

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд і технологій
(повна назва факультету)
Будівельної механіки
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістра

(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження підвищення вогнестійкості залізобетонних
будівельних конструкцій за допомогою тонкошарових вогнезахисних
покриттів

Виконав: студент 6 курсу, групи МБ_{нм}-61
спеціальності 192

Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

_____ Алексєєв О.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Сорочак А.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____ Данильченко С. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри _____ Ясній В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра будівельної механіки

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ясній В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Алексєєву Олександрю Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження підвищення вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій за допомогою тонкошарових вогнезахисних покриттів

Керівник роботи к.т.н., доц. Сорочак Андрій Петрович

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

Затверджені наказом ректора від « 26 » лютого 20 21 року № 4/7-148

2. Термін подання студентом завершеної роботи «24» травня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи Клас бетону – С30/35. Клас арматури – А400С. Температурний режим пожежі – стандартний за ДБН В.1.2-7:2008.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Огляд літератури за темою досліджень. Методика експериментальних досліджень.

Вибір методу моделювання та програмного забезпечення. Дослідження вогнестійкості незахищених залізобетонних елементів. Дослідження вогнестійкості залізобетонних елементів з тонкошаровими вогнезахисними покриттями. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Вогнестійкість типових залізобетонних елементів конструкцій. Необхідність підвищення вогнестійкості. Методи підвищення вогнестійкості з/б елементів. Класифікація тонкошарових вогнезахисних покриттів. Особливості застосування тонкошарових вогнезахисних покриттів. Методика моделювання. Вогнестійкість незахищених залізобетонних елементів.

Вогнестійкість залізобетонних елементів з тонкошаровими вогнезахисними покриттями.

Ефективність використання тонкошарових вогнезахисних покриттів.

Висновки та рекомендації.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н., доц. Каспрук В.Б.		
Безпека в надзв. ситуаціях	ст. викл. Стручок В.С.		
Нормоконтроль	ст. викл. Данильченко С.М.		

7. Дата видачі завдання _____ «1» березня 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою досліджень	12.03.2019	
2	Мета і завдання дослідження	20.03.2021	
3	Вибір методу моделювання та програмного забезпечення	25.03.2021	
4	Побудова розрахункової моделі	08.04.2021	
5	Аналіз результатів дослідження вогнестійкості незахищених залізобетонних елементів	18.04.2021	
6	Аналіз результатів дослідження вогнестійкості залізобетонних елементів з тонкошаровими вогнезахисними покриттями	28.04.2021	
7	Ефективність використання тонкошарових вогнезахисних покриттів	05.05.2021	
8	Охорона праці	10.05.2021	
9	Безпека в надзвичайних ситуаціях	15.05.2021	
10	Загальні висновки та рекомендації	18.05.2021	

Студент

_____ (підпис)

Алексєєв О.О.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Сорочак А. П.

_____ (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	5
Розділ 1 ВОГНЕСТІЙКІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	8
1.1 Проблема забезпечення вогнестійкості залізобетонних конструкцій і необхідності її підвищення.....	8
1.2 Різновиди вогнезахисту залізобетонних конструкцій.....	9
1.3 Явище вибухового руйнування бетону при пожежі	12
1.4 Методи підвищення вогнестійкості залізобетонних конструкцій.....	16
1.5 Узагальнення результатів відомих робіт та постановка задач для власних досліджень.....	20
1.6 Висновки за розділом 1.....	22
Розділ 2 МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	23
2.1 Способи оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій.....	23
2.2 Розрахунок вогнестійкості залізобетонних конструкцій за класичними та експериментальними підходами	24
2.3 Методика визначення вогнестійкості	26
2.4 Вогнезахисні покриття як визначний чинник вогнестійкості залізобетонних конструкцій	29
2.5 Програмні пакети для визначення вогнестійкості	32
2.6 Висновки за розділом 2.....	34
Розділ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	36
3.1 Опис обраного способу розрахунку.....	36
3.2 Характеристики залізобетонної конструкції та джерела вогню	36
3.3 Результати показів температури при пожежі.....	38
3.4 Результати показів температури при пожежі з урахуванням тонкошарового вогнезахисного покриття.....	44
3.5 Вплив тонкошарового покриття на прогрівання залізобетону.....	48
3.6 Вплив тонкошарового покриття на забезпечення міцності та протидії вибуховому руйнуванню при пожежі.....	51

3.7	Висновок за розділом 3.....	52
Розділ	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ	
4	СИТУАЦІЯХ.....	53
4.1	Охорона праці	53
4.1.1	Перелік основних правових та законодавчих документів України про охорону праці.....	53
4.1.2	Охорона праці при монтажі вогнезахисного покриття.....	55
4.2	Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	56
4.2.1	Основні причини пожеж будівель і споруд.....	56
4.2.2	Небезпека руйнування конструкцій під дією температури.....	56
4.2.3	Евакуація та поведінка людей при пожежі.....	57
	ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК	59
	БІБЛІОГРАФІЯ	60

ВСТУП

Залізобетон - найпоширеніший матеріал в будівництві. Це комбінація бетону і сталеві арматури, раціонально розміщеної по довжині конструкції. Бетон добре працює на стиск, арматура – на розтяг. В умовах пожежі конструкції та складові виготовлені з цього матеріалу втрачають несучу здатність здебільшого через зниження міцності нагрітої арматури, випаровування води з бетону та зміни фізико-хімічного складу цементу. Дотримання пожежної безпеки будівлі потребує збільшення вогнестійкості залізобетонних конструкцій. Сучасні напрямки визначення конструктивних параметрів вогнестійкості базуються на методиці комп'ютерного моделюючого експерименту.

Актуальність теми роботи в особливості прогріву при пожежі залізобетонних конструкцій з урахуванням спучування тонкошарового вогнезахисного покриття.

Виявленні особливості формування та подальшої деструкції при дії пожежі на тонкошарове вогнезахисне покриття як основного фактора, що визначає вогнезахисну ефективність цих покриттів.

Виявленні ефекту забезпечення стійкості залізобетонних конструкцій проти вибухового руйнування при дії пожежі при нанесенні на їх поверхню тонкошарових вогнезахисних покриттів, що спучуються.

Мета й задачі роботи. Метою роботи є вивчення можливостей підвищення вогнестійкості залізобетонних конструкцій за допомогою тонкошарових вогнезахисних покриттів. Для досягнення поставленої мети в роботі потрібно вирішити такі *задачі*:

- вибрати один з поширених класів конструктивних бетонів та один клас арматури для досліджень вогнестійкості;
- розробити модель для дослідження вогнестійкості типових залізобетонних елементів (колони, балки, перекриття) з використанням програмного комплексу Pyrosim;

- виконати розрахунок та проаналізувати характеристики вогнестійкості незахищених конструкцій та конструкцій з вогнезахистом за допомогою тонкошарових покриттів;
- надати рекомендації щодо практичного застосування вогнезахисту.

Об'єктом дослідження є вогнестійкість залізобетонних конструкцій.

Предметом дослідження є вогнезахисна ефективність тонкошарових покриттів залізобетонних конструкцій.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети за існуючими інформаційними джерелами зроблено огляд нормативної бази та досліджень інших авторів за тематикою роботи, виконано їх аналіз, розглянуто класичні розрахункові методики натурного та (використано) комп'ютерного моделюючого експерименту.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано за напрямком наукових досліджень кафедри будівельної механіки ТНТУ.

Наукова новизна одержаних результатів:

- отримала подальший розвиток методика комп'ютерного моделювання вогнестійкості залізобетонних конструкцій за допомогою тонкошарових вогнезахисних покриттів;
- встановлено розподіл температури у конструкціях при дії стандартної пожежі без вогнезахисту та при використанні тонкошарових захисних покриттів.

Практичне значення одержаних результатів. Практична значимість роботи полягає:

- в методиці оцінки вогнезахисної ефективності тонкошарових покриттів стосовно залізобетонних конструкцій;
- в результатах оцінки вогнезахисної ефективності тонкошарових покриттів;
- в оцінці стійкості залізобетонних конструкцій з конструктивних бетонів проти вибухового руйнування при пожежі.

Апробація результатів магістерської роботи. Результати роботи оприлюднені на IV Міжнародній студентській науково-технічній конференції ТНТУ «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання», 23-24 квітня 2021 р., м. Тернопіль.

Публікації. Результати роботи опубліковано в збірнику тез доповідей IV Міжнародної студентської науково-технічної конференції ТНТУ «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання», 23-24 квітня 2021 р., м. Тернопіль, О. Алексєєв, «Способи підвищення вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій за допомогою тонкошарових вогнезахисних покриттів».

Ключові слова: залізобетон, вогнезахист, тонкошарові вогнезахисні покриття, вогнестійкість.

РОЗДІЛ 1

ВОГНЕСТІЙКІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

1.1 Проблеми забезпечення вогнестійкості залізобетонних конструкцій і необхідності її підвищення

Важливою тенденцією розвитку інженерного комплексу України є зростання обсягу будівництва мостових конструкцій, гідротехнічних споруд, банківських сховищ, адміністративних об'єктів, цілих житлових комплексів із використанням залізобетонних виробів: колон, ригелів, балок, чаш басейнів та інших конструкцій.

При виготовленні такого роду об'єктів широке застосування знаходять конструкційні бетони (клас міцності С30/35). Застосування яких дозволяє проектувати конструкції з меншим перетином, що призводить до зниження загальної ваги споруди та витрат на будівництво.

Разом з тим, для забезпечення потрібних характеристик вогнестійкості залізобетонних конструкцій такого роду об'єктів до 150-180 і більше хвилин, зазвичай доводиться збільшувати в конструкціях товщину захисного шару бетону робочої арматури до 50-70 мм.

Таке збільшення товщини захисного шару бетону зводить нанівець позитивні якості високоміцних бетонів, оскільки призводить до збільшення маси конструкції, а також до зменшення площі внутрішніх приміщень.

Конструктивні бетони також мають такий істотний недолік, як схильність до вибухоподібного руйнування при дії пожежі. Таке руйнування бетону в умовах пожежі може призводити до зменшення робочого перетину конструкції і вельми істотного зниження її вогнестійкості.

При впливі полум'я пожежі бетон з вологістю 3,5% і більш схильний до вибухоподібного руйнування. Воно проявляється як відкол від нагрітої поверхні конструкції шматків бетону площею до 1 м² і товщиною до 0,05 м [4]. Руйнування бетону може тривати протягом усього вогневого впливу до повного руйнування

конструкції. Відкол шматків бетону призводить до оголення несучої арматури, прогрів якої здатний приводити до настання граничного стану конструкції.

Рекомендації щодо запобігання вибухового руйнування бетонних конструкцій передбачають заходи в частині внесення до структури залізобетону певних наповнювачів, спеціальних металевих сіток, що запобігають відколу значних шматків. Застосування даних заходів тягне зміна рецептури залізобетону, що може відбитися на його міцності властивості. Також дані заходи не запобігають прямого впливу полум'я пожежі на бетон.

Відомий ряд способів збільшення вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій, враховуючи й той, про який йдеться вище, нарощення товщини захисного шару бетону до робочої арматури і різного роду облицювання. Однак застосування цих способів має перелік суттєвих недоліків — збільшення маси конструкцій, виникнення додаткового навантаження на несучі конструкції, скорочення корисної площі приміщень будівлі.

Тому дослідження та розвиток способів підвищення меж вогнестійкості залізобетонних конструкцій, позбавлених цих недоліків, є актуальним завданням.

У даній роботі розглядається напрямок вирішення цього завдання, пов'язаний з припущенням про те, що спеціальні тонкошарові вогнезахисні покриття залізобетонних конструкцій, що спучуються при пожежі, можуть бути ефективним способом підвищення меж вогнестійкості залізобетонних конструкцій.

Передбачається також, що подібні спучені склади для залізобетонних конструкцій повинні підвищити стійкість бетону проти вибухового руйнування в умовах пожежі, не створюватимуть додаткових навантажень на несучі конструкції і приведитимуть до зменшення внутрішньої площі приміщень будівлі або споруди.

1.2 Проблеми забезпечення вогнестійкості залізобетонних конструкцій і необхідності її підвищення

Залізобетонні конструкції широко використовуються у будівлях і спорудах різного призначення. За вимогами протипожежної безпеки вони потребують ефективного вогнезахисту.

Завдяки дотриманню вимог бетонні стіни, перекриття, елементи каркасу довше чинять опір термічному впливу, не деформуючись і, відповідно, не перетворюючись на джерело загрози для мешканців. Піддаючись впливу температур конструкції стають крихкими, від них відколюються шматки, що може призвести до повного руйнування об'єкта. Це пояснюється властивостями бетону.

При температурі вище 250-300 °С руйнується цементна структура, а коли вона досягає 500 °С, зерна кварцу, що містяться в піску і щебені, переходять в іншу модифікацію, і їх обсяг збільшується [10]. Термічний вплив змінює розміри арматури всередині бетону; волога, яка міститься в матеріалі, під дією вогню закипає і провокує вибухові відколювання окремих шматків. При гасінні пожежі водою утворюються великі тріщини, викликані різницею в тепловій деформації того чи іншого елемента.

В практиці проектування не завжди вдається забезпечити рівність фактичної межі вогнестійкості конструкції відповідно до нормативних документів в галузі пожежної безпеки. В даному випадку можливі два варіанти вирішення проблеми. Перший - підвищити межу вогнестійкості залізобетонної конструкції за рахунок збільшення захисного шару бетону, тобто конструкцію зробити більш масивною і важкою. Другий варіант - застосувати вогнезахисні покриття, які не збільшують масивність конструкції, а також не створюють додаткової ваги [1]. .

Таким чином фахівці виділяють два різновиди вогнезахисту: пасивний та конструктивний. Пасивний захист передбачає використання тонкошарових захисних складів (водні, розчинні та епоксидні фарби). Це найпростіший метод вогнезахисту залізобетону. При нагріванні тонкошарові покриття спучуються тим самим займають більше місця в просторі. В результаті утворюється щільний

пористий захисний шар, який має дуже низьку теплопровідність. Такі покриття не обтяжують конструкцію, легко наносяться, не викидають токсичних речовин завдяки високим температурам. Кращі суміші здатні забезпечити захист бетону від впливу відкритого полум'я протягом 150 хвилин. Вони ефективно перешкоджають поширенню вогню і диму та допомагають локалізувати загоряння.

Під конструктивним вогнезахистом розуміють підвищення вогнестійкості конструкцій, виготовлених з бетону, за допомогою облицювання вогнетривкими панелями, спеціальною штукатуркою та бетонуванням.

Сукупність границь вогнестійкості конструкцій будівель та споруд визначає його здатність опору впливу факторів вогню. Межа вогнестійкості конструкції – це часовий відрізок від старту вогневого впливу в умовах стандартних випробувань до настання одного з нормованих для даної конструкції граничних станів [1]. Існують наступні основні різновиди граничних станів будівельних конструкцій з вогнестійкості [8]:

- граничний стан за ознакою втрати несучої здатності (умовне літерне позначення **R**);
- граничний стан за ознакою втрати цілісності (умовне літерне позначення **E**);
- граничний стан за ознакою втрати здатності ізолювання тепла (умовне літерне позначення **I**).

Як правило, залізобетонні конструкції висотних і унікальних об'єктів відповідно до нормативних документів повинні мати межу вогнестійкості REI 150-REI 240 [1].

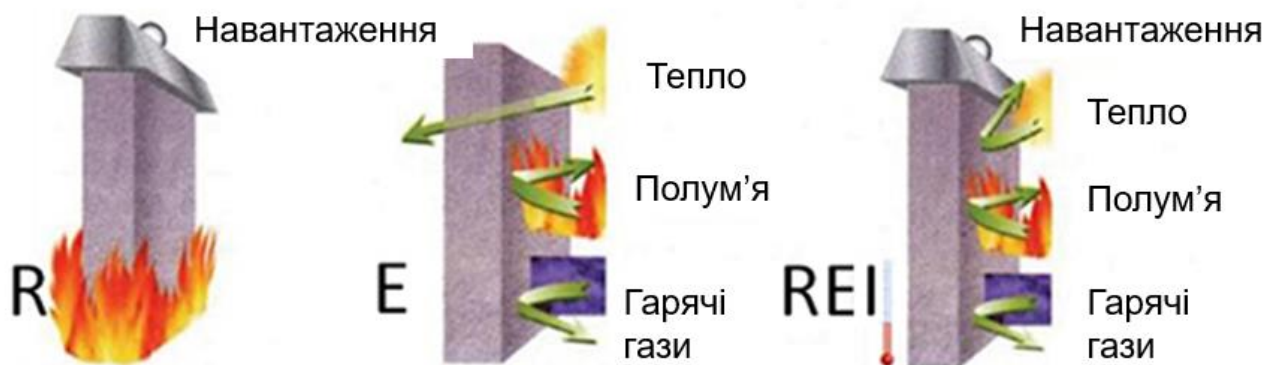


Рисунок 1.1 – Граничні стани з вогнестійкості [7].

Більшість залізобетонних конструкцій має необхідну межу вогнестійкості завдяки наявності захисного шару бетону до несучої арматури. Залізобетонні плити перекриття і колони з товщиною захисного шару бетону 25-35 мм мають межі вогнестійкості від REI 60, R 60 до REI 90, R 90. Для підвищених меж вогнестійкості REI 240 товщину захисного шару залізобетонних плит необхідно забезпечити не менше 70 мм, а для колон - 55 мм. Для висотних будівель товщина захисного шару бетону в 70 мм призводить до зменшення площі внутрішніх приміщень і збільшення маси конструкцій. Поряд з цим відбувається додаткове збільшення масивності несучих конструкцій [21].

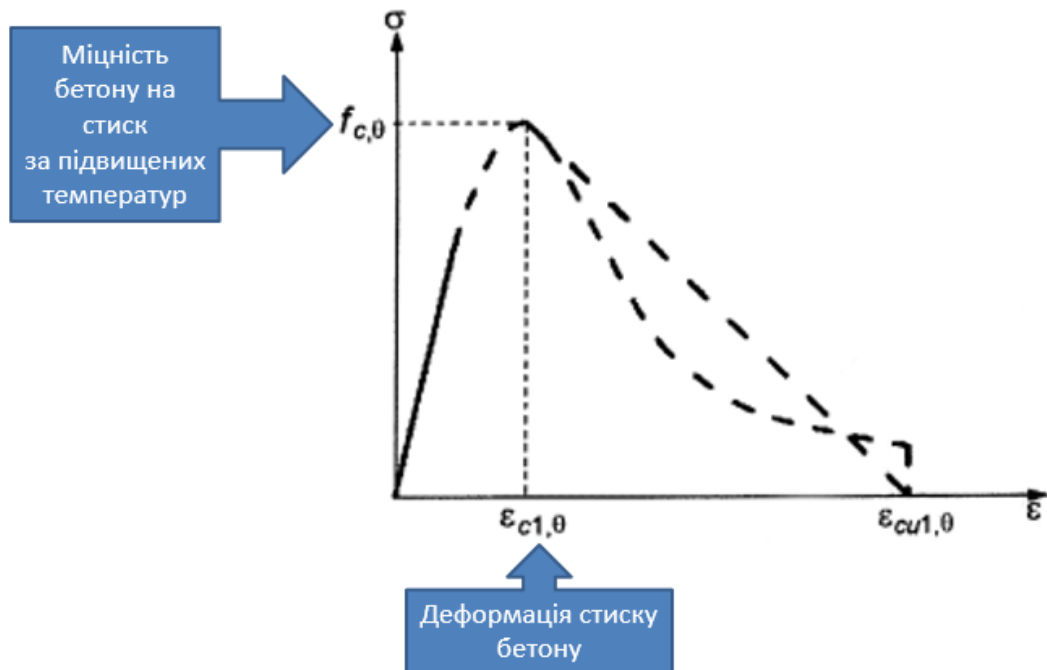


Рисунок 1.2 – Діаграма «напруження-деформація» бетону за підвищених температур [7]

1.3 Явище вибухового руйнування бетону при пожежі і його вплив на вогнестійкість залізобетонних конструкцій

Найчастішим негативним впливом пожежі на залізобетон по праву вважається момент, коли матеріал нагрівається під дією високої температури. В цей час відбувається «зневоднення» бетону - випаровування хімічно зв'язаної води,

що знаходяться між частинками силікатного гелю цементного каменю. Внаслідок «зневоднення» залізобетон втрачає свою міцність. Армура при нагріванні теж змінює свої характеристики й не може працювати на розтяг, адже відбуваються втрати міцності.

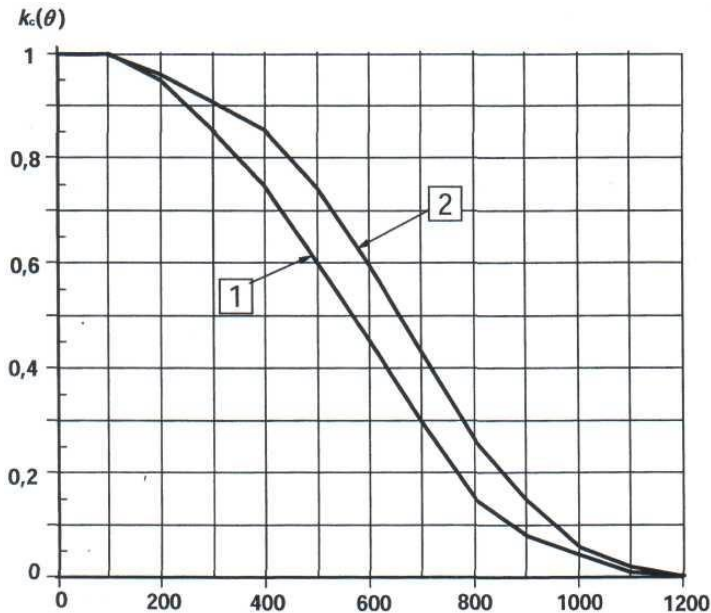


Рисунок 1.3 – Графік зниження міцності бетону при нагріванні [18]

1 – бетон на силікатному заповнювачі; 2 – бетон на карбонатному заповнювачі

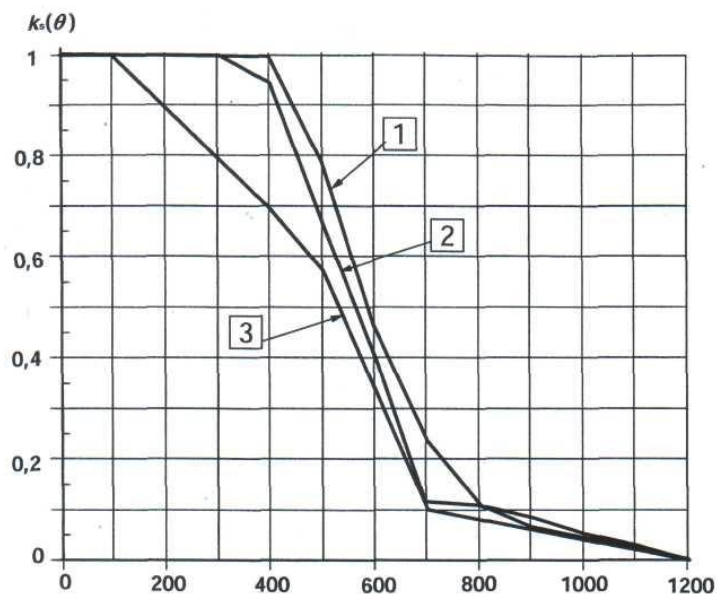


Рисунок 1.4 – Графік зниження міцності армури при нагріванні [18]

1 – розтягнута армура (горячекатана) для деформацій $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$; 2 – розтягнута армура (холоднодеформована) для деформацій $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$; 3 – стиснута та розтягнута армура для деформацій $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$.

Необхідність збільшення вогнестійкості залізобетонних конструкцій може бути обумовлена також виникненням в ряді випадків незвичайного небезпечного явища, яке в науковій літературі отримало назви: «вибухове руйнування бетону», або ж «крихке руйнування бетону» [15].

Явище можна описати як: вибухоподібне руйнування бетону, що починається на 5-15 хвилинах вогневого впливу. Процес руйнування бетону супроводжується звуковим ефектом у вигляді вибухоподібних ударів і тріска різної інтенсивності, при цьому спостерігається відкол від нагрітої поверхні конструкції фрагментів бетону у вигляді пластин площею до $0,005 \text{ м}^2$ і розліт їх на відстань до 15 м.

Відкол від конструкції великих (іноді до декількох квадратних метрів) частин бетону відбувається на всій поверхні впливу полум'я або на окремих його ділянках. При цьому в ряді випадків оголюється арматура й утворюються наскрізні отвори. Конструкція може повністю зруйнуватися через 15-60 хвилин взаємодії з небезпечним впливом вогню. Це руйнування має місце при дії полум'я на суцільні і багат шарові залізобетонні стіни, перекриття, балки, колони і ферми (рис. 1.1).



Рисунок 1.5 – Наслідки негативного впливу високих температур при пожежі

При відколі шматків елементів конструкцій внаслідок впливу вогню на залізобетонні колони, ребристі плити і балки частково оголюється арматура, прогрів якої призводить до передчасного руйнування конструкцій.

Відкол від елементів конструкції відбувається у вигляді невеликих пластинок площею до 7 см², глибиною до 0,5 см або шматків конусоподібної форми з оголенням арматури. Даний вид руйнування, як правило, не є небезпечним, так як практично не впливає на межу вогнестійкості конструкцій.

В результаті аналізу літературних джерел, вдалося встановити, що на руйнування бетону при пожежі впливає його вологість. Існує гранична «критична» вологість 3,5% для звичайного бетону з гранітним заповнювачем, тому процес руйнування бетону залежить від товщини елемента [13]. При нагріванні в бетоні протікають комплексні теплофізичні і механічні процеси з не вивченими повністю зв'язками між температурою, вологістю, напруженнями, деформаціями, властивостями бетону і технологіями його виготовлення.

Прогрес будівельної науки дозволив значно скоротити витрату матеріалів в залізобетонних конструкціях при збереженні їх міцності та інших властивостей на необхідному рівні. З'явилася велика кількість тонкостінних, попередньо напружених конструкцій, широко застосовуються монолітні залізобетонні конструкції, в яких твердіння бетону відбувалося в умовах зовнішньої атмосфери. При цьому підвищена вологість бетону зберігається чимало часу, протягом якого може статися пожежа, здатний спровокувати процес вибухового руйнування.

Також на руйнування бетону впливає арматура, зовнішнє навантаження і товщина виробів. Під арматурою при виготовленні конструкцій спостерігається утворення тріщин, які отримують розвиток при температурному впливі. Крім того, якщо виріб до його нагріву отримує ще й зовнішнє навантаження, подібне стиску, то довжина початкових тріщин неодноразово збільшиться.

При невеликій товщині виробів і високій вологості бетону під час нагріванні елемента з двох сторін відбувається збільшення $\text{grad } t$ [20]. Підвищення витрати цементу в одиниці об'єму бетону або заміна щільного заповнювача на пористий сприяє збільшенню початкової вологості бетону і його руйнування при нагріванні. Велике значення температурного градієнта, наприклад, 250 °C/см [20], може бути причиною руйнування бетону при довжині тріщини в його структурі, яка дорівнює

всього 4 мм, якщо рівноважна вологість бетону при цьому дорівнює або більша його сорбційної вологості ($W_B > W_C$).

Таким чином, в результаті виникнення вибухового руйнування залізобетонних конструкцій при впливі вогню, вогнестійкість, будівельних залізобетонних конструкцій різко знижується і часто може не задовольняти вимогам норм. Це відбувається в результаті швидкого прогрівання їх поперечного перерізу, робочої арматури або появи наскрізних отворів в елементах огорожень, сприяють повного руйнування, а також поширенню пожежі в суміжні приміщення. Руйнування бетону при пожежі може чинити фізичний, психологічний вплив на людей і приводити до збільшення кількості людських жертв.

Вогневий вплив на залізобетонні елементи конструкцій може привести до наступних основних наслідків: а) зниження механічних властивостей бетону і арматури; б) руйнування бетону внаслідок його розтріскування або відколів (наприклад, захисного шару); в) утворення температурно-усадочних і силових тріщин; г) втрати попереднього напруження арматури; д) погіршення умов спільної роботи бетону та арматури [25].

1.4 Методи підвищення вогнестійкості залізобетонних конструкцій

Коли залізобетон піддається впливу високих температур, виникають різні явища в результаті хімічних та фізичних перетворень. Ці явища можуть впливати, як на бетон, так і на арматуру (ДБН В.1.1.7—2016) [2]:

- До 100 °С: просте розширення (коефіцієнт розширення бетону: $1 \cdot 10^{-5}$).
- Від 100 °С: з пор випаровується вода.
- Від 150 до 180 °С: гідратаційна вода додається гідроксиду кальцію.
- Від 400 до 500 °С: гідроксид кальцію руйнується відповідно до реакції:

$\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$. Водяна пара може викликати локальне лускання.

- Близько 570 °С: спонтанна фазова зміна кварцу.
- Близько 700 °С: Фази силікату кальцію розкладаються.

- Приблизно 800 °С: нейтралізація вапняку (гранулатів) починається відповідно до реакції: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$.
- Від 1150 до 1200 °С: бетон починає плавитися.
- Вище 1300 до 1400 °С, бетон - розплавлена маса.

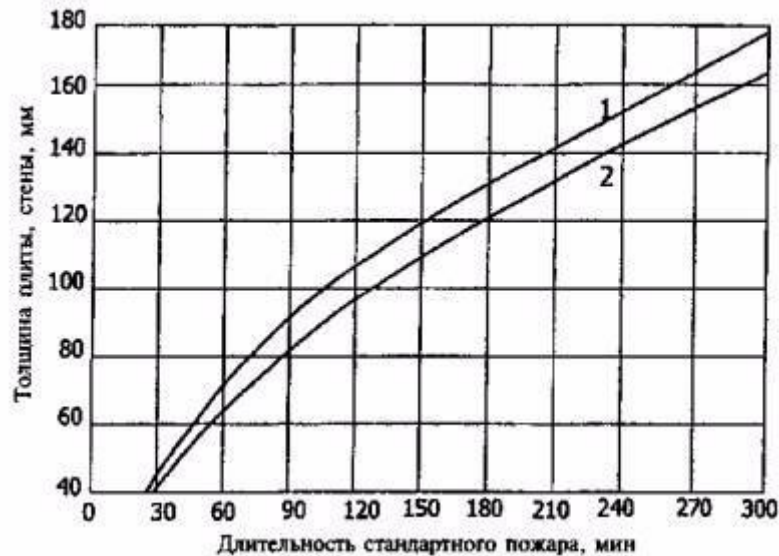


Рисунок 1.6 – Межі вогнестійкості з урахуванням товщин плит та стін [18].

В залежності від температур яким буде протидіяти залізобетон існує ряд методів і засобів для підвищення меж вогнестійкості конструкцій. У практиці будівництва застосовується кілька способів пасивного вогнезахисту, а саме: збільшення товщини бетону, застосування штукатурних покриттів, встановлення екранів й облицювання, нанесення тонкошарових покриттів. У кожного з наведених способів вогнезахисту залізобетонних конструкцій існують свої позитивні і негативні моменти.

- Збільшення товщини захисного шару

Використання способу підвищення вогнестійкості залізобетонних конструкцій шляхом збільшення товщини захисного шару дозволяє розширити межу вогнестійкості залізобетонних конструкцій (більше 180-240 хвилин) [5].

Однак існує ряд недоліків при цьому методі підвищення вогнестійкості конструкцій. Зокрема, висока міцність зв'язку бетонного покриття з поверхнею конструкції, що захищається в цьому випадку відіграє негативну роль, така

міцність кордону розділу фаз з поверхнею, що захищається не перешкоджає поширенню і розвитку внутрішніх тріщин від покриття до залізобетону. На окрему увагу заслуговує той факт, що даний спосіб вогнезахисту значно ускладнює і збільшує геометричні розміри несучих конструкцій, і в ряді випадків є неприйнятним, наприклад, для висотних будівель. Також до недоліків такого виду вогнезахисту можна віднести необхідність армування бетонного покриття (це пристрій опалубки для кожного виду конструкції, значний час схоплювання бетону перед розпалубкою, відновлення технологічних отворів).

- Застосування облицювань і штукатурок

Застосування цього способу вогнезахисту залізобетонних конструкцій також у вигляді листових і плитних облицювань і екранів дозволяє підвищити межу вогнестійкості залізобетонних конструкцій до 180-240 хвилин [5].

Дані матеріали найкраще використовувати для вогнезахисту конструкцій нескладної конфігурації (в основному перегородок).

Перевагою є технологічність механічного кріплення до конструкцій, незалежність від стану нанесених раніше покриттів, за рахунок нещільного прилягання до поверхні конструкції забезпечується стік води.

Однак є ряд недоліків, які обмежують застосування листових і плитних облицювань і екранів, в першу чергу, слід віднести до них великі рівні необхідних товщин вогнезахисту, складність герметизації швів, високий рівень паропроникності (що може призвести до зміни властивостей вогнезахисту) [4]. .

Варто відзначити і те, що листи вогнезахисту встановлюються за допомогою кріпильних металевих елементів, які теж необхідно захищати від впливу високих температур. Такий вид вогнезахисту не може служити підкладкою для влаштування додаткового обладнання, наприклад, освітлення, відеоспостереження.

Найголовнішим недоліком волокнистих вогнезахисних покриттів можна вважати олеофільність - здатність поглинати пари горючих рідин, масел [5]. В атмосфері деяких виробництв міститься безліч парів горючих рідин та пилу, здатних адсорбуватися в волокнах вогнезахисних покриттів. Залежно від їх

концентрації, протягом певного часу відбувається накопичення перерахованих вище речовин. У разі виникнення пожежі, дані вогнезахисні покриття будуть служити джерелом поширення горіння, а також їхня вогнезахисна ефективність буде знижена.

До більш сучасних видів вогнезахисту можна віднести полегшені штукатурні вогнезахисні склади на сполучному гідравлічного типу твердіння. Покриття на основі цих складів покликані забезпечувати межу вогнестійкості конструкцій із залізобетону до 4 годин. Це можуть бути і оброблення транспортних тунелів, конструкції будь-якої конфігурації, що експлуатуються в атмосфері з підвищеною вологістю і вмістом оксидів азоту і вуглецю при значних перепадах температур.

Переваги перед раніше розглянутими видами вогнезахисту наступні: достатні механічна міцність і міцність зв'язку з основою, тривалий термін експлуатації, можливість нанесення на поверхні складної форми, можливість забарвлення гідрофобними, декоративними та іншими складами, стійкість до дії атмосфери, води, миючих розчинів, можуть служити підкладкою для влаштування додаткового обладнання (освітлення, спостереження і т.п.).

До недоліків слід віднести великий рівень товщини, що є неприйнятним, наприклад, для висотних будівель, додаткове нанесення захисних складів на поверхню для додання певних властивостей, збільшена витрата покривних складів за рахунок шорсткої поверхні, додатково створюються навантаження на несучі конструкції будівлі, трудовитрати по влаштуванню таких покриттів. Щільність таких покриттів досягає 500-1000 кг/м³.

- Застосування тонкошарових покриттів в якості вогнезахисту бетону

Тонкошарові вогнезахисні покриття розроблялися, як правило, для підвищення вогнестійкості металевих конструкцій. У 90-ті роки ХХ століття такі покриття починають застосовуватися і в якості вогнезахисту деревини та матеріалів на її основі.

Тонкошарові вогнезахисні покриття при нагріванні збільшують товщину початкового шару в 10-50 разів. Ефективність таких покриттів визначається тим, що для захисту поверхні досить нанести тонкий шар, наприклад, в 1-2 мм. При

впливі температур пожежі покриття утворює пористий шар товщиною в кілька сантиметрів. Цей спінений шар покриває поверхню, що захищається, заповнює отвір і щілини, ізолюючи полум'я пожежі, ускладнює прогрівання поверхні конструкції [9]. Коефіцієнт спучування покриття залежить не тільки від природних властивостей матеріалу, а й від умов його нагрівання (максимальної температури і швидкості її збільшення). Причиною спучування і створення пористості служить виділення водяної пари або газу при високих температурах. Діапазон температур, при яких починає спучуватися покриття, знаходиться в межах 160-350 °С.

1.5 Узагальнення результатів відомих робіт та постановка задач для власних досліджень

Дослідженням і обґрунтуванням меж вогнестійкості різних залізобетонних конструкцій присвячені численні роботи вчених і випробувачів [25, 26, 31, 32, 35]. Серед робіт найчастіше зустрічаються способи збільшення й оцінки вогнестійкості залізобетону будівельних конструкцій (Мілованов А.Ф., Ройтман М Д., Приступок Д.Н., Яковлев А.І., Жуков В.В., Соломонов В.В., Мешалкін Є.А., Страхов В.Л., Голованов В.І., Mohsen A. S., Mohammad A. B., Mohammad G. B. та ін.). У цих роботах відзначається, що при впливі температур пожежі на бетон, в ньому відбуваються різні фізичні і хімічні процеси.

У ряді робіт [7, 13-18, 25-28, 30-39] відзначається, що під впливом температур пожежі в цементному камені можуть розвиватися як позитивні, так і деструктивні процеси. До позитивних (структуроутворюючих) процесів можна віднести реакції додаткової гідратації, збільшення обсягу твердої фази, зміцнення структурних зв'язків окремих мінералів. До деструктивних - розвиток внутрішньої напруги від дії температурних деформацій цементного каменю, негідратованих зерен клінкеру, градієнтів вологості у напрямку теплового потоку, загальною усадкою системи при нагріванні. Внаслідок чого структура порового простору цементного каменю змінюється або в напрямку зменшення загального обсягу пір і їх середнього розміру, або в бік збільшення цих параметрів.

У комплексі досліджень професора В. М. Ройтмана [25, 26, 31, 32] зазначалося, що вибуховий руйнування бетону відбувається в межах розвитку внутрішнього тиску від 8 до 17 МПа, по часу протягом 5-10 хвилин від початку впливу температур «стандартної пожежі». Наведені значення тиску є критичними для бетону. На основі цих результатів була розроблена методика з розрахунку бетонних і залізобетонних конструкцій на можливість прояву вибухового руйнування бетону, надано рекомендації щодо захисту від цього прояву.

Однак застосування цих способів, в тому числі збільшення товщини захисного шару бетону до робочої арматури і різного роду обшивок має ряд істотних недоліків збільшення маси конструкцій, виникнення додаткового навантаження на несучі конструкції, скорочення корисної площі приміщень будівлі.

У зв'язку з цим пошук, дослідження та розвиток способів підвищення меж вогнестійкості залізобетонних конструкцій, позбавлених цих недоліків, є актуальним завданням й сьогодні.

У практиці будівництва все більший інтерес викликають можливості підвищення вогнестійкості конструкцій за рахунок застосування спеціальних тонкошарових вогнезахисних (спучених при пожежі) покриттів.

Слід зазначити, що перераховані вище рекомендації більш теоретичні і не завжди зможуть запобігти настанню вибухового руйнування бетону при дії пожежі. Таким чином, виникає необхідність розробки методів і засобів щодо збільшення вогнестійкості залізобетонних конструкцій й попередження вибухового руйнування.

У даній роботі ми розглянемо напрямок вирішення одного з завдань вогнестійкості, пов'язаного з припущенням про те, що спеціальні тонкошарові покриття, що спучуються при пожежі, можуть бути ефективним способом підвищення меж вогнестійкості залізобетонних конструкції. Передбачається також, що такого роду покриття повинні підвищити стійкість бетону проти вибухового руйнування в умовах пожежі, не створюватимуть додаткових

навантажень на несучі конструкції і не приводитимуть до скорочення внутрішньої площі приміщень будівлі або споруди.

Результати проведених математичних моделювань позитивно вплинуть на забезпечення вимог пожежної безпеки при будівництві, реконструкції, переплануванні об'єктів різного призначення.

Висновки за розділом 1

1. Основною небезпекою і загрозою для залізобетонних конструкцій при пожежі є різке зменшення вогнестійкості, що врешті може призвести до тріщин в бетоні, ослаблення арматури, та деформацій в балках, колонах, перекриттях й іншому.

2. Застосування результатів вже виконаних раніше досліджень в областях вогнестійкості залізобетону, підвищення його характеристик вогнетривкості та пожежної безпеки дозволяє ще на стадії проектування з великою долею ймовірності забезпечити необхідний рівень вогнестійкості несучих конструкцій протягом усього майбутнього терміну експлуатації, але при цьому має ряд суттєвих негативних чинників.

3. Створення способів оцінки вогнестійкості об'єктів з урахуванням часу і умов експлуатації конструкцій, математичного й графічного моделювання й розрахунків є надзвичайно важливим напрямом розвитку теорії вогнестійкості. Але в даний час такі моделювання або не враховується в сучасному нормуванні пожежної безпеки, або використовуються дуже рідко. Це фактично призводить до недооцінки реальної небезпеки пожежі для об'єктів, що мають значні рівні зносу в умовах експлуатації.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

2.1 Способи оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій

Перед тим як обирати необхідну методику для визначення вогнестійкості потрібно пам'ятати той факт, що різні залізобетонні конструкції працюють з різними навантаженнями. Таким чином стрижневим несучим залізобетонним конструкціям (колонам, балкам, фермам і т.д.) характерно наступ межі вогнестійкості лише за ознакою втрати несучої здатності. У площинних (плоских) несучих залізобетонних конструкціях (плит перекриття, внутрішніх і зовнішніх стін) межа вогнестійкості настає, в основному, за ознакою втрати несучої здатності і тільки в деяких випадках – через втрату теплоізолювальної здатності.

Для обчислення вогнестійкості будівельних конструкцій використовують експериментальні і розрахункові методи.

Експериментальні способи дають змогу прямої та безпосередньої оцінки вогнестійкості будівельної конструкції, але при цьому вимагають досить значних матеріальних, фінансових і трудових витрат, займають багато часу. Крім того, в рамках фізичного експерименту важко або неможливо в необхідному ступені варіювати різні параметри конструкцій, навантажень і інших важливих чинників.

Значно необхіднішими вважаються розрахункові методики оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій. Ці методики можна розділити на наступні:

- розрахунок теплоти в різних частинах конструкції;
- частина математично-статистична, де визначають міцність й несучу здатність, що правда в умовах високих температур



Рисунок 2.1 – Експериментальний метод перевірки залізобетону на вогнестійкість [26]

Розрізняють два види розрахункових методів:

- методи, засновані на використанні математичних моделей теплового і напруженого станів будівельних конструкцій [6];
- номограмні методи (з використанням таблиць та графіків). За методами, заснованими на математичних моделях, розв'язанням прямої задачі теплопровідності визначають розподіл температури в конструкції в різні моменти часу від початку вогневого впливу [6].

В обох типах розрахункових методів отримані величини температури порівнюються з їхніми допустимими значеннями. Виконуючи розрахунки за допомогою математичних моделей, використовують ряд понижувальних коефіцієнтів на властивості матеріалів. Проте необхідно зазначити, що вони не враховують багатьох важливих факторів (повзучість, усадка, фізична і геометрична нелінійність, реальні діаграми розтягу і стиску за дії температури).

2.2 Розрахунки вогнестійкості залізобетонних конструкцій за класичними та експериментальними підходами

До найбільш поширених на теренах України методів вирішень статичної частини завдання за класичним розрахунковим підходом відносять: метод критичних температур, розроблений в 1966 році [24], метод приведеного перетину (1975), метод критичних деформацій (1987) [25]. Дані методи внесли вагомий внесок в розвиток теорії вогнестійкості будівельних конструкцій. На їх основі розроблялися рекомендації щодо визначення вогнестійкості залізобетонних конструкцій, що застосовуються і по сьогоднішній день. Вони в достатній мірі відповідали вимогам свого часу, але наука ХХІ століття має значно ширше коло повноважень, ніж у 60-ті-70-ті роки минулого століття.

Швидкий розвиток комп'ютерних технологій призвів до можливості миттєвого розрахунку складних інженерних завдань, уникаючи багатьох припущень. З цього можна вважати, що на сьогоднішній день досі важливим залишається покращувати методику скінчених елементів та, відхід від таких недоліків застарілих способів розрахунку як:

- завдання по замовчуванню сталої схеми граничних станів конструкції, тому що неможливо відслідкувати зміни температурно-силового деформування;
- ототожнення граничного станів малих частин конструкції з більшими частинами тієї ж конструкції;
- використання коефіцієнтів, формул дуже вузької спеціалізації, що призводить до неможливості власноруч розрахувати необхідне, а отже провокує потрібність в приватних інженерних установах;
- не враховування зчеплення бетону з арматурою.

Головним чином, перераховані недоліки обумовлені тим, що цілком апробовані формули та закони для визначення міцності і опору при звичайній кімнатній температурі погано транспоновані на такі ж формули для середовищ з високими температурами.

Серед експериментальних підходів до розрахунку в теперішній Україні для визначення ступеня вогнестійкості будь-якої залізобетонної конструкції (колон, балок, підлог, покриттів, перегородок) із вогнезахисним покриттям певної товщини необхідно проводити щоразу пожежу-випробування на опір. Наприклад, для перекриттів випробування проводяться згідно з [2], для колон - [3]. Це робиться для того, аби обране значення товщини вогнезахисного покриття забезпечувало нормоване значення ступеня вогнестійкості.

Такий підхід випробування вимагає значних матеріальних та фінансових витрат, оскільки кожна конструкція з різними значеннями товщини вогнезахисного покриття та захисного шару бетону повинна бути випробувана для визначення ступеня вогнестійкості.

Тому в цій магістерській роботі буде застосовано розрахунковий метод-дослідження з використанням моделювання в програмі ПК Pyrosim.

2.3 Методика визначення вогнестійкості

Методика знаходження межі вогнестійкості залізобетонних конструкцій визначається за признаками втрати несучої здатності «R». Для її обчислення можливо користуватися різними методами описаними в пункті 2.2. Один з можливих та часто вживаних способів є розрахунок елементів з використанням таблиць користуючись Євро кодами.

У розділі 5 EN [21] встановлені мінімальні розміри та відстані від поверхні елемента до центра ваги найближчого до неї ряду арматури (захисний шар бетону плюс половина діаметра арматурного стрижня) для різних типів конструктивних елементів при впливі вогню протягом 30, 60, 90, 120, 180 і 240 хвилин. Також наведені деякі вимоги по конструювання.

Розглядаються такі елементи, як колони, несучі й не несучі стіни, балки (шарнірно оперті і нерозрізні), плити (шарнірно оперті і нерозрізні, одно- і двопрольотні, суцільні і ребристі, а також плоскі).

Табличні значення застосовні до бетону на кремнеземистих заповнювачах щільністю в діапазоні 2000-2600 кг/м³. Якщо використовується легкий заповнювач, табличні значення мінімальних розмірів плит і балок можуть бути знижені на 10%.

Єврокод вимагає пристрою приповерхневого армування для запобігання руйнуванню захисного шару бетону, якщо відстань від поверхні елемента до центра ваги найближчого до неї ряду арматури (осьовий відстань) перевищує 70 мм.

Обґрунтування табличних даних. Таблиці розроблені за емпіричною основою, на базі загальноєвропейського досвіду і теоретичної оцінки результатів випробувань. Дані для звичайних типів конструктивних елементів отримані з використанням наближених і консервативних припущень.

Таблиця 2.1 – Мінімальні розміри колони та відстань до осі арматури для колон прямокутного та круглого перерізів [15]

Нормована вогнестійкість Standard Fire resistance	Мінімальні розміри, мм. Ширина колони/ відстань до осі робочої арматури, b_{min}/a Minimum dimensions (mm) Column width b_{min} /axis distance a of the main bars			
	Колона, що піддається впливу більше ніж з однієї сторони Column exposed on more than one side			Піддається впливу з однієї сторони Exposed on one side
	$\mu_{fl}=0,2$	$\mu_{fl}=0,5$	$\mu_{fl}=0,7$	$\mu_{fl}=0,7$
1	2	3	4	5
R 30	200/25	200/25	200/32 300/27	155/25
R 60	200/25	200/36 300/31	250/46 350/40	155/25
R 90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40**	155/25
R 120	250/40 350/35	350/45** 450/40**	350/57** 450/51**	175/35
R 180	350/45**	350/63**	450/70**	230/55
R 240	350/61**	450/75**	-	295/70

Якщо товщина стін і плит відповідає мінімальним розмірам, можна припустити, що критерії по цілісності та ізоляції для розділової функції задовольняються. Для функції сприйняття навантаження застосовні такі припущення:

$$E_{d,fi}/R_{d,fi} \leq 1,0$$

де $E_{d,fi}$ - розрахунковий ефект впливу в умовах пожежі; $R_{d,fi}$ - розрахунковий опір елемента в умовах пожежі.

Якщо не вказано іншого, передбачається, що

$$\eta_{fi} = E_{d,fi}/E_d = 0,7$$

де E_d - розрахунковий ефект впливів при нормальній температурі.

Критичною температурою для арматури, (при якій в умовах пожежі при даному рівні напруження передбачається руйнування елемента) є температура 500 °С. При цьому приймається, що рівень напруження дорівнює θ_{cr} , $\sigma_{s,fi}/f_{yk} = 0,6$; $\eta_{fi} = 0,7$; $\gamma_s = 1,15$.

Для попередньо напружених арматурних елементів $\theta_{cr} = 400^\circ\text{C}$, для попередньо напруженої дротяної арматури $\theta_{cr} = 350^\circ\text{C}$. Рівень напруг і для тих, і для інших приймається рівним 0,55.

Товщина плит приведена в таблицях задля адекватності розділової функції і може в доповнення до товщини конструкції перекриття включати товщину будь-якого вогнетривкого покриття підлоги.

Осьову відстань, наведену в таблицях, необхідно порівняти так:

- 1) з осьовою відстанню до окремого ряду арматури того ж самого діаметра;
- 2) зі збільшеною осьовою відстанню між стрижнями в разі багаторядного армування або використання арматури різних діаметрів.

Таблиця 2.2. – Залежність вогнестійкості залізобетонної колони від її ширини [23]

СТАНДАРТНА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ	КОЕФІЦІЄНТ МЕХАНІЧНОГО ЗМІЦНЕННЯ ω	МІНІМАЛЬНИЙ РОЗМІР (ММ). ШИРИНА КОЛОНИ b_{min} /ВІДСТАНЬ ПО ОСІ А			
		$n = 0,15$	$n = 0,3$	$n = 0,5$	$n = 0,7$
1	2	3	4	5	6
R 30	0,100	150/25*	150/25*	200/30:250/25*	300/30:350/25*
	0,500	150/25*	150/25*	150/25*	200/30:250/25*
	1,000	150/25*	150/25*	150/25*	200/30:300/25*
R 60	0,100	150/30:200/25*	200/40:300/25*	300/40:500/25*	500/25*
	0,500	150/25*	150/35:200/25*	250/35:350/25*	350/40:550/25*
	1,000	150/25*	150/30:200/25*	200/40:400/25*	300/50:600/30
R 90	0,100	200/40:250/25*	300/40:400/25*	500/50:550/25*	550/40:600/25*
	0,500	150/35:200/25*	200/45:300/25*	300/45:550/25*	500/50:600/40
	1,000	200/25*	200/40:300/25*	250/40:550/25*	500/50:600/45
R 120	0,100	250/50:350/25*	400/50:550/25*	550/25*	550/60:600/45
	0,500	200/45:300/25*	300/45:550/25*	450/50:600/25*	500/60:600/50
	1,000	200/40:250/25*	250/50:400/25*	450/45:600/30	600/60
R 180	0,100	400/50:500/25*	500/60:550/25*	550/60:600/30	(1)
	0,500	300/45:450/25*	450/50:600/25*	500/60:600/50	600/75
	1,000	300/35:400/25*	450/50:550/25*	500/60:600/45	(1)
R 240	0,100	500/60:550/25*	550/40:600/25*	600/75	(1)
	0,500	450/45:500/25*	550/55:600/25*	600/70	(1)
	1,000	400/45:500/25*	500/40:600/30	600/60	(1)

* ЗАХИСТ ЯКОГО ВИМАГАЄ КОНТРОЛЬ ПО EN 1992-1-1

(1) НЕОБХІДНА ШИРИНА БІЛЬША ЗА 600 ММ. З ДОДАТКОВИМ РОЗРАХУНКОМ НА ЗГИН

2.4 Вогнезахисні покриття як визначний чинник вогнестійкості залізобетонних конструкцій

Залізобетон - матеріал, що вражає своїми показниками та однаково добре працює на стиск та на розтяг. Незважаючи на його позитивні надійність та міцність при дії високих температур він потребує певного підсилення. Вода, яка входить до складу бетону закипає, коли температура горіння досягає 250 °С, а це, в свою чергу, викликає відділення шматків бетону. Коли ж температура підвищується до 550 °С, починає розпадатися гідроксид кальцію на воду і негашене вапно, яке при гасінні пожежі буде вступати в реакцію з водою, збільшуючись в обсязі в 2 рази. Цей процес утворює в залізобетоні глибокі тріщини й значні деформацію.

Конструктивний вогнезахист - це один з варіантів збереження будівельних конструкцій від дій вогню, що виконується завдяки нанесенню на поверхні теплоізоляційного шару певного матеріалу. Для досягнення необхідної межі вогнестійкості використовують тонкошарові вогнезахисні покриття що спучуються.

Тонкошарове вогнезахисне покриття - це спосіб вогнезахисту будівельних конструкцій, що являє собою нанесення на поверхню, що обігрівається спеціальних лако-, фарбових складів з товщиною сухого шару, який не перевищує 3 мм. Принцип роботи даного виду покриття заснований на властивості збільшуватися в об'ємі при його нагріванні матеріалу. У порівнянні з початковим шаром товщина може стати більшою в 10-40 разів. Крім того, в момент розширення вогнезахисна фарба для бетону починає виділяти інертний газ і воду. Як результат, вогнестійкість бетону збільшується завдяки впливу відразу трьох основних чинників.



Рисунок 2.2 – Приклад нанесення вогнезахисної фарби на колони та балки

Розробка проекту вогнезахисту повинна складатися з наступних етапів:

1. Моніторинг документації проекту.
2. Розбір несучого каркасу конструкції на більш легкі для розрахунку структурні елементи.
3. Обчислення граничних станів вогнестійкості у всіх елементах.
4. Припущення в необхідності використання вогнезахисного покриття.
5. Аналіз можливих і доречних засобів вогнезахисту.

6. Обчислення кожного елемента окремо та підбір вогнезахисту.

Вибір виду вогнезахисту проходить з дотриманням та врахуванням усіх необхідних норм та термінів експлуатації об'єкта. При виборі вогнезахисту повинні враховуватися такі параметри:

- термін експлуатації;
- час до повного висихання;
- сейсмостійкість;
- можливість ремонту на випадок якщо це буде необхідно;
- варіації нанесення;
- марки ґрунтів, декоративних і захисних покриттів;
- інструментарій для робіт.

Користуючись даними рекомендаціями було обрано фарбу на водній основі з вогнезахисними властивостями «ТЕРМІОН ВОГНЕЗАХИСТ 01» [40]. Спеціально розроблена для збільшення порогу вогнестійкості конструкцій і споруд житлового і промислового призначення до 2-х годин.



Рисунок 2.3 – Приклад спучування вогнезахисної фарби

Абсолютно нешкідливий суміш, пожежо- та вибухобезпечна. Застосовується при фарбуванні стель і стін на маршрутах евакуації, приміщеннях зального типу, інфраструктурних об'єктах заводів нафтовидобутку і нафтопереробки, об'єктах хімічної промисловості і житлових будівлях.

«ТЕРМІОН ВОГНЕЗАХИСТ 01» використовується при обробці таких матеріалів як: бетон, цегла, штукатурка, гіпсокартон, метал і оцинковані поверхні. Для нанесення використовують валик, пензлі або розпилювач.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики «ТЕРМІОН ВОГНЕЗАХИСТ 01» [40].

Показники	Значення
Масова частка негорючих речовин, %	50-60
Густина, г/см ³	1,3-1,5
Необхідна товщина захисного шару для залізобетону, мм	1,8
Зовнішній вигляд	Білий колір, що висихаючи створює матовий ефект
Рівень рН	6,8-8,2
Адгезія, в балах	1
Динамічна густина по Брукфільду, МПа.сек	17000
Термін придатності покриття, років	25

До складу фарби входять антипіренові добавки, вогнестійкі компоненти, стабілізатори й речовини, що виділяють газ. Із зростанням температури або вогневого впливу до 250 °С, покриття починає спучуватися і випаровувати інертні гази. Внаслідок цього, з'являється тверда піна з низькою теплопровідністю, яка не тільки не підтримує горіння, а й уповільнює його розвиток. Кисень заміщається інертними газами, тепловий потік пропадає, і полум'я гасне.

2.5 Програмні пакети для визначення вогнестійкості

Для розрахунку параметрів вогнестійкості будівельних конструкцій можливо використовувати сучасні обчислювальні програмні комплекси (ПК). Зокрема, використовуються наступні скінчено-елементні ПК з можливістю математичного моделювання та візуалізації конструкцій, як Fire dynamics Simulator (FDS), PyroSim, AspireSDS, Farro, BlenderFDS та інші.

У дипломній роботі створення, редагування й аналіз моделей розвитку пожежі буде проходити в PyroSim, тому що цей ПК має ряд переваг:

- простота створення моделі різного роду конструкції або їх імпорт з CAD систем (AutoCAD, Inventor, 3D CAD та ін.);
- простий та інтуїтивний інтерфейс;
- можливість оптимізувати геометрії конструкції;
- висока продуктивність;
- точність розрахунків.

PyroSim – розробка компанії FireCat (Росія), дозволяє виконати моделювання поширення небезпечних факторів пожежі на польовій моделі, побудувати чинники небезпечних факторів і визначити час блокування шляхів евакуації. Розроблено спеціально для роботи з 3D моделями.

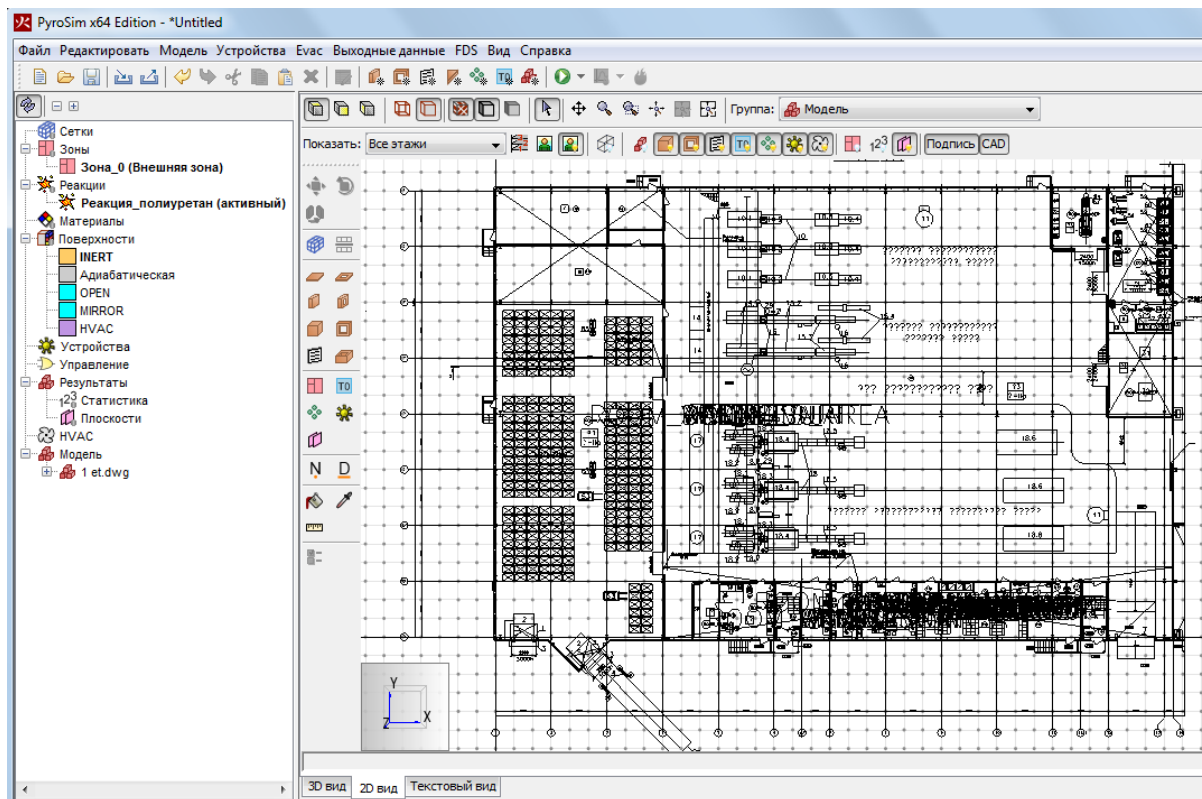


Рисунок 2.4 – Інтерфейс PyroSim [23].

Програма з'явилася в 2000-му році і одразу склала конкуренцію в області моделювання 3D знаним лідерам ринку, як до прикладу AutoCAD, Autodesk Mechanical Desktop, Solid Edge. Це сталося, адже PyroSim - дозволяє з легкістю не

лише створювати модулі але й розраховувати їх вогнетривкість, вогнестійкість, розповсюдження температури, вогню та диму, обчислення усіх параметрів евакуації при пожежі. Застосовуючи дуже прості, зрозумілі й ефективні інструменти моделювання.

PyroSim надає бібліотеки властивостей, за допомогою яких можливо налаштувати та імпортувати у свою поточну модель характеристики будь-яких будівельних матеріалів. Це пришвидшує створення моделі та зменшує помилки. Бібліотеки можуть включати реакції, детектори тепла, матеріали, частинки, поверхні та інші параметри моделі.

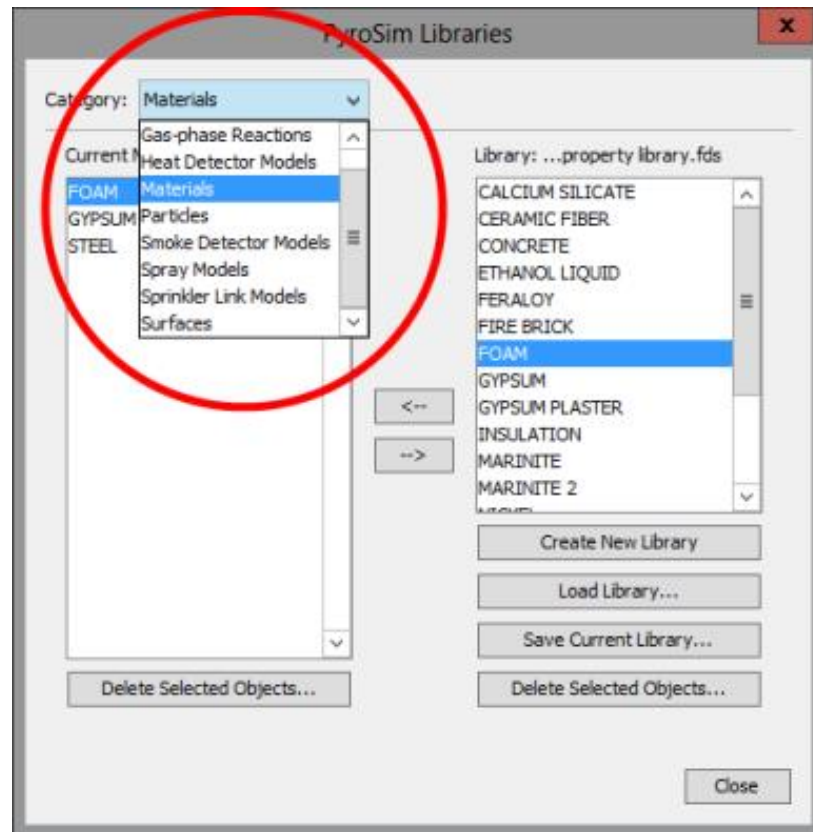


Рисунок 2.5 – Бібліотеки матеріалів в PyroSim [22].

Висновки за розділом 2

Користуючись результатами аналізу існуючої літератури, праць та методичних підходів до визначення параметрів вогнестійкості, яка б забезпечувала необхідну справну роботу несучих залізобетонних конструкцій під час взаємодії з

високими температурами виявлено, що класичні підходи до розрахунків є надто трудомісткими і передбачають використання значних коефіцієнтів запасу вогнестійкості, які повинні перекривати всі невраховані чинники, а експериментальні підходи є дорогими й абсолютно не вигідними при обчислюванні пожеж на великих конструкціях.

Сьогоднішні прикладні програмні пакети дозволяють позбавитися від недоліків класичних та експериментальних розрахунків, завдяки можливості врахування параметрів теплового, радіаційного, вогняного, технологічного і аварійного впливів на залізобетону конструкцію. Тому й було прийнято виконувати дослідження дипломної з використанням ПК PyroSim.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

3.1 Опис обраного способу розрахунку

Це завдання вирішувалося шляхом створення ідеалізованої моделі пожежі поряд із залізобетонною конструкцією в програмі Pyrosim. Перекриття, балка та колона піддавалися односторонньому нагріванні впродовж 10 хвилин.

Таблиця 3.1 – Характеристики залізобетону [19].

Густина, кг/м ³	2280
Питома теплоємність, кДж/кг×К	1,04
Теплопровідність, Вт/м×К	1,8

Різниця температури всередині залізобетону на різних висотах і глибинах конструкції фіксувалося завдяки спеціальним датчикам впродовж 600 секунд. Знявши покази з датчиків температури при першому моделюючому досліді, був проведений наступний з урахуванням вогнезахисного тонкошарового покриття.

Результати двох розрахунків будуть представлені у виді графіків для наглядного порівняння температури при пожежі звичайних незахищених залізобетонних конструкцій та покритих спеціальною вогнестійкою фарбою.

Також будуть порівнюватися температури отримані при моделюванні з представленими критичними в ДБН В.1.2-7:2008. Для передбачення вибухової руйнації залізобетонної конструкції.

3.2 Характеристики залізобетонної конструкції та джерела вогню

Для проведення даного тривимірного розрахунку, було створено залізобетонну конструкцію на вільному просторі. Для колони, балки та перекриття

обрано бетон класом міцності С30/35, арматуру класу А400С. Це звичайні конструктивні матеріали, які часто використовуються у будівництві, тому їх використання в даній магістерській є актуальним, а результати будуть необхідними в подальшій практичній діяльності. В Температурний режим пожежі – стандартний за ДБН В.1.2-7:2008, а отже початковою температурою середовища вважаємо 20°C.

Просторові характеристики конструкцій наступні:

- Колона 2,6×0,4×0,4 м
- Перекриття 4×4×0,2 м
- Балка 4×0,4×0,2 м

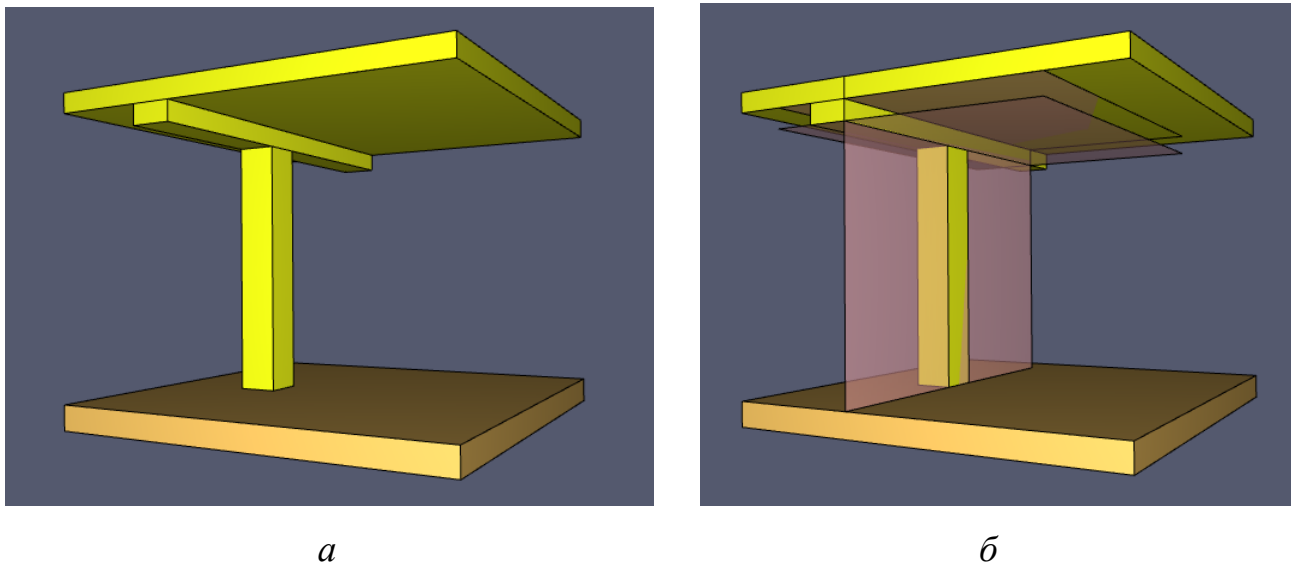


Рисунок 3.1 – Розрахункова залізобетонна конструкція (а) та схема розташування температурних зрізів (б)

Для візуалізації температурного впливу було додано три температурних зрізи моделі. Один безпосередньо на лицевій частині колони, два інших на висоті 2,6 та 2,8 м, для перегляду температурних змін в балці та перекритті відповідно.

В програмі PyroSim усі розрахунки моделюються в спеціальній математичній 3D сітці. Точність розрахунку пропорційно залежить від кількості її складових. Наша сітка складається з кубів розміром 0,2×0,2×0,2 м, що дозволяє практично без похибок вираховувати температуру всередині конструкцій.

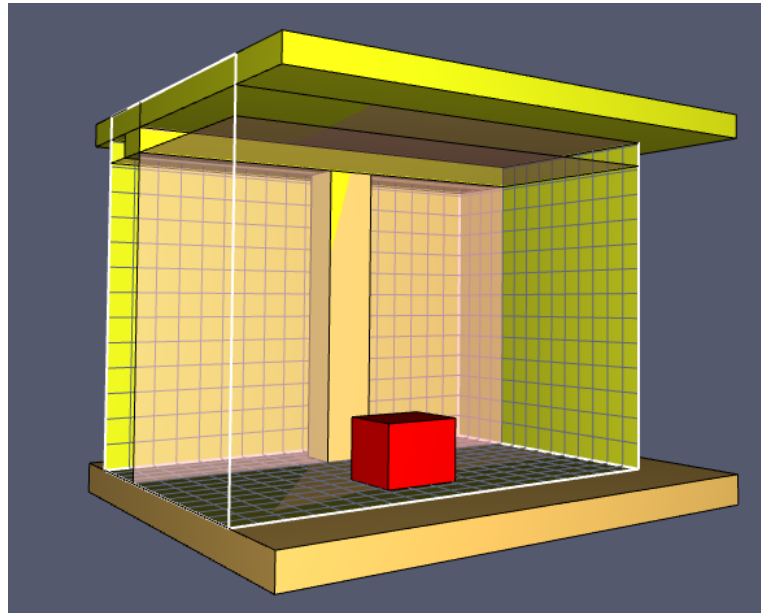


Рисунок 3.2 – Моделі із зображенням джерела вогню та розрахункової сітки

Для моделювання пожежі необхідним чинником є джерело вогню. Було обрано індустриальне пальне (масло) [18] з швидкістю виділення тепла на площу рівною 1836 кВт/м^2 . Пальне, що зображено в моделі червоним кубом з розмірами в $0,5 \times 0,5 \times 0,5 \text{ м}$, віддалене від колони на 1 метр.

3.3 Результати показів температури при пожежі

Згідно нормам ДБН В.1.1.7— 2016 [2] існує пропорційна залежність між міцністю та температурою в залізобетонних конструкціях (див. пункт 1.4). Для вимірювання температури й інших фізико-хімічних змін в частинах моделі PyroSim потрібно додати спеціальні датчики. Для кращого зчитування температури є необхідно робити в товщині залізобетону. Обрано було вимірювати температуру на різних глибинах та висотах конструкцій:

- В колоні – шість датчиків на глибині 3 та 20 см й на висоті 1, 2 та 2,55 м від рівня підлоги.
- В балці - шість датчиків на глибині 3 та 20 см й на висоті 2,7 м від рівня підлоги з кроком в 1 м.

- В перекритті - шість датчиків на висоті 2,83 та 2,9 м від рівня підлоги з кроком в один метр.

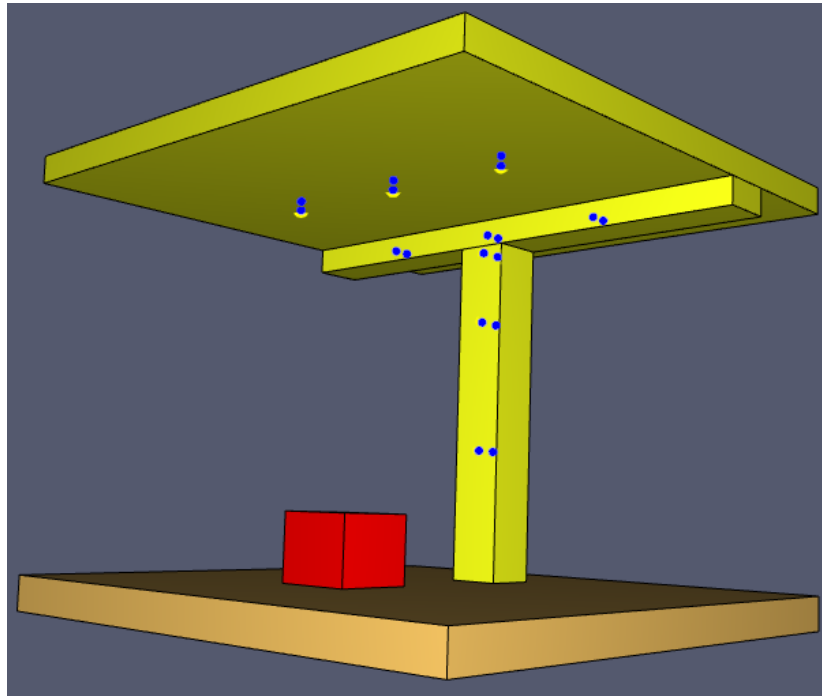


Рисунок 3.3 – Розташування датчиків для вимірювання температури

Міцність в залізобетону залежить не тільки від температури але й від тривалості пожежі. Незворотні реакції в залізобетонні відбуваються орієнтовно за 1-2 години після початку горіння (при досяганні конструкції температури 500 °С). Міцність в такому разі втрачається до 90% [22]. .

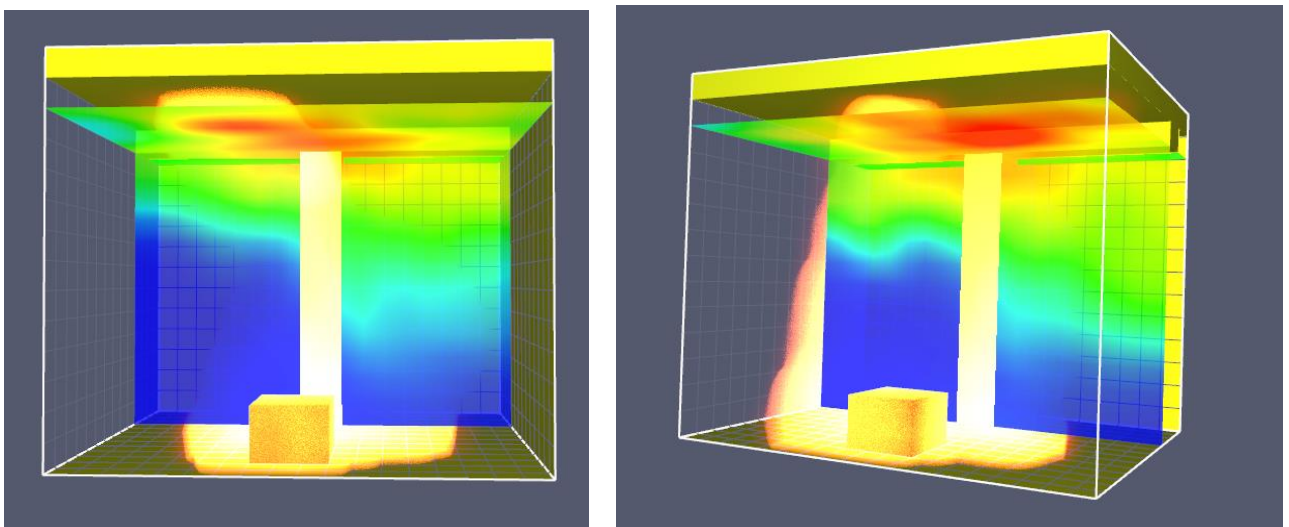


Рисунок 3.4 – Візуалізація пожежі

Так як в досліді джерело вогню одне, незмінне й немає інших елементів які б могли загорітися - температура досягнувши свого піку буде стабільною. Тому у нашому розрахунку прийнято часом горіння вважати 600 секунд – цього достатньо для того аби датчики показували незмінну температуру з незначною похибкою. А також це дозволяє мобільніше проводити математичні розрахунки, адже програмний комплекс розраховує фізичні зміни в кожному з елементів сітки, що вимагає високих потужностей обчислювальної системи [23].

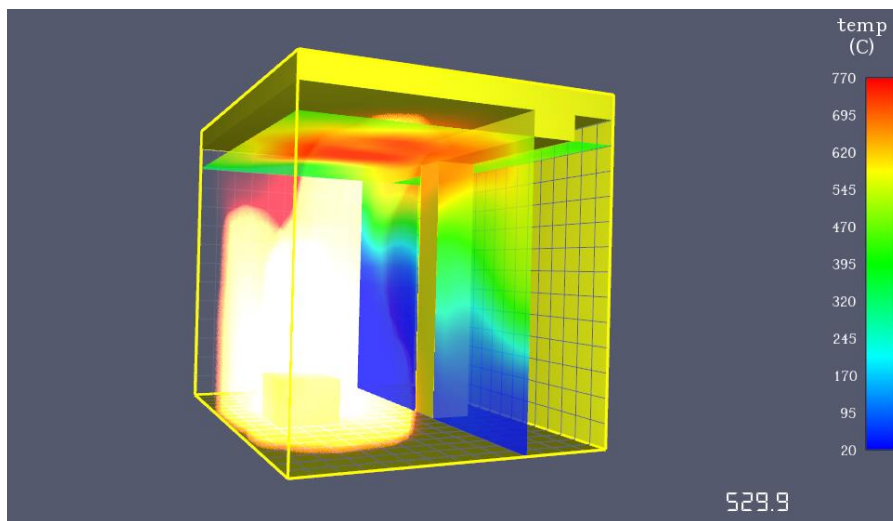


Рисунок 3.4 – Візуалізація температури по зрізах на момент 530 секунди з моменту початку пожежі

Візуалізація зміни температури в середі залізобетонних конструкцій буде виконана за допомогою графіків (по колоні, балці та перекритті).

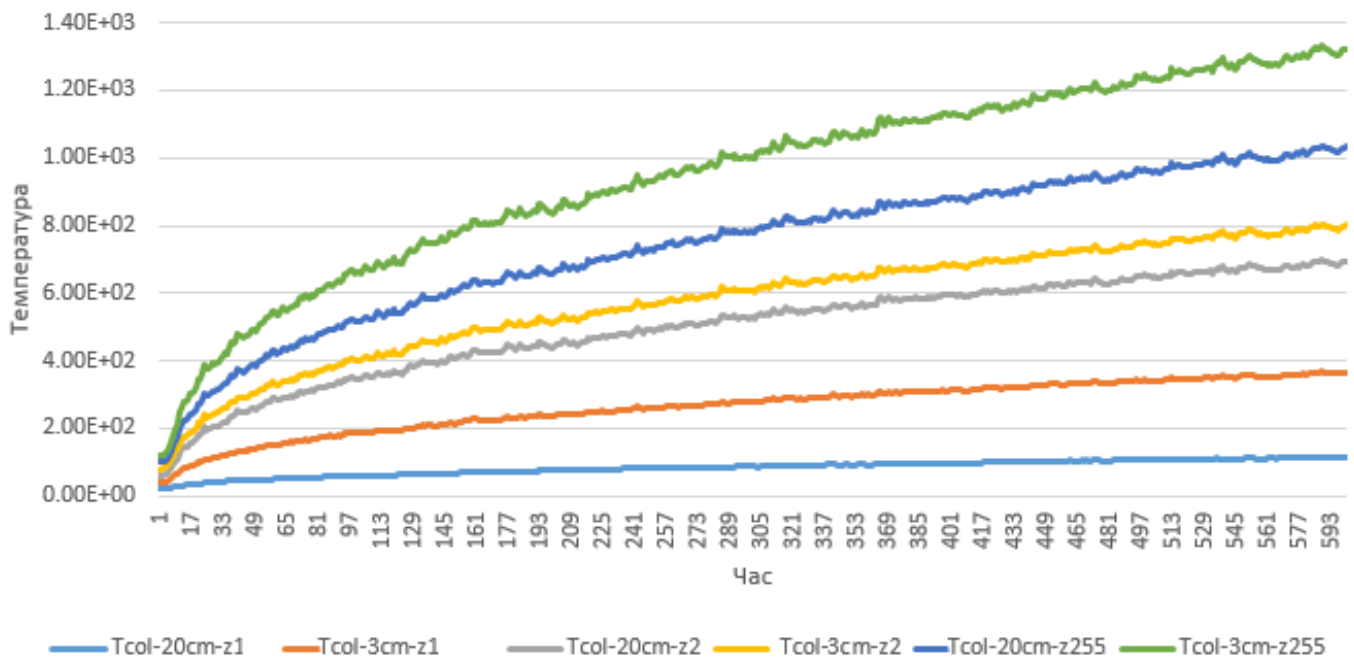


Рисунок 3.5 – Зростання температури в датчиках колони

Найвищі значення температури по кожному з датчиків:

- На висоті 1 м, на глибині 3 см - 116 °С
- На висоті 1 м, на глибині 20 см - 107 °С
- На висоті 2 м, на глибині 3 см - 251 °С
- На висоті 2 м, на глибині 20 см - 231 °С
- На висоті 2,55 м, на глибині 3 см – 327 °С
- На висоті 2,55 м, на глибині 20 см - 292 °С

З перерахованих температур видно, як впливає висота колони на її прогрівання.

Як показують датчики температура по колоні не є значною (на піках досягаючи 300 °С). Звичайно цементна структура піддається негативним змінам, але навіть при довготривалому впливі вогню цей залізобетонний елемент можна відновити використовувати в подальшому. Це спричинене розміром перетину під прямим кутом до поздовжньої осі та фізичними властивостями тепла підійматися вгору. Тому значення по горизонтальних покриттях для нас є більш релевантними.

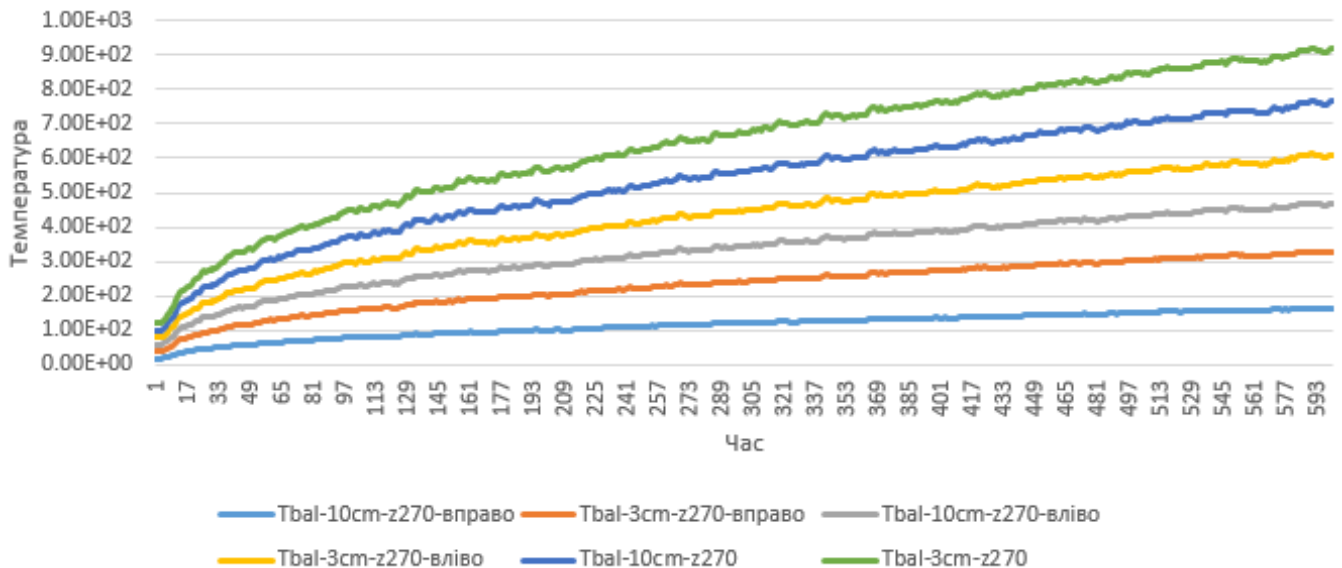


Рисунок 3.6 – Зростання температури в датчиках балки

Максимальні значення температури по кожному з датчиків в балці:

- На висоті 2,7 м, на глибині 3 см - 165 °С
- На висоті 2,7 м, на глибині 10 см - 160 °С
- На висоті 2,7 м, на глибині 3 см, вправо від джерела вогню на 1 м - 140 °С
- На висоті 2,7 м, на глибині 10 см, вправо від джерела вогню на 1 м - 133 °С
- На висоті 2,7 м, на глибині 3 см, вліво від джерела вогню на 1 м - 154 °С
- На висоті 2,7 м, на глибині 10 см, вліво від джерела вогню на 1 м - 150 °С

Різниця в показах між лівими та правими датчиками пояснюється тим, що джерело вогню (розрахунковий куб промислового масла) розташований не відцентровано по відношенню до залізобетонної конструкції. Це зроблено спеціально для того аби значення у крайніх точках балки не повторювалися.

Як видно з отриманих даних температура в середині балки більша 100 °С. Це спричиняє збагачення водою гідроксиду кальцію (гашене вапно), що може призвести до його розпаданню на простіші по структурі хімічні елементи.

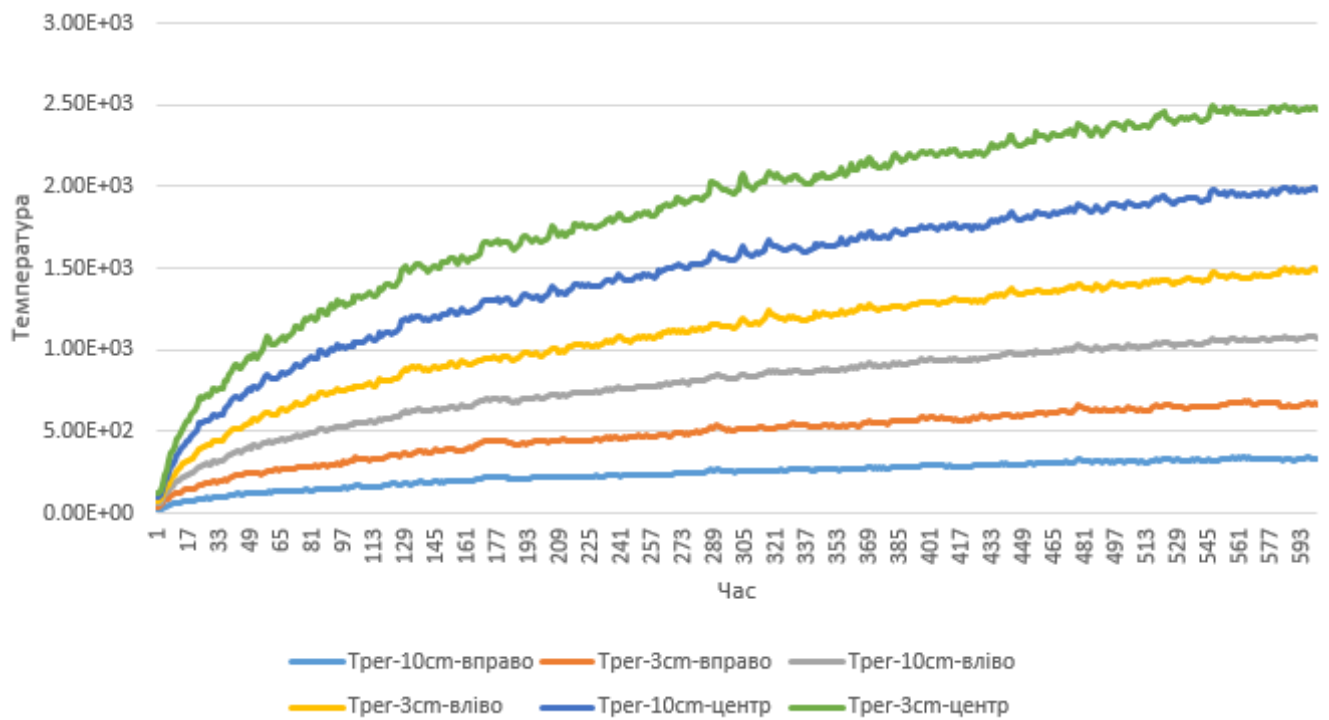


Рисунок 3.7 – Зростання температури в датчиках перекриття

Максимальні значення температури по кожному з датчиків в перекритті:

- На висоті 2,83 м по центру перекриття - 538 °С
- На висоті 2,90 м по центру перекриття - 517 °С
- На висоті 2,83 м, вліво від джерела вогню на 1 м - 446 °С
- На висоті 2,90 м, вліво від джерела вогню на 1 м - 412 °С
- На висоті 2,83 м, вправо від джерела вогню на 1 м - 365 °С
- На висоті 2,90 м, вправо від джерела вогню на 1 м - 338 °С

Результати дають зрозуміти, що в центральній зоні прогрівання є найбільшим. За даної температури термічний вплив змінює розміри арматури всередині бетону; волога, яка міститься в матеріалі, під дією вогню закипає і провокує вибухові відколювання окремих шматків. При 1-2 годинному впливові вогню за температури більшою аніж 500 °С перекриття втратить більше 90% і його неможливо буде відновити. При досяганні відмітки близької 550 °С: можлива спонтанна фазова зміна кварцу, що містяться в піску і щебені. З переходом кварцу в іншу модифікацію збільшується об'єм, що теж неминуче призведе до вибухової деградації залізобетону.

В інших частинах плити де температура сягає 300-450 °С: гідроксид кальцію руйнується відповідно до реакції: $\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$. А водяна пара при цьому теж може викликати локальне лускання та тріщини.

3.4 Результати показів температури при пожежі з урахуванням тонкошарового вогнезахисного покриття

В якості тонкошарового вогнезахисного покриття в математичних моделях використовується «ТЕРМІОН ВОГНЕЗАХИСТ 01».

Таблиця 3.2 – Характеристики тонкошарового покриття [40].

Густина, кг/м ³	1500
Питома теплоємність, кДж/кг×К	1,26
Теплопровідність, Вт/м×К	0,042
Товщина, м	0,065

Моделювання захисту конструкції в процесі спучування не виконується. В розрахунках приймаємо, що фарба вже спучена з початку моделювання. Товщина захисного слою складає 65 мм. До того ж виробник запевняє, що властивості «ТЕРМІОН ВОГНЕЗАХИСТ 01» у звичайному та спученому стані однакові [40].

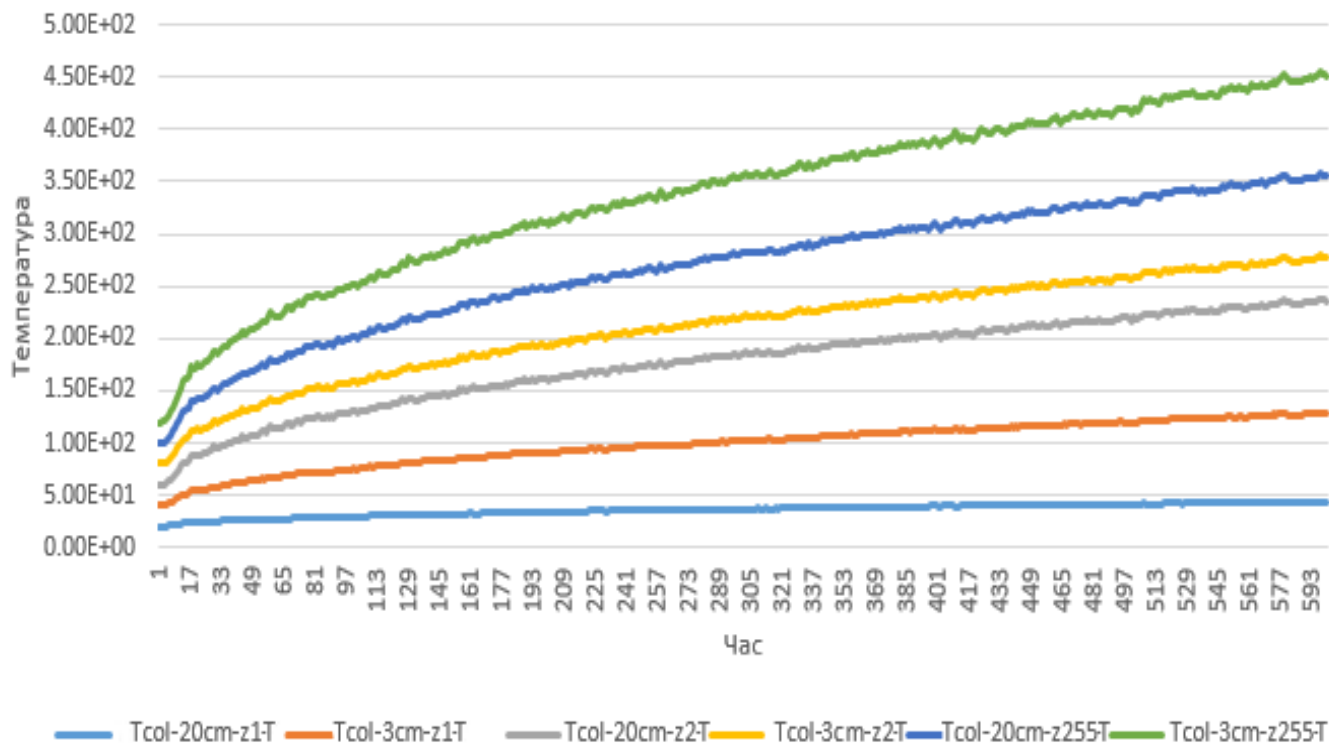


Рисунок 3.8 – Зростання температури в датчиках колони з урахуванням захисного покриття

Найвищі значення температури по кожному з датчиків в колоні, що покрита тонким шаром вогнезахисної фарби:

- На висоті 1 м, на глибині 3 см - 63 °С
- На висоті 1 м, на глибині 20 см - 57 °С
- На висоті 2 м, на глибині 3 см - 93 °С
- На висоті 2 м, на глибині 20 см - 84 °С
- На висоті 2,55 м, на глибині 3 см – 113 °С
- На висоті 2,55 м, на глибині 20 см - 101 °С

Як зрозуміло з наведених температур случена фарба не пропускає на поверхню колони значну кількість тепла. В найвищих датчиках зафіксована температура, що перевищує 100 °С – це температура випаровування води та все ж вона не зможе задати значної шкоди конструкції. Залізобетон після подібного впливу вогню можна відновити не використовуючи ніяких засобів. Волога в атмосфері й опади (якщо колони знаходитимуться під відкритим простором) дозволять ввібрати необхідну кількість вологи бетону.

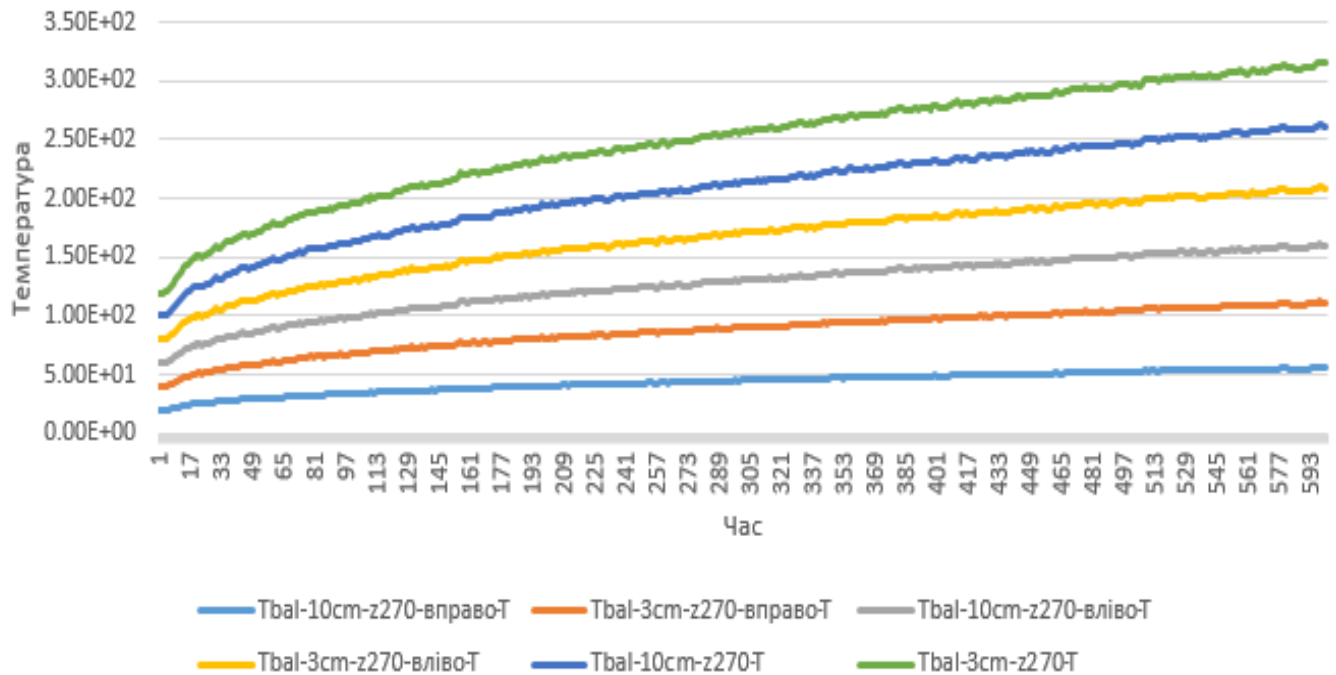


Рисунок 3.9 – Зростання температури в датчиках балки з урахуванням захисного покриття

Максимальні значення температури по кожному з датчиків у балці, що вкрита захисним складом «ТЕРМІОН ВОГНЕЗАХИСТ 01»:

- На висоті 2,7 м, на глибині 3 см - 65 °С
- На висоті 2,7 м, на глибині 10 см - 59 °С
- На висоті 2,7 м, на глибині 3 см, вправо від джерела вогню на 1 м - 51 °С
- На висоті 2,7 м, на глибині 10 см, вправо від джерела вогню на 1 м - 45 °С
- На висоті 2,7 м, на глибині 3 см, вліво від джерела вогню на 1 м - 59 °С
- На висоті 2,7 м, на глибині 10 см, вліво від джерела вогню на 1 м - 54 °С

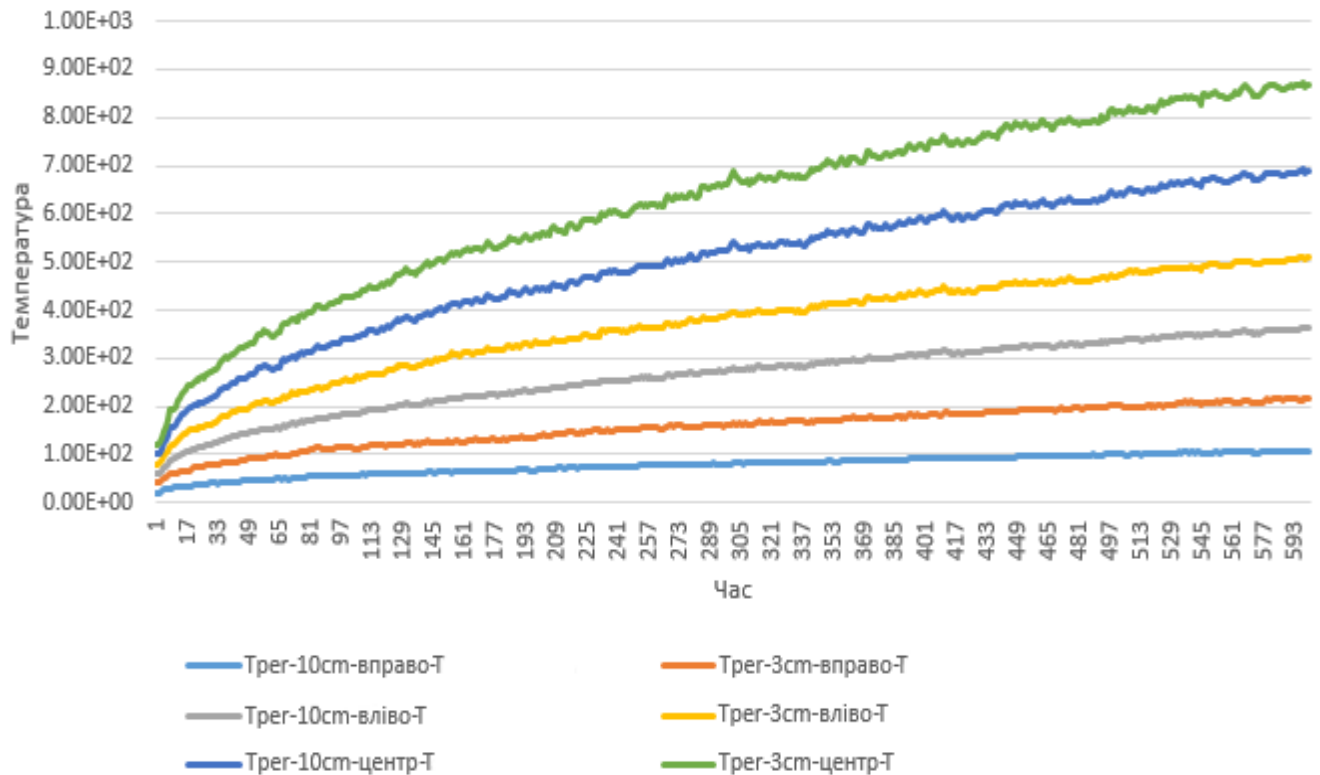


Рисунок 3.10 – Зростання температури в датчиках перекриття з урахуванням захисного покриття

Максимальні значення температури по кожному з датчиків в перекритті:

- На висоті 2,83 м по центру перекриття - 200 °C
- На висоті 2,90 м по центру перекриття - 193 °C
- На висоті 2,83 м, вліво від джерела вогню на 1 м - 167 °C
- На висоті 2,90 м, вліво від джерела вогню на 1 м - 161 °C
- На висоті 2,83 м, вправо від джерела вогню на 1 м - 131 °C
- На висоті 2,90 м, вправо від джерела вогню на 1 м - 123 °C

3.5 Вплив тонкошарового покриття на прогрівання залізобетону

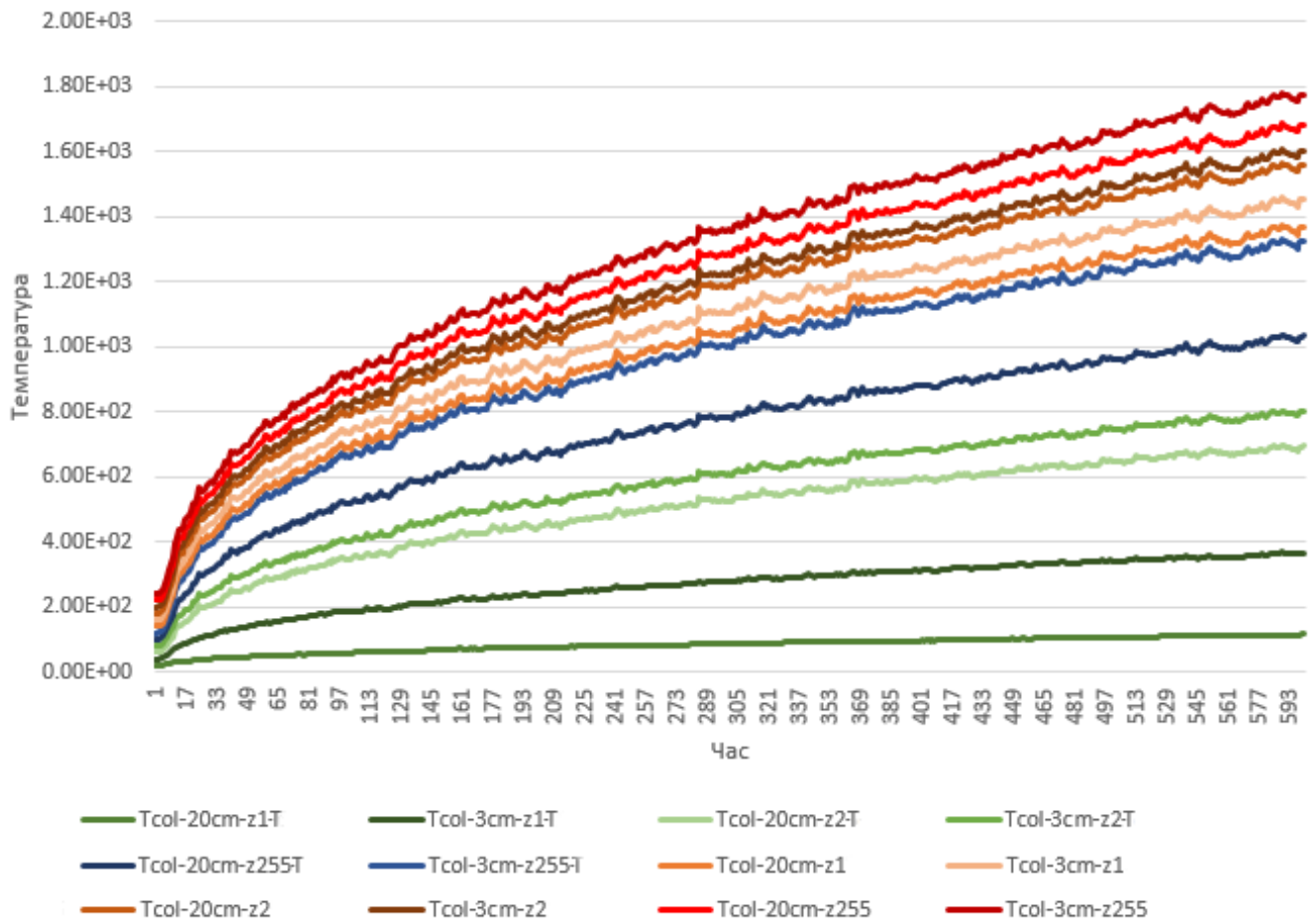


Рисунок 3.11 – Різниця в зростанні температур в датчиках колони з урахуванням захисного покриття та без нього

Різниця в кількості стриманого тепла тонкошаровим покриттям «ТЕРМІОН ВОГНЕЗАХИСТ 01»:

- Для датчика на висоті 1 м та на глибині 3 см - 53 °С
- Для датчика на 1 м та на глибині 20 см - 50 °С
- Для датчика на 2 м та на глибині 3 см - 158 °С
- Для датчика на 2 м та на глибині 20 см - 147 °С
- Для датчика на 2,55 м та на глибині 3 см – 214 °С
- Для датчика на 2,55 м та на глибині 20 см - 191 °С

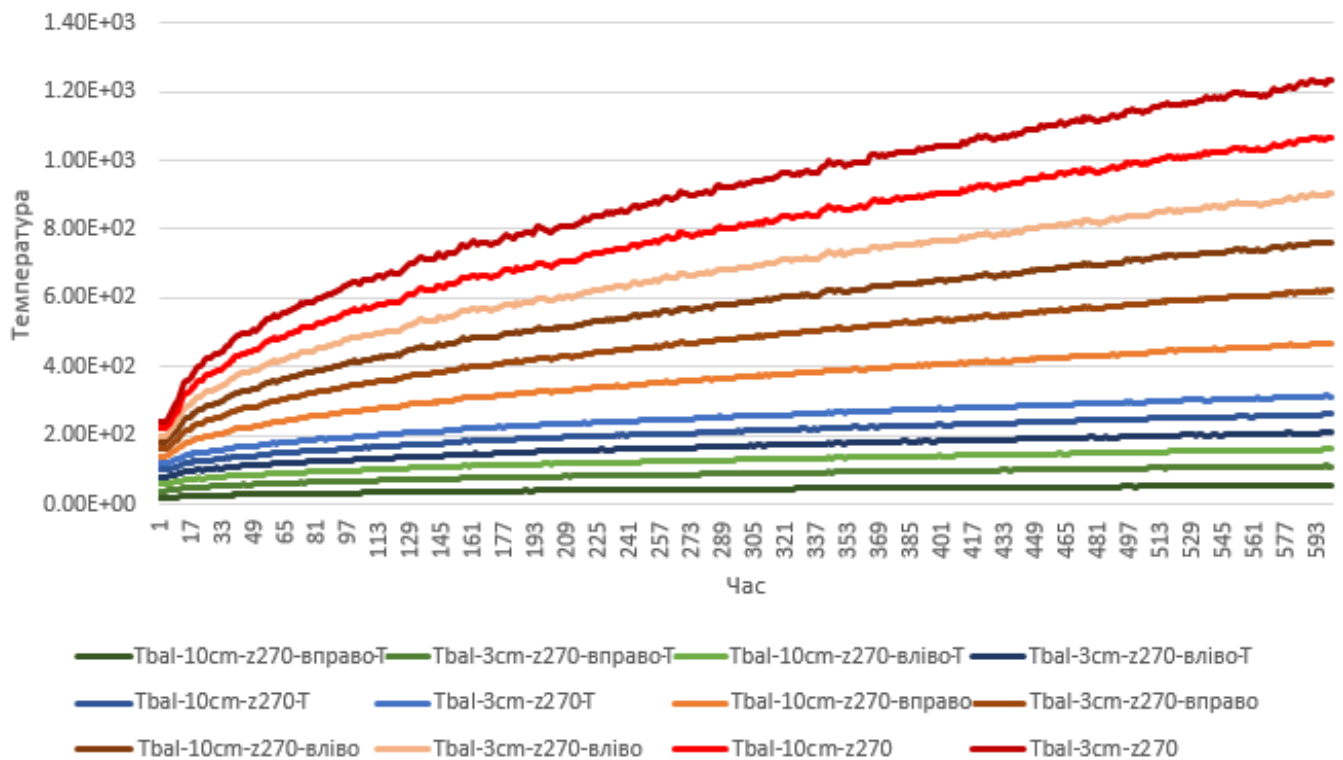


Рисунок 3.12 – Різниця в зростанні температур в датчиках балки з урахуванням захисного покриття та без нього

Різниця в отриманих максимальних значеннях температури по кожному з датчиків у балці без захисного покриття та із шаром «ТЕРМІОН ВОГНЕЗАХИСТ 01»:

- На висоті 2,7 м, на глибині 3 см - 135 °C
- На висоті 2,7 м, на глибині 10 см - 101 °C
- На висоті 2,7 м, на глибині 3 см, вправо від джерела вогню на 1 м - 89 °C
- На висоті 2,7 м, на глибині 10 см, вправо від джерела вогню на 1 м - 88 °C
- На висоті 2,7 м, на глибині 3 см, вліво від джерела вогню на 1 м - 95 °C
- На висоті 2,7 м, на глибині 10 см, вліво від джерела вогню на 1 м - 96 °C

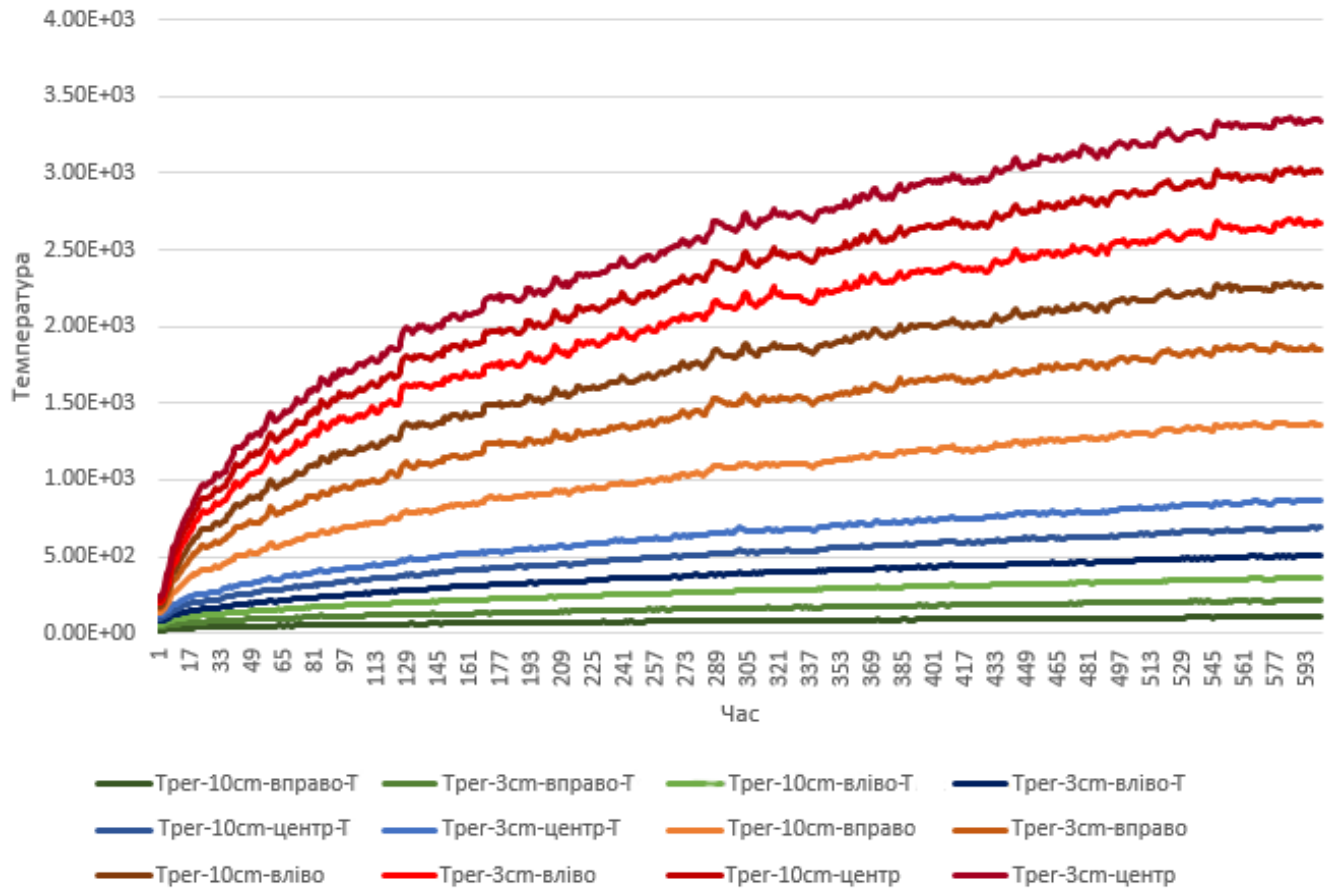


Рисунок 3.13 – Різниця в зростанні температур в датчиках перекриття з урахуванням захисного покриття та без нього

Кількість тепла стриманого (в градусах) вогнезахисним покриттям для датчиків всередині перекриття:

- На висоті 2,83 м по центру перекриття - 338 °С
- На висоті 2,90 м по центру перекриття - 324 °С
- На висоті 2,83 м, вліво від джерела вогню на 1 м - 279 °С
- На висоті 2,90 м, вліво від джерела вогню на 1 м - 251 °С
- На висоті 2,83 м, вправо від джерела вогню на 1 м - 234 °С
- На висоті 2,90 м, вправо від джерела вогню на 1 м - 215 °С

Потрібно відмітити, що у характеристиках «ТЕРМІОН ВОГНЕЗАХИСТ 01» значиться властивість виділяти не горючий газ при спученні, що зменшує кількість кисню в середовищі. При цьому швидкість поширення полум'я значно спадає.

За даними взятими з результатів розрахунку математичного моделювання методом скінчених елементів яскраво видно, що тонкошарове вогнезахисне покриття зменшує температурний вплив вогню на залізобетон. Місцями різниця між необробленими та покритими фарбою стінами досягають 200-300 °С. В основному це на горизонтальній поверхні покриття.

У відсотковому співвідношенні завдяки 65 мм шару «ТЕРМІОН ВОГНЕЗАХИСТ 01» температура всередині елементів конструкції знизилася, в середньому:

- По колоні на 39%
- По балці на 37%
- По перекритті на 37%

Покриття вогнезахистом дозволяє відмовитися від неефективного і дорогого збільшення робочого перетину несучих залізобетонних конструкцій при проектуванні висотних, унікальних і особливо відповідальних об'єктів. Особливо це стосується нижніх слоїв перекриття, які працюють на розтяг, адже арматура легше піддається негативному впливу вогню.

3.6 Вплив тонкошарового покриття на забезпечення міцності та протидії вибуховому руйнуванню при пожежі

В молекулярному складі бетону знаходиться вода, яка закипає до 250 °С, що призводить до часткового відламування шматків бетону за рахунок його вибуху. Це спричиняється тим, що пара заповнює всі порожнини залізобетону. В основному вибух в подібних конструкціях фіксується при підвищенні температури до 470-550 °С.

В нашій розрахунковій моделі із скінчених елементів такі показники фіксувалися два рази. На висоті 2,83 та 2,9 м по центру незахищеного перекриття – це 538 та 517 °С відповідно.

Після проведення розрахунку із врахуванням захисного шару з малою теплопровідністю покази датчиків змінилися на 200 та 193 °С. З цього виходить,

що в цій площині прогрівання все ж таки буде вносити негативні корективи в роботу конструкції та її елементів. Але при цьому наслідки пожежі будуть менш значнішими. Відновити міцність залізобетону можна буде до 90%. Гасіння пожежі з більш охолодженими стінами, арками, колонами, балками та перекриттями теж відбуватиметься швидше та якісніше. То ж використання тонкошарових покриттів є конструктивною необхідністю для залізобетону з великою теплопровідністю.

Висновок за розділом 3

1) Так як режим пожежі залежить від великої кількості чинників, в більшості випадків його можна спрогнозувати лише шляхом моделювання. Результати проведеного математичного розрахунку моделі зі скінченними елементами підтвердили гіпотезу про те, що наявність додаткового вогнезахисного покриття дозволить знизити тепловий вплив при пожежі на елементи конструкції.

2) В середньому температура знижується на 37%, а в окремих місця температура нагріву знижується на 200-300 °С. Особливо це помітно для елементів, які прогріваються не безпосереднє полум'ям, а гарячими потоками повітря. Використаний тонкошаровий вогнезахист дозволить забезпечити фактичну вогнестійкість залізобетонних конструкцій протягом часу, необхідного для ліквідації пожежі.

3) Комп'ютерне моделювання залізобетонної конструкції із шаром спученого захисного покриття дозволило переглянути перебіг пожежі й створити графік зростання температур для усіх датчиків в елементах.

4) Показана можливість і ефективність застосування методів комп'ютерного моделювання, на основі сучасного ПК PyroSim, Яким можна не тільки вивчати особливості вогнезахисного покриття для залізобетонних конструкцій, але й переходити до експериментальних розрахунків. Адже програма видає релевантні попередні оцінки вогнезахисної ефективності різного роду покриттів будівельних конструкцій, а також має ряд інших функцій та переваг.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

4.1.1 Перелік основних правових та законодавчих документів України про охорону праці

В основі всіх нормативно-правових актів про охорону праці в Україні лежить Конституція України.

Згідно з Законом України “Про охорону праці” (далі – Законом) визначені основні напрямки реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров’я в процесі трудової діяльності:

- пріоритет життя і здоров’я працівників по відношенню до результатів виробничої діяльності підприємства;
- повна відповідальність роботодавця за створення належних, безпечних і здорових умов праці;
- соціальний захист працівників, повне відшкодування збитків особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві і професійних захворювань та інші.

Іншим важливим законом в галузі охорони праці є Кодекс законів про працю, що регулює трудові відносини між працівником і роботодавцем. Відповідно до даного Кодексу права працівників на охорону праці під час трудової діяльності охороняються всебічно.

На сьогодні в Україні існує велика кількість нормативно-правових актів з охорони праці. До них відносяться, згідно зі ст. 27 Закону: правила, норми, положення, стандарти, регламенти, інструкції та інші документи, обов’язкові до виконання. Зазначимо, що вищесказані нормативно-правові акти повинні регулярно переглядатися – не рідше одного разу на десять років.

До нормативно-правових актів, що діють, наприклад, в будівництві, включають:

- нормативно-правові акти, що поширюються на декілька видів економічної діяльності;
- нормативно-правові акти, що поширюються на будівництво;
- нормативно-правові акти, що поширюються на вироблення електроенергії, газу, тепла;
- охорона надр.

Крім вище наведених нормативно-правових актів охорона праці в будівництві регламентована державними будівельними нормами – ДБН, основними з яких є:

- ДБН А.3.1-5-2009. Організація будівельного виробництва;
- ДБН А.3.2-2-2009. ССБТ. Охорона праці та промислова безпека у будівництві. Основні положення;
- ДБН В.1.2-12-2008. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки.

Згідно із ст.13 Закону роботодавець забезпечує функціонування системи управління охороною праці, а також зобов'язаний створити на робочому місці умови праці відповідно до вимог нормативно-правових актів. Роботодавець несе безпосередню відповідальність за порушення цих вимог. У свою чергу працівник зобов'язаний знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей, проходити у встановленому законодавством порядку попередні та періодичні медичні огляди. Працівник несе особисту відповідальність за порушення зазначених вимог.

Достойна праця – безпечна праця. Міжнародний досвід засвідчує, що вдосконалення законів в охороні праці та методів забезпечення безпеки праці, боротьба з травматизмом, крім гуманістичного характеру, має ще й чітко виражений економічний аспект. Безпека праці виступає одним із важливих факторів, які забезпечують високу продуктивність праці та безпосередньо впливає на підвищення ефективності виробництва.

4.1.2 Охорона праці при монтажі вогнезахисного покриття

Покриття залізобетонних стін фарбами, що спучуються вважається однією з небезпечних для здоров'я робіт. Для їх виконання працююча особа повинна пройти щорічне спеціальне навчання з питань охорони праці та перевірку знань.

Лакофарбувальні матеріали повинні надходити до робочих місць готовими до використання; подачу їх до робочих місць (у разі відсутності централізованої подачі) необхідно виконувати в тарі, що щільно закривається.

Пневматичне розпилення лакофарбувальних матеріалів необхідно виконувати на визначених постах, у спеціальних установках або камерах, обладнаних конвеєрами або столами, що обертаються, та місцевою витяжною вентиляцією.

Фарбування методом пневматичного розпилення (за винятком використання лакофарбувальних матеріалів, що містять свинець) великогабаритних виробів, для яких неможливо обладнати постійні пости фарбування, необхідно виконувати на відкритих ділянках, обладнаних вентиляційними решітками в підлозі.

Під час фарбування виробів заввишки більше 2 м місце фарбування повинно бути огорожене негорючими перегородками полегшеного типу. Роботи необхідно виконувати із застосуванням підйомників, пересувних підмостків, малярних візків порталного (велосипедного) типу, візків з платформою.

Фарбування поверхонь щітками або валиком необхідно виконувати при працюючій загально обмінній або місцевій витяжній вентиляції.

Печі для формування порошкових покриттів повинні бути обладнані вентиляційним зонтом та мати блокування для запобігання підняттю температури вище встановленої норми.

Природне сушіння виробів необхідно виконувати в камерах або витяжних шафах при включеній місцевій витяжній вентиляції.

Робітники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту (респіраторами, окулярами, захисними пастами і мазями, гумовими рукавичками, комбінезонами) відповідно до діючих норм техніки безпеки і виробничої санітарії

для робітників, зайнятих в цементній промисловості. Робітники, зайняті приготуванням розчинів вогнезахисних лаків та фарб, повинні працювати в гумових рукавичках і захисних окулярах.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1 Основні причини пожеж будівель і споруд

Основною причиною виникнення пожеж в будівлях з перебуванням людей - є безпечність. Причинами виникнення пожеж є також:

- куріння в невстановлених місцях,
- несправність електроприладів,
- застосування некаліброваних запобіжників,
- застосування електропроводки з порушеною ізоляцією,
- розведення відкритого вогню поблизу будівель,
- порушення правил зберігання вогнебезпечних речовин, матеріалів, легкозаймистих і горючих рідин,
- застосування відкритого вогню газових пальників і паяльних ламп,
- відігрівання замерзлих труб опалювальних систем і водопроводу,
- недотримання заходів пожежної безпеки при електрозварювальних роботах.

4.2.2 Небезпека руйнування конструкцій під дією температури

У процесі пожежі температура в приміщенні може сягати 1000-1200°C (при тривалості пожежі 1-2 години). В таких умовах відбувається зниження міцності бетону й арматури. Так при в нагріванні 400°C бетон починає різко втрачати міцність і при досягненні температури 800°C і вище (температура руйнування) бетон втрачає 90% і більше своєї міцності. При цьому, якщо температура бетону не досягла 500°C, то його міцність може відновитися до 90% початкового значення протягом року [27, 28]. Також бетон отримує додаткове зниження міцності при

гаєсінні пожежі, тобто при охолодженні бетону водою після нагрівання в умовах пожежі.

Крім зміни міцності при нагріванні бетону відбувається зміна його модулів пружності - при цьому відбувається зростання пластичних деформацій бетону під навантаженням. Так при нагріванні до 500°C відбувається зниження модуля пружності до 43%, а при 700°C до 18% від початкового значення. При цьому при досягненні бетоном температури 400°C починається різке зростання пластичних деформацій, що також обумовлюється порушенням і зміною структури бетону.

При нагріванні бетону до високих температур відбувається його необоротна усадка [27, 28]. Також при нагріванні бетону в умовах пожежі може спостерігатися його взривоподібне руйнування у вигляді відколів бетону на глибину 5-10 см [28] внаслідок виникнення високого тиску пари в замкнених порах.

В Україні протипожежна поведінка будівель регулюється нормативними текстом ДСТУ ISO 13571:2012. Ці тексти визначають, серед іншого, наступні :

- Вимоги, які повинні відповідати матеріалам і елементам будівлі, щоб обмежити ризик, пов'язаний з пожежею;
- З іншого боку, методи обґрунтування того, що ці матеріали та елементи будівлі фактично представляють необхідний рівень продуктивності.

4.2.3 Евакуація людей при пожежі

Одним з основоположних правил пожежної безпеки є збереження життя людини шляхом заохочення евакуації і втручання екстрених служб. Для цього необхідно прийняти конструктивні положення, щоб обмежити розвиток і поширення пожежі, що зачіпає будівлю або будівельні роботи.

Порядок евакуації людей при пожежі розглядається як послідовність і складається з чотирьох етапів [33]:

- Перший етап - вихід з приміщення.
- Другий етап - прохід по коридору в бік евакуаційного виходу.

- Третій етап - пересування по сходах на перший поверх, якщо це потрібно, і вихід на вулицю.
- Четвертий етап - відхід на безпечну відстань від будівлі.

У разі, якщо спалах виявлено у висотній будівлі, евакуація проходить в такий спосіб: спочатку евакуюється весь поверх або поверхи, де виявлено загоряння, після чого - всі інші, починаючи з самого верхнього.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1) Ознайомившись з наявною науковою літературою та дослідженнями різних авторів, що стосувались можливостей підвищення вогнестійкості залізобетонних конструкцій за допомогою тонкошарових вогнезахисних покриттів, було припущено, що використання спеціальних спучених складів для захисту від вогню, можливо, є доцільним.

2) Для того аби проведені розрахунки були актуальними вибрано: одну з відомих марок конструктивних бетонів, популярну сталь арматури, розповсюджене джерело вогню (промислове мастило), а також новий на ринку вогнезахист.

3) Зроблена тривимірна модель та проведено два розрахунки теплостійкості її складових - балки, колони та перекриття. З урахуванням вогнезахисного покриття та без нього.

4) Провівши розрахунки були побудовані графіки, які показують різницю температур в середині елементів конструкції. Виявлено, що підібрана вогнезахисна фарба в окремих точках перекриття зменшує нагрівання на 200-300 °С, що дає значний спектр переваг для залізобетону.

5) Проаналізоване явище вибуху залізобетону та запропоноване вирішення цієї проблеми для конструкцій з великою теплопровідністю.

6) Надано рекомендації щодо практичного застосування розрахунків.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. ДСТУ Б В.1.1-4-98. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. Зі зміною №1.
2. ДБН В.1.1.7 – 2016. Державні будівельні норми України. Пожежна безпека об'єктів будівництва. – На зміну ДБН В.1.1.7 2002, чинний з 1 червня 2017 р.
3. ДСТУ Б В.1.1-20: 2007. (2007). Захист від пожежі. Перекриття та покриття. Метод випробування на вогнестійкість. Київ: Міністерство регіонального розвитку та побудови України
4. ДСТУ Б В.1.1 - 20: 2007 “Вогонь. Українська школа гірничого машинобудування захист. Підлоги та покриття. Метод випробування на вогнестійкість ”
5. ДСТУ Б В.1.1 - 14: 2007 "Захист від вогню. Стовпці. Метод випробування на вогнестійкість".
6. ДБН В.1.1.7–2002 Пожежна безпека об'єктів будівництва. – К.: Держбуд України, 2003. – 87 с.
7. Фёдоров В. С., Левитский В. Е., Молчадский И. С., Александров А. В. Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций. – М. : АСВ, 2009 – 408 с.
8. ДСТУ-Н-П Б В.2.6-159:2010 Конструкції будинків і споруд. Проектування сталезалізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1994-1-2:2005).
9. Lviv Polytechnic National University Institutional Repository <http://ena.lp.edu.ua> 21 EN 1991-1-2:2002 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire.
10. ДБН В.2.6-98-2011 “Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення”. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.
11. Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. Vol. 1: Mathematical Model / NIST Special Publication 1018-1. Sixth Edition. 2015.

12. Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. Vol. 3: Validation / NIST Special Publication 1018-3. Sixth Edition. 2015.

13. Була С.С. Визначення кривизни та температурного зусилля у позацентрово-стиснутих залізобетонних елементах при дії місцевого нагріву та експлуатаційного навантаження // Донбаська національна академія будівництва та архітектури. „Сучасне промислове та цивільне будівництво”. – Т.3. – 2007. – № 2. – С. 115–124.

14. Яковлев А. И. Основы расчета огнестойкости железобетонных конструкций: Дис. докт. техн. Наук / МИСИ. – М., 1966. – 515 с.

15. ДСТУ-Н П Б В.2.6-XX: 20XX Настанова проектування залізобетонних конструкцій Основні положення “Вогнестійкість” (EN 1992-1-2:2004, MOD). – К., Мінрегіонбуд України, 2010. – 120 с.

16. Левитский В. Е. Диаграммный метод решения статической задачи расчета огнестойкости железобетонных конструкций: Дис. Канд. Техн. Наук / МИИТ. – М., 2006. – 216 с.

17. В.С. Федоров, В.Е. Левитский, И.С. Молчадский, А.В. Александров. Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций. М.: АСВ, 2009. 410с.

18. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие.

19. Designers' Guide to EN 1992-1-1 and EN 1992-1-2. Eurocode 2: Design of Concrete Structures. General Rules and Rules for Buildings and Structural Fire Design. A.W. Beeby and R.S. Narayanan. 0 7277 3105 X. Published 2005.

20. Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі: ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010 (EN 1991-1-2:2002, IDT).

21. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість: ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 (EN 1992-1-2:2004, IDT).

22. Mohsen A. S., Mohammad A. B., Mohammad G. B. Effect of longitudinal rebar corrosion on the compressive strength reduction of concrete in reinforced concrete structure // *Advances in structural engineering*, 2016. Pp. 1-11.

23. Fire resistance assessment of concrete structures / Fabienne ROBERT, Luc DAVENNE, Iuliana STOIAN // Workshop 'Structural Fire Design of Buildings according to the Eurocodes' – Brussels, 27-28 November 2012.

24. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре / А. Ф. Милованов. — Москва : Стройиздат, 1998. — 304 с., ил. — ISBN 5-274-01695-2

25. Ройтман В. М. Особенности проектирования огнестойкости конструкций и зданий при комбинированных особых воздействиях с участием пожара // *Пожаровзрывобезопасность*. 2013. Т. 22. № 7. С. 47-54

26. Ройтман В. М., Приступюк Д. Н. Особенности оценки стойкости зданий и сооружений из железобетонных конструкций при комбинированных особых воздействиях с участием пожара // *Пожаровзрывобезопасность*. 2010. Т. 19. № 7. С. 29-38.

27. Бондаренко В.М., Суворкин Д.Г. Железобетонные и каменные конструкции: Учебн. для студентов вузов по спец. "Пром. и гражд. строительство". —М. : Высшая школа, 1987. —384 с. 48.

28. Бондаренко В. М., Колчунов В. И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. — М. : Изд-во АСВ, 2004. — 472 с.

29. ДСТУ Б.В.1.1–4–98 Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги.

30. Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций. — М.:Стройиздат, 1986.— 224 с. 57.

31. Ройтман В. М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. М.: ассоциация "Пожарная безопасность и наука", 2001. 382 с.

32. Ройтман В. М., Приступюк Д. Н. Развитие теории огнестойкости конструкций, зданий и сооружений с учётом комбинированных особых

воздействий с участием пожара // Матер. 5-й междунар. науч.-практ. конф. "Ройтмановские чтения". М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. 104 с.

33. Пожежна безпека об'єктів будівництва [Текст] : ДБН В.1.1-7-2002. – К.: Держбуд України, 2003.

34. Романенков, Зигерн–Корн. Огнестойкость строительных конструкций из новых эффективных материалов. – М.:Стройиздат, 1989. –241 с. 58.

35. Страхов В.Л., Крутов А.М., Давыдкин Н.Ф. Огнезащита строительных конструкций / Под ред. Ю.А. Кошмарова. – М.: Информационноиздательский центр «ТИМР», 2000. – 433 с.

36. Афанасьев А. А., Матвеев Е. П. Реконструкция жилых зданий. Часть I. Технологии восстановления эксплуатационной надежности жилых зданий. М., 2008.

37. Чупичев О. Б. Работа железобетонных конструкций с учётом предыстории эксплуатации и накопления повреждений: дис. канд. техн. наук. М.: 2005. 102 с.

38. Старишко И. Н. Влияние условий эксплуатации на несущую способность железобетонных элементов по нормальным и наклонным сечениям // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 1. С. 49-51.

39. Яковлев А. И. Расчет пределов огнестойкости сжатых железобетонных конструкций по критическим деформациям // Поведение строительных конструкций в условиях пожара. – М. : ВНИИПО, 1987. – С. 5-16.

40. ТЕРМИОН ОГНЕЗАЩИТА 01 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресерсу: <https://termion.ru/product/altermo-ognezashchita-01/>

41. Охорона праці і промислова безпека у будівництві: ДБН А.3.2-2- 2009 – [Чинний від 2012-04-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.– 122 с. – (Державні будівельні норми України).

42. Матеріали IV Міжнародної студентської науково - технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 28-29 квітня 2021 р.), 2021.- 268 с.