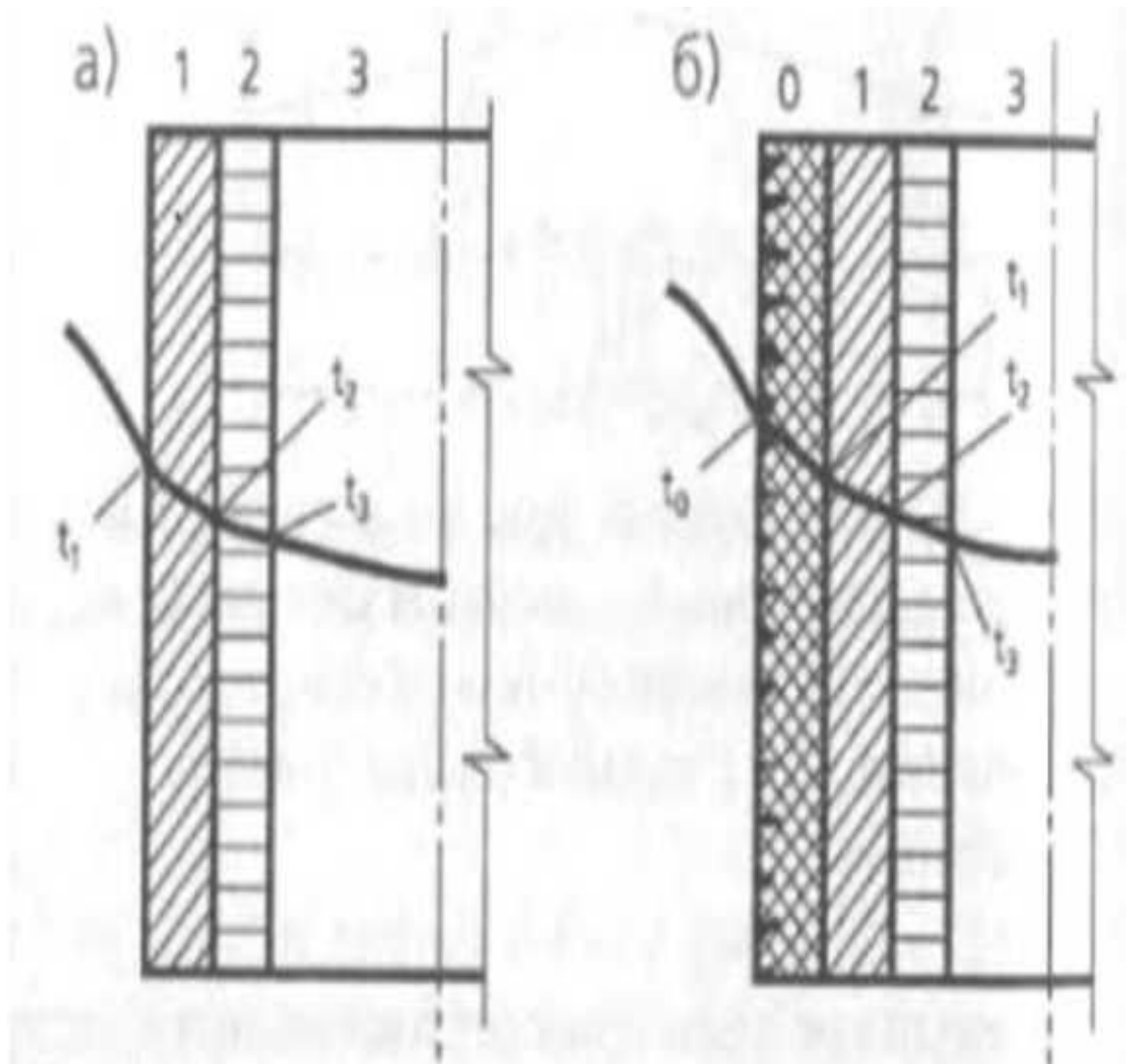


Рисунок 3.1 – Процеси обвуглювання деревини

Відповідно до рисунку 3.1а перший етап процесу характеризується інтенсивним прогріванням поверхневих шарів деревини, в результаті якого відбувається виділення вологи, що знаходиться в деревині, в довкілля та перенесення її вглиб деревини. При цьому утворюються три характерні зони, в першій з яких відбувається часткова деструкція деревини, значення температур на межах цієї зони відповідно: $t_1 < 300^\circ\text{C}$ та $t_2 > 175^\circ\text{C}$. У другій зоні при $t_3 > 100^\circ\text{C}$ відбувається фазове перетворення вологи на пару. У третій зоні температура в деревині коливається в межах від 20 до 100°C . Через 3-5 хвилин після початку впливу полум'я на поверхні деревини з відносною вологістю не

більше 9% температура досягає 280-300°C за такої температури відбувається процес карбонізації поверхневих шарів деревини, яка втрачає свої початкові механічні властивості. Згідно з запропонованою моделлю після цього починається другий етап процесу обвуглювання деревини рис 3.1б, коли крім зон 1,2,3 з'являється зона 0, де $t > 300^\circ\text{C}$, в якій утворюється шар вугілля з неоднорідною пористою структурою і усадковими тріщинами.

Цей перевуглений шар деревини має нижчі, порівняно з необугленою деревиною, теплофізичними характеристиками: коефіцієнтом теплопровідності, питомою теплоємністю. Процес обвуглювання відбувається послідовно, поширюючись від поверхневих шарів углиб деревини, що призводить до зменшення розмірів дерев'яних елементів конструкції. Швидкість обвуглювання різних порід деревини знаходиться в межах 0,6 -1,0 мм/хв залежно від тривалості температурного впливу полум'я, щільності та вологості деревини, розмірів перерізу дерев'яного елемента конструкції та шорсткості поверхні [26 - 30].

Поведінка елементів сталевих конструкцій, що працюють у контакті з дерев'яними елементами, залежить від статичної схеми конструкції, конструкції перерізу їх елементів. Сталеві конструкції невеликого перерізу працюють на розтягування та стиск. Мембранні конструкції (1-2 мм) прогинаються, їхня вогнестійкість 0,75-1,0 год.

Важливо, що традиційні методи розрахунку вогнестійкості сталевих конструкцій не враховує температурного розширення та температурної деформації повзучості сталі при впливі процесів обвуглювання деревини, тому потрібна додаткова оцінка вогнестійкості таких сталевих конструкцій. Вирішення цієї проблеми було провідним завданням нашого експерименту.

3.2 Визначення показників вогнестійкості сталі

В експерименті були використані елементи конструкції, що складаються із сталевий пластини 100x100x2 мм, закріплені на дерев'яному бруску

100x50x50 мм, які піддавалися температурному впливу полум'я. Для проведення експерименту було сконструйовано установку у вигляді шафи. За основу конструкції взято прилад для визначення вогнестійкості модифікації ВІД - 68. Прилад складається з металевого корпусу розміром 290x270x530 мм, в якому знаходиться пальник та стрижень для утримування зразків. Металевий корпус має передні дверцята.

Пальник служить для створення заданого полум'я під час проведення випробування; розташована вона в нижній частині приладу і закріплена на тримачі, що переміщається. Використовувався газовий пальник із шириною гноту 25 мм.

Стрижень для утримування зразків служить для закріплення проби, його підвішують через захоплюючий тримач до знімної кришки, розташованої у верхній частині приладу.

Для циркуляції повітря в камері приладу в нижній частині передньої та задньої стінок, а також у бічних дверцятах є отвори, що регулюються засувками, а для створення тяги - труба висотою 30 мм з кришкою, розташована у верхній частині приладу (рис. 3.2 та 3.3).



Рисунок 3.2 - Прилад визначення вогнестійкості модифікації ОТ - 68



Рисунок 3.3 - Розташування зразка в приладі визначення вогнестійкості модифікації ОТ – 68

Для вимірювання часу горіння користувалися секундоміром, для визначення ступеня руйнування деревини зразки зважували до і після випробування на терезах 2 класу точності ВСТ - 600/10. На підготовлені зразки було нанесено вогнезахисні покриття.

Так як мета полягала в модифікації вогнезахисних складів, які не тільки знижували б горючість деревини, а й сприяли протикорозійної стійкості сталі, що перебуває в контакті з нею. Відомо, що до таких складів відноситься, серед неорганічних сполук, антипірени, що містять фосфор.

Тому в якості основи для розробки складів було взято екологічно

безпечний антипірен для деревини Пірилакс – Люкс, який використовується для внутрішньої обробки дерев'яних конструкцій.

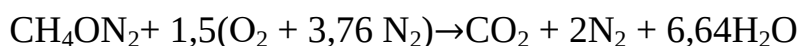
Пірилакс - це антипірен на основі фосфоровмісної сполуки, що складається з продуктів реакції фосфористої кислоти (H_3PO_3) і водного аміаку NH_3 в об'ємних співвідношеннях 1:1. Токсиколого-гігієнічні дослідження його щодо впливу на людину та довкілля проводились до Інституту фармакології та токсикології НАМН України. За ступенем на організм людини він належить до IV класу малонебезпечних речовин. Показник токсичності продуктів горіння матеріалів, просочених ним також відносять згідно з ДСТУ 8829:2019 до малонебезпечних[46].

До складу даного антипірену як модифікуючу добавку був введений карбамід у співвідношенні 2 (H_3PO_3) : 2 (NH_4OH) : 1 (CH_4ON_2).

Карбамід у складі Пірилакса не виділяв, при горінні, токсичних продуктів, мав діелектричні показники, не надаючи йому забарвлення.

Оскільки пальне - індивідуальна речовина, то визначення обсягу і складу продуктів горіння запишемо рівняння хімічної реакції.

При горінні карбамід утворює:



З цього рівняння випливає, що продукти горіння складаються з

$$V_{\text{CO}_2} = 1 \text{ моль}, V_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \text{ моль}, V_{\text{N}_2} = 6,64 \text{ моль}$$

Далі визначаємо нижчу теплоту згоряння за формулою (3.1).

$$Q_H = \sum(n\Delta H_i - n\Delta H_j), \quad (3.1)$$

де ΔH_i , ΔH_j - відповідно теплота утворення одного кмоля і-го кінцевого продукту горіння та j-го вихідної речовини;

n_i , n_j - відповідно кількість кмолів і-го продукту реакції та j-го вихідної речовини в рівнянні реакції горіння.

$$Q_H = 1 \cdot 396,97 + 2 \cdot 242,2 - 319,2 = 562,1 \text{ кДж/моль}$$

Середня ентальпія продуктів горіння розраховується за формулою (3.2).

$$H_{cp} = 5621 = 58,3 \text{ кДж/моль} \quad (3.2)$$

H_{cp} виражена кДж/моль, по таблиці 3.3 вибираємо, орієнтуючись на азот, першу наближену температуру горіння $T_1 = 1600^\circ\text{C}$.

Розраховуємо тепломісткість продуктів горіння при 1600°C за формулою (3.3).

$$Q_{пр} = 67,3 \cdot 2 + 84,6 + 6,64 \cdot 52,4 = 567,1 \text{ кДж/моль} \quad (3.3)$$

Якщо $Q_{пр} > Q$, то $T_2 < T_1$. Отже, T_2 приймаємо 1500°C .

Розраховуємо тепломісткість продуктів горіння при 1500°C за формулою (3.3).

$$Q_{пр} = 67,3 \cdot 2 + 84,6 + 6,64 \cdot 48,8 = 527,23 \text{ кДж/моль}$$

Далі визначаємо температуру горіння за формулою (3.4).

$$T_2 = 1500 + \frac{(567,1 - 527,23)(1600 - 1500)}{567,1 - 527,23} = 1578^\circ\text{C} \quad (3.4)$$

Таблиця 3.1 - Ентальпія (тепловміст) газів при постійному тиску

Температура горіння, $^\circ\text{C}$	Тепловміст, кДж/моль				
	O_2	N_2	Повітря	CO_2	H_2O
1300	44,0	41,7	42,1	66,8	52,6
1400	47,7	45,3	45,6	72,7	57,4
1500	51,5	48,8	49,2	78,6	62,3
1600	55,2	52,4	52,8	84,6	67,3
1700	59,0	55,9	56,4	90,5	72,4

Треба відзначити, що відомі антипірени із застосуванням вогнезахисного складу з ортофосфорної кислоти, розчину аміаку та сечовини (карбаміду), але він виявляє токсичні властивості як у процесі розкладання при горінні, так і в процесі синтезу.

Також нами був підготовлений розчин на основі H_3PO_3 та NH_4OH , але у співвідношенні 1 (H_3PO_3) : 8 (NH_4OH), який мав $\text{pH} > 7$.

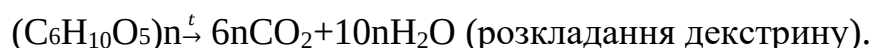
Дерев'яні зразки були просочені розчинами підготовлених складів.

Зразки поринали в розчини на 2-3 хвилини, після чого висувалися до постійної маси при температурі 25-30 °C (протягом трьох діб). А також механічним способом приводилися до однакової маси (100гр.).

Для створення захисної плівки на сталевій пластині було використано покриття складу, розробленого для функціонального використання при дуговому зварюванні плавленням.

Дане покриття може бути використане як вогнезахисне для металевих конструкцій, так як створює захисну плівку при його термічному розкладанні. А під дією полум'я виділяє негорючі, а також нетоксичні речовини.

Наприклад:



Покриття наносилося на сталеві пластини 2 шари з проміжком в 1 годину.

Результати проведених експериментів наведено у таблицях 3.2 та 3.3.

Таблиця 3.2 - Вогнезахисні покриття

№ зразка	Склад антипірену (основні компоненти)			Функціональне покриття для зварювання плавленням
	1H ₃ PO ₃ : 1NH ₄ OH, pH≤5,5	2H ₃ PO ₃ : 2NH ₄ OH: 1CH ₄ NO ₂ , pH≤5,5	1H ₃ PO ₃ : 8NH ₄ OH, pH=8,5	
1. деревина	+			
сталь	-			
2. деревина		+		
сталь		-		
3. деревина			+	
сталь			-	
4.1 деревина	+			
сталь				+
4.2 деревина		+		
сталь				+
4.3 деревина			+	
сталь				+
5. деревина	-	-	-	
сталь				-

У таблиці 3.2 наведено склади вогнезахисних покриттів зразків деревини та сталевих пластин, які прикріплювалися до дерев'яних брусків. Всього було підготовлено для експерименту 7 зразків, по 3 паралельні проби, які відрізнялися не тільки складом вогнезахисного просочення, але й варіацією просочення компонентів системи деревина - сталь.

Таблиця 3.3- Результати зміни маси, ступеня руйнування деревини та зміни міцності стали на вигин у системі «сталь + деревина», що знаходиться у відкритому полум'ю пальника з використанням різних покриттів

№ зразка	Вихідна маса деревини, г	Маса деревини після впливу полум'я протягом часу, г		Руйнування маси деревини після впливу полум'я, протягом часу, % мас.		Міцність стали на вигин, після дії полум'я протягом часу	
		10 хвилин	25 хвилин	10 хвилин	25 хвилин	10 хвилин	25 хвилин
1.1	100,00	95,80	93,10	4,20	6,90	1,12	1,28
1.2	100,00	95,90	93,20	4,10	6,80	1,11	1,30
1.3	100,00	95,80	92,90	4,20	7,10	1,10	1,31
2.1	100,00	97,60	93,80	2,40	6,20	1,20	1,35
2.2	100,00	97,50	93,70	2,50	6,30	1,18	1,33
2.3	100,00	97,70	94,00	2,30	6,00	1,20	1,35
3.1	100,00	94,20	91,10	5,80	8,90	1,00	1,15
3.2	100,00	94,10	91,20	5,90	8,80	1,05	1,20

3.3	100,00	94,40	91,30	5,60	8,70	1,10	1,20
4.1.1	100,00	96,50	94,00	3,50	6,00	1,15	1,30
4.1.2	100,00	96,30	94,20	3,70	5,80	1,14	1,32
4.1.3	100,00	96,40	94,10	3,60	5,90	1,15	1,34
4.2.1	100,00	97,80	94,70	2,20	5,30	1,20	1,35
4.2.2	100,00	97,90	94,60	2,10	5,40	1,22	1,36
4.2.3	100,00	97,70	94,80	2,30	5,20	1,20	1,35
4.3.1	100,00	95,20	92,80	4,80	7,20	1,05	1,20
4.3.2	100,00	95,40	92,60	4,60	7,40	1,00	1,18
4.3.3	100,00	95,30	92,50	4,70	7,50	1,05	1,21
5.1	100,00	80,60	67,30	19,40	32,70	1,00	1,15
5.2	100,00	80,50	66,30	19,50	33,70	1,02	1,17
5.3	100,00	80,90	66,80	19,10	33,20	1,01	1,13

На рисунках 3.4 та 3.5 представлені графіки залежності руйнування деревини (% мас.) після дії полум'я протягом 10 та 25 хвилин відповідно.

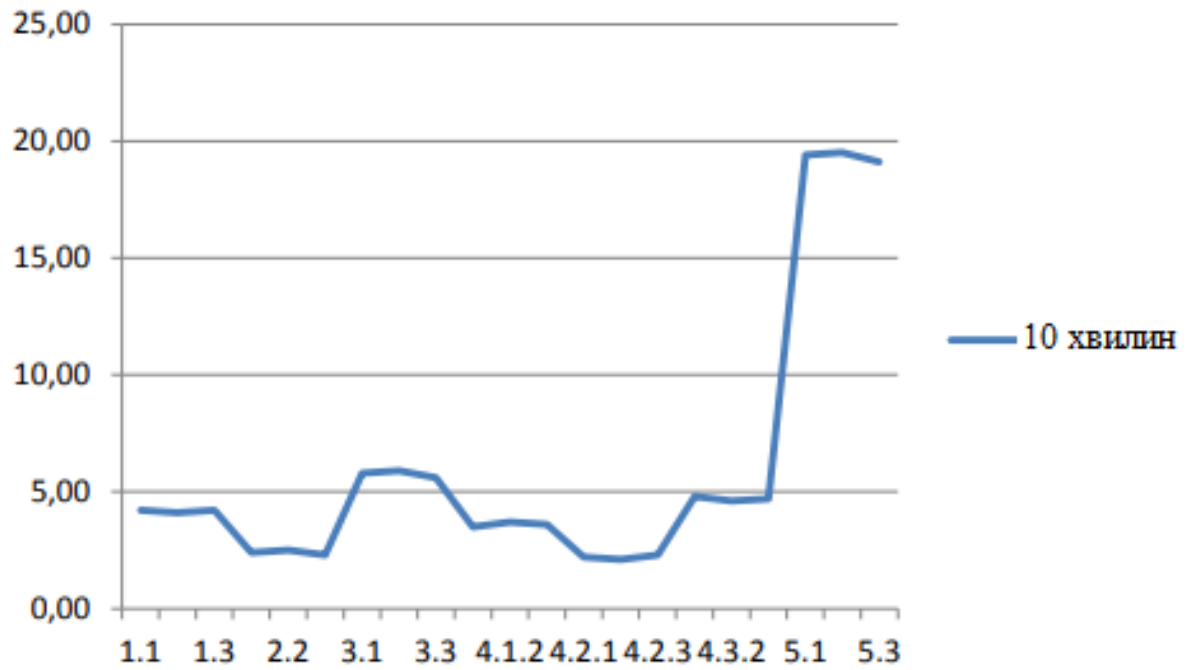


Рисунок 3.4 - Руйнювання деревини від впливу полум'я, протягом 10 хв., % (мас.)

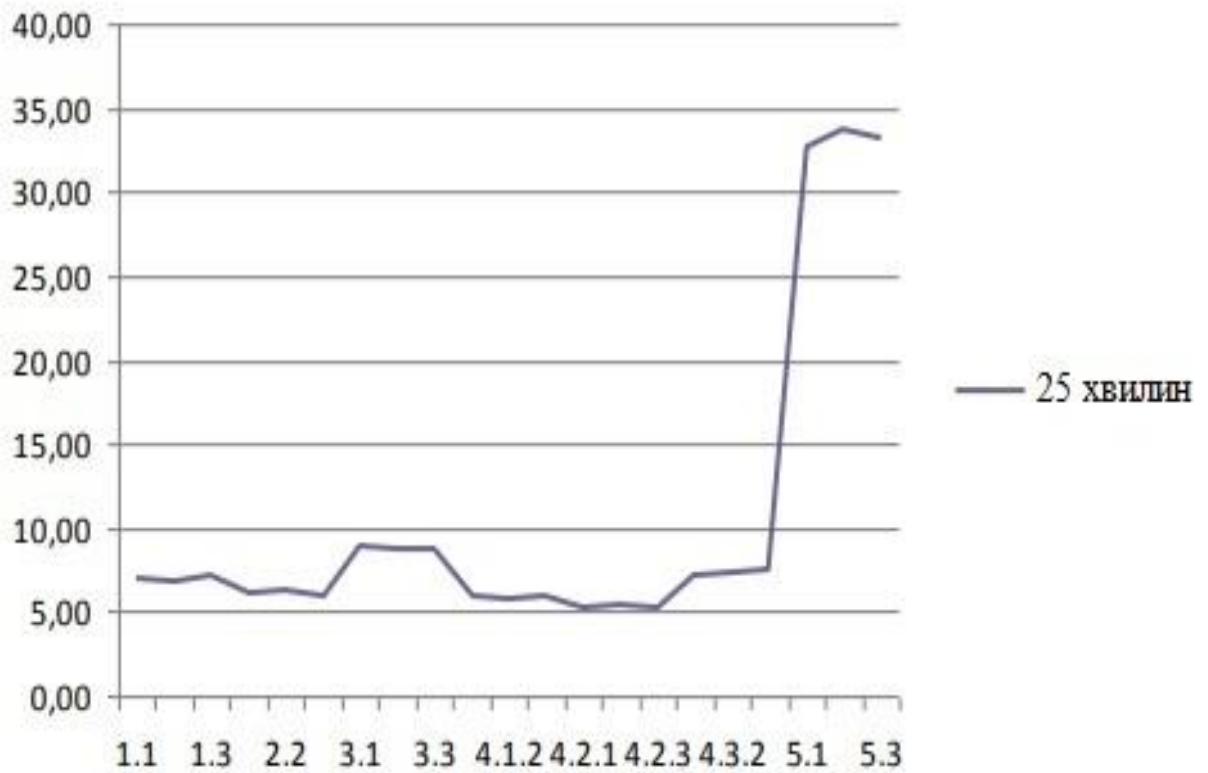


Рисунок 3.5 - Руйнювання деревини від дії полум'я, протягом 25 хв., % (мас.)

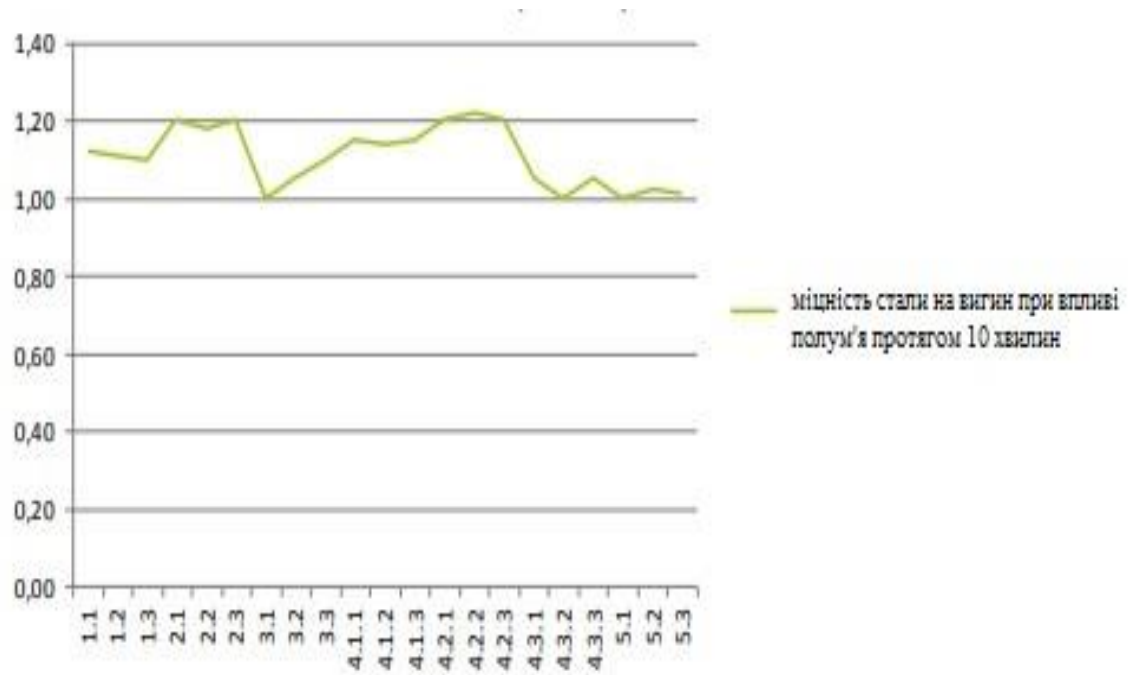


Рисунок 3.6 - Міцність сталі на вигин, при дії полум'я, протягом 10 хвилин

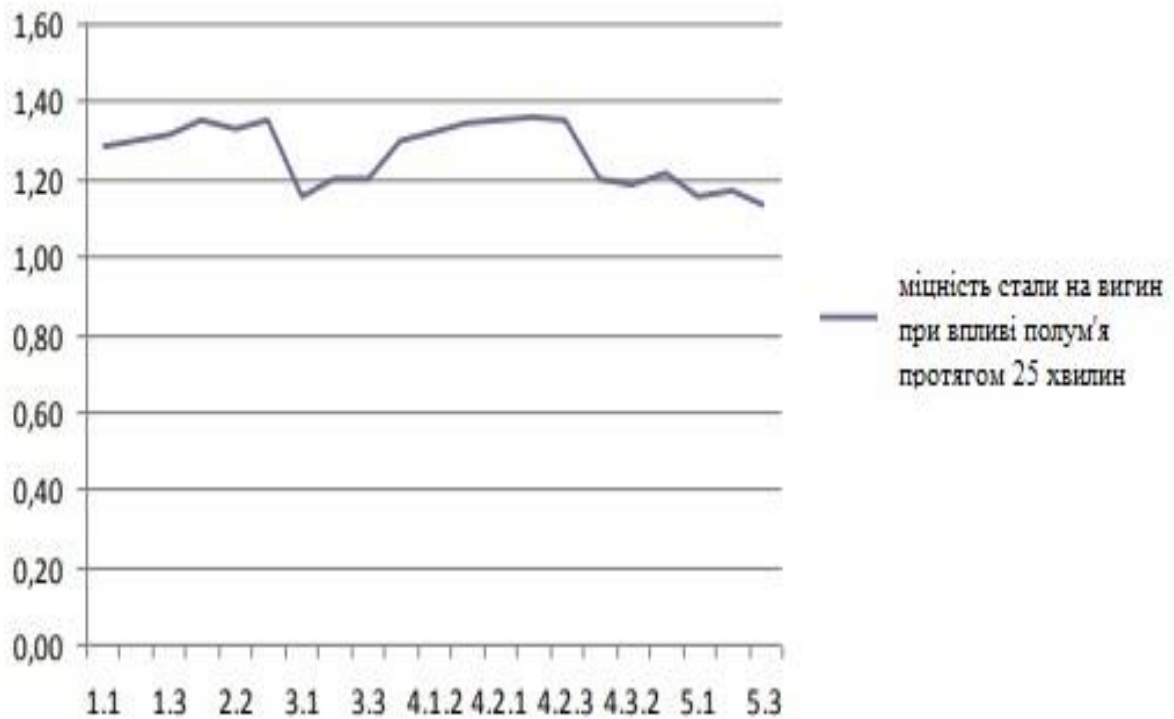


Рисунок 3.7 - Міцність сталі на вигин, при дії полум'я, протягом 25 хвилин

На рисунках 3.6 та 3.7 представлені графіки залежності міцності сталі на вигин (кН) після дії полум'я протягом 10 та 25 хв.

Результати впливу відкритого полум'я протягом 10 хвилин проби зразка №5 необробленого вогнезахисними засобами показали, що маса деревини зменшилася більш як на 19%, а протягом 25 хвилин більш ніж на 30% (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 - Результати впливу відкритого полум'я протягом 10 та 25 хвилин на проби зразка №5 необробленого вогнезахисними засобами

Проби зразка №1, з деревиною обробленої антипіреном складу «Пірилакс» внаслідок впливу відкритого полум'я протягом 10 хвилин показали руйнування за масою приблизно 4%, а протягом 25 хвилин – близько 7%.

Проби зразків №2, з деревиною обробленої антипіреном модифікованим розчином карбаміду під впливом відкритого полум'я протягом 10 хвилин зменшили масу на 2,5%, а протягом 25 хвилин на 6%.

Проби зразка №3 з деревиною обробленою антипіреном з додаванням аміаку ($\text{pH} > 7$) за впливом відкритого полум'я протягом 10 хвилин показали збільшення ступеня руйнування по масі, що склало близько 6%, а протягом 25 хвилин - 9%.

Проби зразків № 4.1, 4.2, 4.3, дерева яких була оброблена використаними в експерименті антипіренами, а металева пластина покрита функціональним покриттям для зварювання під впливом відкритого полум'я протягом 10 хвилин та 25 хвилин показали різне руйнування деревини:

№ 4.1 – деревина за 10 хвилин зруйнувалася на 3,6%, а за 25 хвилин – приблизно на 6%;

№ 4.2 – деревина за 10 хвилин зруйнувалася на 2,2%, а за 25 хвилин – приблизно на 5,4%;

№ 4.3 – деревина за 10 хвилин зруйнувалася на 4,6%, а за 25 хвилин – приблизно на 7,4%.

Таким чином, вогнезахисне просочення, модифіковане карбамідом, покращує вогнезахисні властивості деревини.

Металеві пластини у зразках, що зазнали впливу відкритого полум'я, були випробувані на міцність сталі на вигин.



Рисунок 3.9 - Металеві пластини у зразках, що зазнали впливу відкритого полум'я, після випробування на міцність стали на вигин

Сталеві пластини і деревина не оброблені антипіренами під впливом відкритого полум'я показали мінімальну міцність на вигин - 1,01 кН при 10 хвилин і 1,15 при 25 хвилин впливу полум'я.



Рисунок 3.10 - Зразки, що показали найменші та найбільші значення руйнування деревини та міцності металевих пластин на вигин

Найбільшу міцність на вигин металеві пластини показали проби зразка 4.2 (1,36 кН), оброблені функціональним покриттям, а деревина мала мінімальне руйнування при обробці модифікованим антипіреном (рисунок 3.10).

3.3 Економічні показники

В експерименті були використані елементи конструкції, що складаються із сталеві пластина 100x100x2 мм, закріплені на дерев'яному бруску 100x50x50 мм, які піддавалися температурному впливу полум'я. Для проведення експерименту було сконструйовано установку у вигляді шафи.

Для проведення експерименту було сконструйовано установку у вигляді шафи. За основу конструкції взято прилад визначення вогнестійкості модифікації ОТ - 68 (ГОСТ 15898-70). Прилад складається з металевого корпусу розміром 290x270x530 мм, в якому знаходиться пальник та стрижень для утримування зразків.

Використовувався також стандартний пальник, пропано-кисневий інжектор зі змінними наконечниками, призначений для паяння високотемпературними припоями, нагріву, плавлення та інших технологічних процесів.

Газова суміш знаходиться у балоні під тиском.

Технологічне обладнання виготовлялося до виконання цієї ВКР, терміни закінчення робіт встановлювалися у з графіком проведення експериментів. Бюджет складався виходячи з ринкової вартості товарів та послуг. Основними ризиками проекту є недотримання термінів виконання робіт.

Нині ціна визначається переважно виходячи з експертних оцінок, і навіть аналізу досвіду проведення аналогічних робіт.

Кошторисна вартість науково-дослідних та тематичних робіт визначається шляхом складання кошторисно-фінансових розрахунків та складається з основних витрат, накладних витрат, планових накопичень, компенсованих витрат, підрядних робіт та ПДВ.

Таблиця 3.4 - Кошторис витрат на виготовлення технологічного обладнання

Найменування статей витрат	витрати, %	витрати, грн
Господарські витрати, зокрема.	74	3255
витрати на придбання матеріалів (метал для виготовлення обладнання та проведення експерименту)		1840
витрати на придбання пальника		900
витрати на придбання обладнання (газовий балон)		480
оплата послуг сторонніх організацій (проведення зварювальних робіт)		350
Разом прямі витрати	74	3255
Накладні витрати	6	520
ПДВ	20	651
Усього витрат	100	4426

Оцінка робіт та матеріалів проводилася із середньої вартості подібних послуг.

Так робота зварювальника протягом 1 години становить 350 грн. Вартість металу сталь 3 завтовшки 2 мм розмірами 2500x1250 становила 1840 грн. Заправка газового балона – 480 грн, придбання пальника – 900 грн. На господарські потреби було витрачено 3255 грн. Таким чином, основну частину витрат склали господарські витрати.

акладні витрати передбачають вартість доставки обладнання та матеріалів.

Усього витрачено на виготовлення обладнання 4426 грн, ефективність та окупність даних робіт є високою, оскільки дане обладнання надалі використовуватиметься для виконання науково-дослідних робіт у рамках наукового та навчального плану.

3.4 Техніка безпеки під час виконання робіт з визначення вогнестійкості

Розміри лабораторії: довжина – 30 м, ширина – 18 м, висота – 4 м.

Матеріал стін - сендвіч панелі, матеріал підлоги та стелі - бетон та бетонні плити. Кількість віконних отворів – 4 та дверних – 3. Лабораторія займає площу, рівну 540 м².

Дослідження проводилися в окремому блоці лабораторії, призначеному для проведення експерименту щодо визначення вогнестійкості речовин та матеріалів. Довжина – 3 м, ширина – 3 м, висота – 4 м.

Для роботи застосовувалися зразки (дерев'яні бруски + металеві пластини), прилад для проведення експерименту за зразком ГОСТ 15898-70 ОТ-68 обладнаний пальником з використанням пропану, що надходить з балона, який знаходиться на металевій підставці та жорстко закріплений.

При роботі в даних умовах були виявлені такі шкідливі фактори виробничого середовища: мікрокліматичні умови робочої зони; наявність шкідливих речовин (кіптява, задимленість); освітлення [40].

Мікрокліматичні умови робочої зони.

Працюючи у лабораторії працівнику мають бути надані комфортні мікрокліматичні умови [41].

Життєдіяльність людини супроводжується безперервним виділенням теплоти у довкілля. Її кількість залежить від ступеня фізичної напруги (енерговитрат) у певних кліматичних умовах і становить від 50 Вт (у стані

спокою) до 500 Вт (при тяжкій роботі).

Для нормального протікання фізіологічних процесів в організмі тепло, яке виділяється тілом, повинно повністю відводитися в навколишнє середовище. Порушення теплового балансу може призвести до перегріву або переохолодження організму, що, у свою чергу, може викликати втрату працездатності, швидку стомлюваність, втрату свідомості та навіть теплову смерть.

Тепловий стан людини і її працездатність залежать від впливу різних параметрів мікроклімату.

До них відносяться:

- температура воздуха;
- температура поверхонь;
- відносна вологість повітря;
- швидкість руху повітря;
- інтенсивність теплового опромінення.

Переносність людиною температури та її теплові відчуття значною мірою залежить від вологості і швидкості навколишнього повітря. Чим більша відносна вологість, тим менше випаровується поту в одиницю часу і тим швидше настає перегрів організму.

Особливо несприятливий вплив на тепловий стан людини має висока вологість у поєднанні з високою температурою (більше 30°C).

Недостатня вологість повітря – несприятлива для людини через інтенсивне випаровування вологи зі слизових оболонок, їх пересихання та розтріскування, а потім забруднення хвороботворними мікробами.

Висока інтенсивність теплового опромінення (інфрачервоне випромінювання) та підвищена температура повітря можуть мати негативний вплив на організм людини. Теплове опромінення інтенсивністю до 350 Вт/м² не викликає дискомфорту, але при інтенсивності 1050 Вт/м² через 3–5 хвилин на шкірі з'являється неприємне печіння (температура шкіри підвищується на 8–10 °C). При 3500 Вт/м² за кілька секунд можуть виникнути опіки. Окрім

прямого впливу на людину, промениста теплота нагріває і навколишні конструкції, які, у свою чергу, віддають теплоту навколишньому середовищу через випромінювання та конвекцію, що призводить до підвищення температури повітря в приміщенні.

Оптимальні мікрокліматичні умови — це поєднання показників мікроклімату, які при тривалому впливі на людину дозволяють підтримувати нормальний тепловий стан організму без перенавантаження терморегуляційних механізмів, що забезпечує відчуття теплового комфорту та сприяє високій працездатності. Гранично допустима температура повітря для робіт першої категорії (легкі фізичні роботи) становить 28°C.

Працюючи з газовими пальниками на працівника можуть впливати такі небезпечні виробничі чинники:

- підвищена загазованість робочої зони;
- підвищений вміст шкідливих пар та аерозолів у повітрі робочої зони;
- небезпека отримання опіків;
- статичне навантаження на плечовий пояс;
- фізичні навантаження;
- вибухонебезпечність;
- пожежонебезпеку.

Оптимальні параметри мікроклімату у лабораторії представлені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Оптимальні параметри мікроклімату

Період року	Температура в робочій зоні, °C	Вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с	Температура поверхні, °C
Холодний період	18-20	40-60	0,2-0,3	21-25
Теплий період	21-23	40-60	0,3-0,4	17-21

Джерела виникнення шкідливих та небезпечних виробничих факторів:

- несправне лабораторне обладнання або неправильна його експлуатація;
- відсутність, несправність, неправильна експлуатація ЗІЗ;
- невиконання чи неналежне виконання працівником посадової інструкції, інструкцій з охорони праці, правил внутрішнього трудового розпорядку, локальних нормативних актів, які регламентують порядок організації робіт з охорони праці, умови праці на об'єкті.

Для створення сприятливого мікроклімату в лабораторії необхідно забезпечити ефективну, раціонально обладнану вентиляцію, кондиціонування повітря, систему опалення.

3.5 Розрахунок ступеня комфорту працюючих у лабораторії

Для оцінки поєднання параметрів мікроклімату використовують співвідношення Д. Ван-Зейлена :

$$K = 7,83 - 0,1t_{\text{пов.}} - 0,0968t_{\text{п}} - 2,8 \cdot 10^{-4}P + ,03677\sqrt{v(37,8 - t_{\text{пов.}})} \quad (3.5)$$

де $t_{\text{пов.}}$ – температура повітря в робочій зоні, °С;

$t_{\text{п}}$ - середня температура нагрітих поверхонь (променисте тепло), °С;

P - тиск водяної пари, Па;

v - швидкість руху повітря, м/с.

Для розрахунку приймемо такі параметри:

- у холодний і перехідний періоди: $t_{\text{пов.}} = 20$; $\varphi = 60\%$;
- у теплий період: $t_{\text{пов.}} = 25$; $\varphi = 60\%$.

Показник комфорту та дискомфорту До може мати такі значення:

1 – дуже жарко;

2 – занадто тепло;

- 3 – тепло, але приємно;
- 4 – комфорт;
- 5 – прохолодно, але приємно;
- 6 – холодно;
- 7 – дуже холодно.

Для теплого періоду $K = 3,14$. Це означає тепло, але приємно. Клімат у лабораторії прийнятний з гігієнічної точки зору.

Таким чином, за параметрами мікроклімату, умови в лабораторії придатні для роботи.

Ще одним з основних заходів щодо оптимізації параметрів мікроклімату в наших умовах є забезпечення належного повітрообміну.

Вентиляція - це система повітрообміну для видалення виробничих шкідливостей та створення в робочій зоні повітряного середовища, що відповідає санітарним нормам. Вона використовується для боротьби з надлишковим теплом, вологою, шкідливими газами, парами та пилом.

Кондиціювання - найбільш досконалий вид промислової вентиляції; він призначений для створення оптимальних метрологічних умов у виробничих приміщеннях.

Кондиціювання повітря - це його автоматична обробка з метою підтримки у виробничих приміщеннях заздалегідь заданих параметрів мікроклімату незалежно від їх зміни із зовні та технологічних режимів усередині приміщення. Кондиціонери можуть бути місцевими (для обслуговування окремих приміщень) та центральні (для обслуговування кількох окремих приміщень).

Аналіз освітленості приміщення.

Мала освітленість негативно позначається на точності, якості робіт та продуктивності. Дослідження показують, що з хорошому висвітленні продуктивність праці підвищується приблизно 15 %.

Основні вимоги та значення нормованої освітленості робочих поверхонь викладено у ДБН В.2.5-28:2018 «Природне та штучне освітлення».

При освітленні приміщень використовують природне освітлення (створюване прямим сонячним промінням і розсіяним світлом небосхилу), штучне освітлення (створюване електричними джерелами світла) і поєднане освітлення (при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюють штучним).

До джерел світла, що випускаються нашою промисловістю, відносяться лампи розжарювання, люмінесцентні лампи і ртутні лампи.

Основними показниками, що визначають вибір світильника при проектуванні освітлювальної установки, слід вважати: конструктивне виконання світильника з урахуванням умов середовища, світлорозподіл світильника та його економічність.

Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення горизонтальної робочої поверхні виконують шляхом коефіцієнта використання світлового потоку.

Величина світлового потоку лампи визначається за такою формулою:

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot Z}{n \cdot \eta}, \quad (3.6)$$

де Φ - світловий потік кожної лампи, лм;

E – мінімальна освітленість, лк, $E=300$ лк для загального освітлення;

k - коефіцієнт запасу, $k=1,5$ для приміщень із малим виділенням пилу;

S – площа приміщення, м²;

Z - коефіцієнт нерівномірності освітлення, $Z=0,9$ для світильників із люмінісцентними лампами;

n – число ламп у приміщенні;

η – коефіцієнт використання світлового потоку, $\eta = 47\%$.

Звідси:

$$n = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot Z}{\eta \cdot \Phi}. \quad (3.7)$$

Для світильників типу ОД із лампою ЛБ $\Phi=7445$ лм.

Площа ділянки, що проектується, становить 9 м².

$$n = \frac{300 * 1.5 * 9 * 0.9}{0.47 * 7445} = 1.04$$

Приймаємо кількість світильників, що дорівнює n=1 шт.

Згідно з проведеними розрахунками, система освітлення лабораторії повинна складатися з 1 дволампового світильника типу ОД з люмінесцентними лампами ЛБ потужністю 125 Вт, що відповідає кількості світильників у лабораторії.

До термічних небезпек і пожежонебезпечностей слід віднести отримання опіків та можливість виникнення пожежі та вибуху в лабораторії при проведенні дослідження.

Джерелами цього виду небезпек є наявність газового пальника та балона з пропаном. Засобами захисту є безпечна організація робочого місця та експлуатації обладнання.

Механічні небезпеки та небезпека отримання електротравми може виникнути за загальних причин не дотримання правил безпеки обладнання, що знаходиться в лабораторному корпусі.

Основним об'єктом захисту під час проведення робіт є повітря. Очищення забрудненого повітря і газів, що виділяються при технологічних процесах і викидаються в атмосферу, від шкідливих твердих, рідких і газоподібних домішок, що містяться в них, є основним способом охорони повітряного середовища від забруднення.

Для очищення повітря, що викидається з лабораторії, в навколишнє середовище достатньо проводити уловлювання пилу, продуктів горіння і газоподібних домішок із забрудненого повітря. У системі вентиляції передбачено встановлення з масляним фільтром EF-3000-4-4.6с. для очищення повітря, що викидається від забруднень.

Пил, проходячи через лабіринт отворів (разом з повітрям), що утворюються кільцями або сітками, затримується на їхній змоченій масляним

розчином поверхні. У міру забруднення фільтра кільця та сітки промивають у содовому розчині, а потім покривають олійною плівкою. Ефективність фільтрів цього типу становить $95 \div 98 \%$.

3.6 Висновки з третього розділу :

Досліджено методи вогнезахисту металевих конструкцій, які безпосередньо контактують із горючими матеріалами, такими як деревина. Доведено, що максимальна міцність на вигин досягається у сталевих зразків, коли на їх поверхню наноситься функціональне покриття для зварювання, а деревина обробляється модифікованим антипіреном.

Географічне розташування та кліматичні умови практично виключають виникнення надзвичайних ситуацій пов'язаних із повінню та землетрусом.

Від можливих стихійних лих у вигляді урагану або бурі будівля надійно спроектована відповідно до технічної документації з проектування та експлуатації будівель та споруд у цій місцевості.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. У цій роботі було проаналізовано статистичні дані щодо пожеж в Україні з 2017 р. 2021 р. та виявлено, що найбільша кількість пожеж припадає на будівельні споруди з використанням металевих конструкцій.

2. Розглянуто теоретичні та практичні способи вогнезахисту металевих конструкцій і деревини, причому основу способів вогнезахисту сталевих конструкцій становить утворення на поверхні плівок, що створюють при високих температурах пористий об'ємний теплоізолюючий шар, а дія антипіренів для захисту деревини заснована на їх термічному розкладі. поверхні теплозахисного шару – пінококса.

3. Виявлено способи вогнезахисту металевих конструкцій, що знаходяться в безпосередньому контакті з горючою речовиною (дервиною) і доведено, що найбільшу міцність на вигин мають сталеві зразки при створенні на сталевій поверхні функціонального покриття для зварювання та просоченні деревини модифікованим антипіреном.

4. Розглянуті умови роботи в експериментальній лабораторії за станом мікроклімату відповідають нормативам, як рекомендацію, обґрунтовану розрахунком, запропоновано схему штучного освітлення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2018.
2. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2019.
3. ДБН В.1.1-7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги».
4. Новак С. В., Григор'ян Б. Б., Нефедченко Л. М., Абрамов О. О. Оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій та виробів. Методи випробувань: навч. посіб. Черкаси: АПБ, 2011. 124 с.
5. ДСТУ-Н Б.В.2.6-211:2016 Проектування сталевих конструкцій. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість.
6. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1993-1-2:2005, IDT).
7. ДСТУ Б В.1.1-4-98* «Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробування на вогнестійкість».
8. ДСТУ Б В.1.1-17-2007 «Захист від пожежі. Вогнезахисне покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності (ENV 13381-4:2002, NEQ)».
9. Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд, затверджений Постановою Кабінету Міністрів України від 20 грудня 2006 р. № 1764.
10. Розрахунок сталевих конструкцій на вогнестійкість відповідно до Єврокоду 3. Практичний посібник до ДСТУ-Н EN 1993-1-2:2010. Український Центр Сталевого Будівництва. Київ, 2016. 81 с.
11. СТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі (EN 1991-1-2:2002, IDT).
12. Шналь Т. М. Вогнестійкість та вогнезахист металевих конструкцій:

навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. 176 с.

13. ДБН В.1.2-7-2008 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд пожежна безпека».

14. ДСТУ Б В.1.1-13:2007 (EN 1365-3:1999, NEQ). СТУ Б В.1.1- 13:2007 (EN 1365-3:1999, NEQ). Захист від пожежі. Балки. Метод випробування на вогнестійкість.

15. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва. 2. Директива № 89/106/ЄЕС Ради ЄС про зближення законодавчих, нормативних і адміністративних положень держав-членів ЄС відносно будівельних матеріалів. Міжнародний документ від 21.12.1988 № 89/106/ЄЕС.

16. Захарченко П. В., Гавриш О. М., Карпенко О. О., Петухов О. М. Технологія та товарознавство систем сухого будівництва: вогнезахист будівельних конструкцій. Навч. посіб. КНУБА. Київ: «СПД Павленко», 2012. 392 с.

17. Осипенко В. І., Поздєєв С. В., Тищенко І. Ю. Будівельні матеріали та їх поведінка при дії високих температур: Навч. посіб. Черкаси: 2012. 202 с.

18. Васильченко О. В., Квітковський Ю. В., Луценко Ю. В., Миргород О. В. Безпека експлуатації будівель і споруд та їх поведінка в умовах надзвичайних ситуацій: Навч. посібник. Харків : НУЦЗУ, 2010. 372 с.

19. Беліков А. С., Маладика І. Г., Борсук О. В. Підвищення вогнестійкості металевих конструкцій як шлях забезпечення вогнезахисту будівель. *Збірник наукових праць. Пожежна безпека: теорія і практика* № 18/2014 с. 38-42.

20. Пушкаренко А. С., Василенко О. В., Квітковський Ю. В., Луценко Ю. В., Миргород О. В. Вогнезахисне оброблення будівельних матеріалів і конструкцій: Навч посіб. Харків: НУЦЗУ, КП «Міська друкарня», 2011. 176 с.

21. Вахітова Л.М. Захист металевих будівельних конструкцій від впливу корозії й вогню / Л.М. Вахітова, П.О. Фещенко, М.П. Лапушкін, К.В. Калафат // Будівництво України. 2007, 2. С. 8-12

22. ДСТУ Б В.1.1-17:2007 (ENV 13381-4:2002, NEQ) Вогнезахисні

покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності.

23. Новак С. В., Григор'ян Б. Б., Нефедченко Л. М., Абрамов О. О. Оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій та виробів. Методи випробувань: навчальний посібник. Черкаси: АПБ, 2011. 124 с.

24. Steel Market developments: Q2 2020. Directorate for science, technology and innovation steel committee. OECD. 8 June, 2020. 49p.

25. Avendaño J.I. Utilization of BIM in Steel Building Projects: A Systematic Literature Review. / J.I. Avendaño, S. Zlatanova, A. Domingo, P. Pérez, C. Correa // *Buildings*/ 2022, 12 P. 713.

26. Демчина Б. Г., Пелех А. Б., Олексин Г. М., Сурмай М. І. Поведінка дощатоклеєних колон за місцевого впливу температури. *Вісн. Нац. ун-ту «Львів. політехніка»*. 2009. № 655. С. 71-74. Бібліогр.: 3 назв. укр.

27. Пелех А. Б., Демчина Б. Г., Шналь Т. М., Була С. С., Крочак О. В. Натурні випробування конструкції дерев'яної рами на вогнестійкість в умовах реальної пожежі. *Вісн. Нац. ун-ту «Львів. політехніка»*. 2008. № 627. С. 167-171. Бібліогр.: 4 назв. укр.

28. Summary of the fire protection foundation report - fire safety challenges of tall wood buildings. URL: <https://firescien>. (дата звернення 05.01.2025 р.)

29. Змага Я. В. Розрахунковий метод підвищеної точності для оцінки межі вогнестійкості дерев'яних балок з вогнезахисним просоченням: автореф. дис. ... канд. тех. наук: спец. 21.06.02 «Пожежна безпека». Харків, 2016.

30. Демешок В. В. Розрахунковий метод оцінки вогнестійкості дерев'яної плити перекриття за допомогою методу кінцевих елементів. *Науковий вісник: цивільний захист та пожежна безпека*. 2016. № 2. С. 6774.

31. Putri S. O., Firmansyah. The Efficiency of Steel Material as Buildings Construction. *IOP Conference Series // Materials Science and Engineering*/ – 2020, 879(1), 012148.

32. Будинки і споруди. Жилові будинки. Основні положення. ДБН В.2.2-15-2005. [Чинні від 01.01.2006] Держбуд України від 18.05.2005 № 80 45

с. (Державні будівельні норми України).

33. Passive Fire Protection Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Intumescent Coatings, Cementitious Materials), By Application (Construction, Warehousing), And Segment Forecasts, 2020 – 2027 // Market Analiz Report. 2020. 115p.

34. Жартовський В. М., Цапко Ю. В., Соколенко К. І., Ліхньовський Р. В. Дослідження з підвищення ефективності застосування вогнезахисної деревини. *Науковий вісник УкрНДПБ*. 2006. № 1(13). С. 55-58.

35. Passive Fire Protection Global Market Report 2024. URL : <https://www.researchandmarkets.com/reports/5741455/passive-fire-protection-global-market-report> (дата звернення 05.01.2025 р.)

36. Захист від пожежі. Балки. Метод випробування на вогнестійкість (EN 1365-3:1999, NEQ) ДСТУ Б В.1.1-13:2007 [Чинні від 01.01.2008] Мінрегіонрозвитку та будівництва України від 22.06.2007 № 64. 6 с. (Національний стандарт України).

37. Захист від пожежі. Колони. Метод випробування на вогнестійкість (EN 1365-4:1999, NEQ) ДСТУ Б В.1.1-14:2007 [Чинні від 01.01.2008] Мінрегіонрозвитку та будівництва України від 22.06.2007 № 63. 6 с. (Національний стандарт України).

38. Захист від пожежі. Перекриття та покриття. Метод випробування на вогнестійкість (EN 1365-2:1999, NEQ) ДСТУ Б В.1.1-20:2008.

39. Новак С. В., Нефедченко Л. М., Абрамов О. О. Методи випробувань будівельних конструкцій та виробів на вогнестійкість. Київ: Пожінформтехніка, 2010. 132 с.

40. Матеріали будівельні. Методи випробувань на горючість: ДСТУ Б В.2.7.-19-95 (ГОСТ 30244-94).

41. Матеріали будівельні. Метод випробування на займистість: ДСТУ Б В.1.1-2-97(ГОСТ 30402-96). 28 с.

42. Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на

конструкції під час пожежі (EN 1991-1-2:2002, IDT) ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010, [Чинний від 01.07.2013] Мінрегіонбуду України від 27.12.2010 р. № 549. 74 с. (Національний стандарт України).

43. Єврокод 5. Проектування дерев'яних конструкцій. Частина 1-2. Загальні правила. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1995-1-2:2004, IDT) ДСТУ-Н Б EN 1995-1-2:2012 [Чинний від 01.07.2013] Мінрегіонбуду України від 21.12.2012 р. № 652. 90 с (Національний стандарт України).

44. Будинки і споруди. Підприємства торгівлі. ДБН В. 2.2-23:2009 [Чинні від 01.07.2009] Мінрегіонрозвитку та будівництва України від 16.01.2009. №4. 59 с. (Державні будівельні норми України).

45. Будинки і споруди. Культурно-видовищні та дозвілєві заклади. ДБН В 2.2-16-2005. [Чинний від 01-04-2006] Держбуд України від 27.09.05 № 171. 20 с. (Державні будівельні норми України).

46. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів.Номенклатура показників і методи їхнього визначення Класифікація.

47. Будинки і споруди. Будинки та споруди навчальних закладів. ДБН В.2.2-3-97. Основні положення. [Чинний від 27-06-1996] Держкоммістобудування України від 6.08.97 р., 37 с. (Державні будівельні норми України).

48. Будинки і споруди. Заклади охорони здоров'я. ДБН В.2.2-10-2001. Основні положення. [Чинний від 04-01-2001]. Держбуд України від 01.04.2001 № 2. 45 с. (Державні будівельні норми України).

49. Будинки та споруди. Підприємства харчування. ДБН В.2.2-25- 2009. Основні положення. [Чинний від 01-09-2010]. Міністерство регіонального розвитку та будівництва від 30.12.2009 № 703. 85 с. (Державні будівельні норми України).

50. Будинки та споруди. Спортивні та фізкультурно-оздоровчі споруди. ДБН В.2.2-13-2003. Основні положення. [Чинний від 01-03-2004]. Держбуд України від 10.11.2003 № 184. 105 с. (Державні будівельні норми України).

51. Будинки та споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення. ДБН В.2.2-28-2010. Основні положення. [Чинний від 01-102011]. Міністерство регіонального розвитку та будівництва від 30.12.2010 № 570. 28 с. (Державні будівельні норми України).

52. Наказ МНС України від 02.07.2007 № 460 «Про затвердження Правил з вогнезахисту» [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon2>.

53. Беліков А. С., Борсук О. В., Тарасов С. С., Дзецина Є. В. Перспективи підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій*: матеріали VIII Міжнар. наук.-практ. конф. Черкаси: ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2017. С. 171-172.

54. Поздєєв С. В., Нуянзін О. М., Борсук О. В., Неділько І. А., Федченко С. М. Вивчення стану втрати вогнестійкості сталевих балок з вогнезахисним мінераловатним облицюванням. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист*: матеріали X Всеукр. наук.-практ. конф. Черкаси: ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2020. С. 120-122.

55. Поздєєв С. В., Нуянзін О. М., Борсук О. В., Неділько І. А. Дослідження цілісності вогнезахисного мінераловатного облицювання сталеві балки в умовах пожежі. *Енергоефективність на транспорті*: міжнар. наук.-практ. конф. Харків: УкрДУЗТ, 2020. С. 98-100.

56. Пушкаренко А. С., Васильченко О. В. Будівельні матеріали та їх поведінка в умовах високих температур: навчальний посібник [для студ. вищ. навч. закл.]. Харків: АПБУ, 2001. 166 с.

57. Цапко Ю. В., Соколенко К. І. Оцінювання експлуатаційної надійності вогнезахищеної деревини. *Пожежна та техногенна безпека України*: Міжнар. наук.-практ. конф., Київ: УкрНДІПБ, 2005. С. 51.

58. Соколенко К. І. Підвищення ефективності протипожежного захисту об'єктів із застосуванням вогнезахищеної деревини: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 21.06.02 «Пожежна безпека». Київ, 2005. 22 с.

59. Поздєєв С. В., Нуянзін О. М., Сідней С. О., Новгородченко А. Ю.,

Борсук О. В. Дослідження нагрівання сталевих двотаврових стержнів із мінераловатним вогнезахисним облицюванням в умовах стандартного температурного режиму пожежі. *Геотехнічна механіка*. 2020. № 152. С. 116 - 126.

60. Некора О. В. Розрахунково-експериментальний метод визначення вогнестійкості стиснутих елементів залізобетонних будівельних конструкцій: дис. . канд. техн. наук: 21.06.02. Черкаси, 2008. 147 с.

61. British Standards Institution, BS EN 1991-1-2, Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-2: General actions. Actions on structures exposed to fire, London, November 2002.

62. Шналь Т. М. Вогнестійкість та вогнезахист дерев'яних конструкцій: навчальний посібник [для студ. вищ. навч. закл.]. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2006. 220 с.

63. Фещук Ю. Л., Поздєєв С. В., Ніжник В. В., Борис О. П., Долішній Ю. В. Методика експериментальних досліджень поведінки дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням та без нього в умовах пожежі. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. Київ. 2017. № 1 (3). С. 98-103.

64. Борсук О. В., Дзецина Є. В. Ніздрюваті бетони як будівельний матеріал з ефективною вогнезахисною здатністю. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист*: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф. Черкаси: ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2016. С. 97-98.

65. Пушкаренко А. С., Васильченко О. В. Будівельні матеріали та їх поведінка в умовах високих температур. Харків: АПБУ, 2001. 166 с.

66. ANSYS, ANSYS 9.0 Manual Set, ANSYS Inc., Southpoint, 275 Technology Drive, Canonsburg, PA 15317, USA.

67. Konig J.A design model for load-carrying timber frame members in walls and floors exposed to fire/Proceedings of CIB W18. Meeting 33. Paper 3316-1, 2000.

68. Leong Poon J. P. Literature review on the contribution of fire resistant timber constructions to heat release rate / Warrington fire research. WFRA Project

No.20633. Version 2b. 77 p.

69. Bednarek Z., Kaliszuk-Wietecka A.: Scientific research on the influence of fireproof wood preservation carried out by the vacuum-pressure method on strength of wood in normal and elevated temperatures. Proceedings of the 8th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques, Vilnius 2004, 19-21 May, P. 963-967.

70. Silk G.W.L. and Shields T.G. Relating Char to Fire Severity Conditions. Fire and Materials, 25, 9-11, 2001.

71. Gerhards Ch. C. Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: An analysis of immediate effects. Wood and Fiber 2007, 14(1): 4-36.