

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра будівельних конструкцій

До захисту
допускається
Завідувачка кафедри
Будівельних конструкцій
_____Л.А.Циганенко

«_10_»_березня_2025_р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим рівнем вищої освіти

На тему: «Вплив високих температур на бетон конструкцій на прикладі будівлі сільськогосподарського призначення »

Виконав (ла)

(підпис)

Ю.О.Радіонов

(Прізвище, ініціали)

Група

З БУД

(Науковий)
керівник

(підпис)

Л.А.Циганенко

(Прізвище, ініціали)

Суми – 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: будівельних конструкцій

Спеціальність: 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Радіонов Юрій Олександрович

Тема роботи: Вплив високих температур на бетон конструкцій на прикладі будівлі сільськогосподарського призначення

Затверджено наказом по університету № _____ від "___" _____ 2024р.
Строк здачі студентом закінченої роботи: "___10___" березня 2025 р.

Вихідні дані до роботи:

Звіт з технічного обстеження будівлі зерносховища,

пошкодженого пожежею при вибуху

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці)

Розкрити актуальність теми дослідження, розкрити мету роботи,

описати об'єкт та предмет дослідження.

Розглянути стан пошкоджень будівель сільськогосподарського призначення в Україні за 3 роки повномасштабного вторгнення російської федерації. Проаналізувати поведінку бетону при підвищених та розглянути методи дослідження структури бетону

Методами скануючої електронної мікроскопії та термопрограмованої мас-спектрометрії провести дослідження зразків бетону з пошкодженого об'єкту з метою визначення зміни його структури та хімічного складу під впливом дії надвисокої температури, спричиненої наслідком при пожежі при вибуху.

5. Перелік графічного та або мультимедійного матеріалу (з вказівкою обов'язкових креслень)

Слайди мультимедійної презентації у кількості 20

Керівник :

(підпис)

Л.А. Циганенко

(Прізвище, ініціали)

Консультант

(підпис)

В.М. Луцьковський

(Прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання:

Здобувач

(підпис)

Ю.О. Радіонов

(Прізвище, ініціали)

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

РОЗДІЛ 2. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Постановка проблеми

2.2 Поведінка бетону при підвищених температурах

2.3 Методи дослідження структури бетону

РОЗДІЛ 3. ТЕХНІЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ БУДІВЛІ

3.1 Характеристика об'єкта

3.2 Технічне обстеження

3.3 Пошкодження зерносховища

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

4.1 Дослідження зразків

4.2 Дослідження зміни мікроструктури зразків бетону під впливом надвисоких температур методом електронної мікроскопії

4.3. Дослідження зміни мікроструктури зразків бетону під дією надвисоких температур за допомогою термопрограмованої мас-спектрометрії TPD-MS

4.4 Висновки з досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТОК 1

Анотація

Радіонов Юрій Олександрович. Вплив високих температур на бетон конструкцій на прикладі будівлі сільськогосподарського призначення – Кваліфікаційна робота магістра на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

Робота складається із змісту, загальної характеристики роботи та її кваліфікаційних ознак, огляд досліджень за обраною темою, розділів основної частини, висновки за результатами МКР.

В РОЗДІЛІ 1 Загальна характеристика роботи сформульовано мету, задачі, об'єкт та предмет дослідження та методи.

В РОЗДІЛІ 2 розглянуто стан пошкоджень будівель сільськогосподарського призначення в Україні за 3 роки повномасштабного вторгнення російської федерації. Проаналізовано поведінку бетону при підвищених температурах та розглянуті методи дослідження структури бетону

В РОЗДІЛІ 3 приведено результати технічного обстеження пошкодженої конструкції зерноховища.

В РОЗДІЛІ 4 приведено експериментальні дослідження руйнування бетону, зміну його структури та хімічного складу під впливом дії надвисоких температур під час пожежі яку спричинив вибух на досліджуваному об'єкті методами скануючої електронної мікроскопії, методом термопрограмованої мас-спектрометрії.

Для проведення дослідження методом скануючої електронної мікроскопії на об'єкті було взято дослідні зразки бетону у кількості 6 штук на різній відстані від епіцентру пожежі та один контрольний зразок, що непошкоджений: 1– контрольний, 2 – на відстані 1 м від епіцентру, 3 – на

відстані 1,5 м від епіцентру, 4 – на відстані 0,5 м від епіцентру, 5 – епіцентр пожежі, , 6 (1) та 6 (2) – на відстані 2 м від епіцентру.

Для проведення дослідження методом термопрограмованої мас-спектрометрії використовувались зразки бетону розміром 0,2-0,5 см² на різній відстані від центру пожежі.

Проведене дослідження зразків бетону методом скануючої електронної мікроскопії та за допомогою Temperature Programmed Desorption Mass Spectrometry (TPD MS) показали, що вплив надвисоких температур суттєво впливає на зміну структури бетону та його хімічний склад.

Аналіз термограм бетонних зразків, які були відібрані на різній відстані від епіцентру дії надвисоких температур показали зміну у місту карбонів CO та CO₂ що показує на термохімічне руйнування бетону.

Ключові слова: хімічний складу бетону, високі температури, скануюча електронна мікроскопія, метод термопрограмованої мас-спектрометрії.

Список публікацій та/або виступів на конференціях студента:

Циганенко Л.А.,Радіонов Ю. Дослідження впливу високих температур на бетон конструкцій // матеріалах IV Міжнародної науково-практичної конференції “ FUTURE OF SCIENCE:: INNOVATIONS AND PERSPECTIVES”, 23-22.05.2025 року у м. Стокгольм,Швеція

В додатках наведено; тези конференції, альбом креслень у вигляді слайдів мультимедійної презентації.

Структура роботи. Робота складається з основного тексту на 30 сторінках основного тексту, у тому числі 2 таблиці, 6 рисунків, фото 9. Текст роботи містить розділ загальної характеристики роботи, 3 основні розділи, висновки і рекомендації за результатами роботи, список з 23 використаних джерел, 2 додатків. Графічна частина складається з 20 слайдів презентації

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження:

Внаслідок повномасштабного вторгнення росії в Україну значна частина території країни зазнала руйнувань. Особливо гострою є проблема руйнування будівель, зокрема, сільськогосподарського призначення. Авіаційні удари, обстріли з артилерії та застосування інших вибухових пристроїв призвели до значних втрат для аграрного сектору України.

Руйнування складів, зерносховищ, ферм та інших сільськогосподарських об'єктів призводить до значних втрат зерна, техніки та іншої продукції, ускладнює зберігання та переробку зерна. Це, в свою чергу, негативно впливає на продовольчу безпеку України та здатність забезпечувати населення необхідними продуктами харчування.

Масштабні руйнування призвели до того, що багато зерносховищ та елеваторів були повністю зруйновані або значно пошкоджені. Значні площі сільськогосподарських угідь та інфраструктури заміновані, що ускладнює доступ до пошкоджених об'єктів та їх відновлення. Відновлення таких масштабних руйнувань потребує великих фінансових вливань, яких в держави може бути недостатньо. Пошкодження транспортної інфраструктури ускладнює доставку будівельних матеріалів та обладнання до місць відновлення.

Руйнування сільськогосподарських будівель внаслідок війни є однією з наймасштабніших проблем яка зараз виникла в Україні, питання відновлення та ремонту існуючих пошкоджених або напівзруйнованих об'єктів є наразі дуже актуальним. Відновлення зерносховищ є чудовою можливістю для модернізації інфраструктури та впровадження нових технологій, що підвищать їхню ефективність та енергоефективність

Циліндричні металеві сховища для зерна на плоскому бетонному фундаменті є найбільш поширеним конструктивним рішенням в Україні.

Підчас пожеж, що виникають внаслідок обстрілів або вибухів, найбільш пошкодження може отримати саме бетонна підлога, на якій зберігається зерно. Високі температури горіння зерна призводять до зміни структури та хімічного складу бетону та подальшого його руйнування. Тому питання впливу високої температури на зміну структури та хімічного складу бетону є актуальним.

Мета магістерської роботи:

провести аналіз змін структури та хімічного складу бетону під впливом високих температур, спричинених пожежею при вибуху снаряду.

Об'єкт дослідження:

Бетонні фундаменти силосів у селищі Харківської області, Україна.

Предмет дослідження:

Структура та хімічний склад бетону фундаментів силосів у селищі Харківської області, Україна.

Завданням дослідження магістерської роботи є:

1. Дослідити механізм розтріскування бетону під дією надвисоких температур, особливо при вибуху на прикладі бетонних зразків фундаментів силосів у селищі Граково за допомогою скануючої електронної мікроскопії;
2. Проаналізувати зміну хімічного складу під впливом високої температури бетонних зразків фундаментів силосів методом термопрограмованої мас-спектрометрії.

Методи дослідження:

Дослідження методів, що призначені для вивчення фізико-хімічного складу бетону, їх аналіз та досвід використання з метою застосування в

дослідженнях. Використання методу скануючої електронної мікроскопії та термопрограмованої мас-спектрометрії в дослідженнях.

Апробація роботи:

Результати дослідження опубліковано в матеріалах IV Міжнародної науково-практичної конференції “ FUTURE OF SCIENCE:: INNOVATIONS AND PERSPECTIVES”, 23-22.05.2025 року у м. Стокгольм, Швеція.

«ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НА БЕТОН КОНСТРУКЦІЙ». Циганенко Л.А., Радіонов Ю.І.

РОЗДІЛ 2. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Постановка проблеми

Відповідно до звіту KSE Institute [1] в якій увійшла інформація за період з 24 лютого по 1 вересня 2022 року «сумарна ємність зруйнованих зерносховищ сягає 6,5 млн т виробленої продукції, а ємність пошкоджених зерносховищ перевищує 2,9 млн т потужностей одночасного зберігання» [1]. За час повномасштабного вторгнення РФ в Україну понад 8,5 млн т, а це більше 15% будівель зерносховищ пошкоджено або знищено повністю.

«Приблизно 1 з 6 (15,73%) українських сховищ врожаю — силосів, елеваторів та складів для зберігання зерна, — були знищені, пошкоджені росією та підпорядкованими їй силами, або потрапили під їх контроль з початку вторгнення 24 лютого. З 344 об'єктів, знятих супутниками для оцінювання, виявили, що 75 із них демонструють видимі пошкодження», — йдеться в повідомленні у [2].

Руйнування відбувались в наслідок влучання ракет, авіа снарядів та БПЛА. Конструкції зерносховищ піддавались впливу вибухової хвилі, дії вибуху від прямого потраплення снаряду, та пожежі, що виникає після вибуху, фото 1 та фото 2.



Фото 1. Пошкодження зерносховищ ударними дронами типу «Shahed»



Фото 2. Пошкодження зерносховищ внаслідок обстрілу

Конструктивне рішення зерносховища в Україні включає в себе наявність металевого каркасу та бетонної підлоги до якого він кріпиться (конструктивне рішення приведено в РОЗДІЛІ 4 Наявність зерна в зерносховищі під час пожежі суттєво ускладнює ситуацію та посилює руйнівний вплив на бетонні конструкції, до яких кріпиться металева конструкція. При горінні зерна виділяється велика кількість тепла, що призводить до різкого підвищення температури бетонних конструкцій. Бетон, хоч і є міцним матеріалом, але він має обмежену теплостійкість. При перевищенні критичної температури починаються процеси деградації. Різде нагрівання зовнішніх шарів бетону призводить до виникнення значних температурних градієнтів. Це спричиняє появу внутрішніх напружень, які можуть призвести до утворення тріщин і відшарування бетону від арматури. Розпечена металева конструкція сховища передає тепло бетону, посилюючи його руйнування. Крім того, при різному температурному розширенні бетону та металу можуть виникати додаткові напруження. Висока температура може провокує хімічні реакції між компонентами бетону та продуктами горіння зерна, що призводить до додаткового послаблення матеріалу. І головне те, що при нагріванні бетон втрачає вологу, що призводить до зменшення його міцності.

Все вище перелічене може призвести до великого ризику зниження міцності бетону внаслідок системи тріщиноутворення в ньому.

2.2 Поведінка бетону при підвищених температурах

Реакція бетонних конструкцій на підвищення температури під час пожежі, його стійкість до розтріскування залежить від типу бетону, його складу та експлуатаційних умов. Розглянемо звичайний, важкий та легкий бетони, які переважно використовуються.

Звичайний бетон (на основі портландцементу) досить вогнестійкий, але втрачає міцність при тривалому впливі високих температур. Проведені дослідження [3] показали, що при нагріванні вже до 200–400°C починається процес утворення мікротріщин через різницю в термічному розширенні компонентів (зокрема, цементного каменю та заповнювача):

- при 100–300°C відбувається втрата хімічно зв'язаної води в цементному каменю, з'являються мікротріщини через різницю у термічному розширенні цементу та заповнювачів.

- при 300–600°C початок процесу дегідратації, розкладання кальцій-гідроксиду $\text{Ca}(\text{OH})_2$ за рахунок інтенсивного розширення заповнювачів виникає утворення внутрішніх тріщин і відповідно зниження міцності на стиск приблизно до 50%.

При досягненні 600–800°C відбувається процес дегідратації цементного каменю, зі зниженням міцності майже на 83%: починається розкладання кальцій-силікат-гідратів CSH , основного гідрата цементу, що відповідає за зв'язування компонентів, розширення та/або розпад заповнювачів призводить до втрати цілісності бетону

При досягненні 800–1000°C і вище спостерігається втрата структурної міцності цементного каменю і перетворення його на пористий матеріал.

Важкий бетон із щільними заповнювачами, такими як граніт або базальт має вищу щільність і здатний поглинати більше тепла, але підвищена температура спричиняє тріщини через термічне розширення мінералів у заповнювачах. Гранітний заповнювач розкладається при 600–700°C, що негативно впливає на міцність.

Легкий бетон на легких заповнювачах, таких як пемза або керамзит має нижчу теплопровідність, що уповільнює нагрівання внутрішніх шарів. За рахунок чого менше утворюються тріщини через меншу щільність матеріалу. Але його міцність також значно знижується при температурах понад 400°C.

Таким чином можна сказати, що поведінка бетону під впливом високих температур залежить від типу цементу, заповнювачів та добавок. Вогнестійкість можна підвищити за рахунок введення спеціальних добавок (мікрОВОЛОКОН) та /або використання жаростійких матеріалів. Введення спеціальних добавок та домішок у бетон дозволяє підвищити його стійкість до високих температур. Існує чимало досліджень, які розглядають питання використання домішок для підвищення термостійкості бетону. Наприклад, домішки в бетон такі як метаколін і кремнезем, збільшили міцність бетону при температурі нагрівання до 200 °C [4]. Автори [4] відзначають, що ці добавки мають значний вплив на механічні властивості бетону після його піддавання високим температурам. Метаколін і мікросиліка підвищують щільність і міцність бетону, зменшують його водопоглинання та пористість, що робить бетон менш уразливим до впливу високих температур.

Дослідники [5] показали вплив мінеральних добавок, таких як мікросиліка, летучий попіл та шлак, на термостійкість бетону. Дослідники з'ясували, що ці добавки покращують термостійкість бетону, зменшуючи його схильність до утворення тріщин та руйнувань при нагріванні. Проведене дослідження вказує, що використання летучого попелу та мікросиліки може значно знизити пористість бетону, що покращує його здатність витримувати високі температури.

Додавання в бетон вогнетривких заповнювачів, таких як шамот, корунд або алюмінати дозволяє отримати *жаростійкий бетон*. Він призначений для роботи в умовах високих температур в межах 1000–1600°C . Шамот, як домішка має високу вогнестійкість, базальт або корунд збільшує термічну стабільність бетону, алюмінат забезпечує стійкість до температур до 1200°C. При нагріванні зберігає свої властивості, якщо температура не

перевищує межу проєктного призначення. Але сфера його застосування це печі, котли, димарі та інші об'єкти з прямим контактом із високими температурами.

Аналіз проведених досліджень у роботі [6] показує, що введення поліпропіленових волокон в бетон покращує його стійкість до тріщиноутворення під впливом високих температур- *фібробетон, фото 3.*

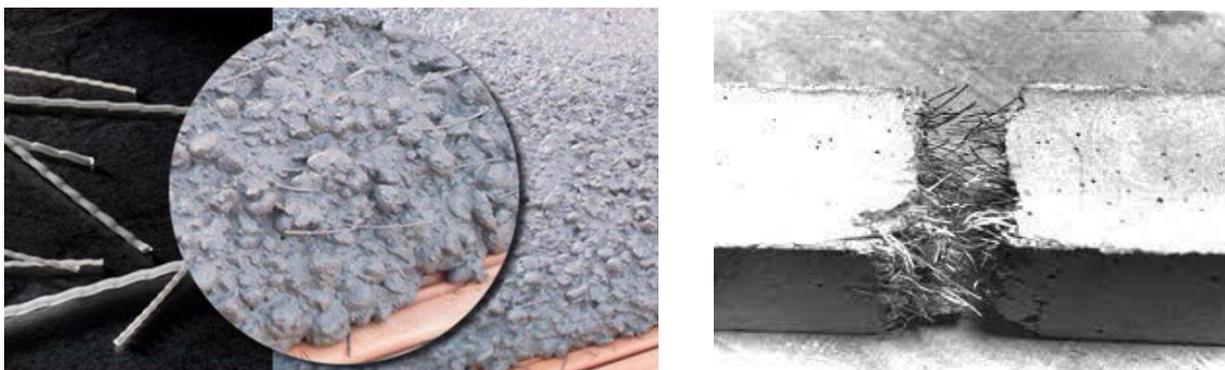


Фото 3. Фібробетон

Поліпропіленові волокна мають низьку температуру плавлення - 160–170°C , при нагріванні вони плавляться і утворюють у бетоні мікроканали. Хоча поліпропіленові волокна руйнуються під дією високої температури, бетон зберігає свою цілісність, тому що ці канали забезпечують вихід пари, яка утворюється через випаровування води в бетоні при нагріванні , що знижує ризик вибухового руйнування. Механізм цієї дії полягає в наступному:

1. Вивільнення пари:

- ❖ У звичайному бетоні пар, який утворюється при нагріванні, накопичується в порах. Це призводить до підвищення внутрішнього тиску.
- ❖ У бетоні з ПП-волоконми пар має шляхи для виходу через утворені канали, що запобігає підвищенню внутрішнього тиску.

2. Зменшення температурного розтріскування:

- ❖ Завдяки каналам напруження в бетоні через температурний градієнт знижуються.
- ❖ Зменшується ймовірність утворення тріщин, які викликані нерівномірним нагріванням. ПП-волокна покращують тріщиностійкість бетону завдяки

армуванню на мікрорівні, зменшують усадкові тріщини під час тверднення.

3. Зниження вибухового руйнування:

- ❖ Однією з головних проблем у високоміцних бетонних конструкціях є вибухове руйнування (споллінг) під час пожежі.
- ❖ ПП-волокна значно знижують ризик такого руйнування завдяки ефективному зменшенню внутрішнього тиску.

Ефективність поліпропіленових волокон залежить від їх концентрації у бетоні, зазвичай додають 0.9–2.0 кг/м³ бетону. Надмірна кількість волокон може знижувати механічну міцність бетону, тому важливо дотримуватися оптимальної концентрації. Як висновок, можна сказати, що поліпропіленові волокна є ефективним рішенням для підвищення термостійкості бетону. Вони не лише запобігають вибуховому руйнуванню під дією високих температур, а й сприяють збереженню міцності та цілісності конструкцій. Їх використання є стандартною практикою в будівництві об'єктів із високими вимогами до пожежної безпеки [7,8].

Іншими дослідниками [9] було встановлено, що процес тріщиноутворення та розтріскування в певній мірі залежить також від типу бетону та марки цементу, а в залежності від механізму впливу виділяють термогідравлічне, термомеханічне і термохімічне розтріскування бетону. Розтріскування бетону при високих температурах є результатом комплексного впливу термічних процесів, які впливають на його фізико-механічні, хімічні та гідравлічні властивості.

1. Термогідравлічне розтріскування пов'язано із накопиченням тиску всередині бетону через перетворення вологи в пару при нагріванні. Під час нагрівання вільна та зв'язана вода всередині пор бетону починає випаровуватися. Якщо нагрівання відбувається швидко, пара не встигає виходити через капілярну систему бетону. Це створює високий внутрішній тиск, який перевищує міцність матеріалу на розтяг. У результаті утворюються тріщини, які дозволяють парі вийти назовні.

Цей тип розтріскування найбільш поширений при швидкому нагріванні, наприклад, у випадку пожеж. Частіше постерігається в щільних і високоміцних бетонах через низьку пористість і погану паропроникність.

Знизити ризик виникнення цього виду розтріскування можна шляхом використання мікрОВОЛОКОН (наприклад, поліпропіленових), які створюють канали для виходу пари та оптимізації пористості бетону для забезпечення паропроникності.

2. Термомеханічне розтріскування виникає через термічне розширення компонентів бетону, що спричиняє утворенню внутрішніх напружень.

Різні компоненти бетону (цементний камінь, заповнювачі) мають різні коефіцієнти термічного розширення. При нагріванні заповнювачі розширюються швидше, ніж цементний камінь, що викликає значні механічні напруження на межах їх контакту. Коли ці напруження перевищують міцність бетону на розтяг, утворюються мікро- і макротріщини.

Цей тип розтріскування може проявлятися навіть при повільному нагріванні та залежить від типу заповнювачів (наприклад, кварцові заповнювачі розширюються сильніше, ніж базальтові).

Знизити ризик виникнення цього виду розтріскування можна шляхом використання заповнювачів з низьким коефіцієнтом термічного розширення (базальт, шамот) та підбором компонентів з узгодженими термічними властивостями.

3. Термохімічне розтріскування пов'язано із хімічними змінами у складі цементного каменю при високих температурах. При нагріванні відбувається дегідратація цементного каменю: розклад гідратів кальцію ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) на оксид кальцію (CaO) і воду. Утворений оксид кальцію при подальшому охолодженні може повторно взаємодіяти з водою, викликаючи "гасіння" вапна, що супроводжується збільшенням об'єму. Ці процеси створюють напруження в матеріалі, що призводить до тріщин. Цей тип розтріскування виникає при температурі понад 400°C , коли починається активний розклад

цементного каменю. Залежить від хімічного складу цементу та температурного режиму.

Знизити ризик виникнення цього виду розтріскування можна шляхом використання жаростійких цементів (наприклад, алюмінатного) та додавання мінеральних добавок, які підвищують термостійкість цементного каменю (зола-виносу, мікрокремнезем).

В таблиці 2.1 приведено порівняння видів розтріскування .

Табл.2.1 **Порівняння механізмів**

Механізм	Причина	Температурний діапазон	Особливості
Термогідравлічне	Тиск пари	100–300°C	Найбільший вплив у щільних бетонах
Термомеханічне	Термічне розширення	300–600°C	Залежить від типу заповнювачів
Термохімічне	Хімічні процеси	400–800°C і вище	Пов'язане з дегідратацією цементного каменю

В роботі [10] інші дослідники показали, що при нерівномірному нагріванні бетону до високих температур виникає температурний градієнт, який і призводить до його розтріскування.

Температурний градієнт – це різниця температур між різними шарами бетону (зазвичай між зовнішніми і внутрішніми шарами). При швидкому нагріванні під час впливу високої температури зовнішні шари бетону нагріваються швидше, ніж внутрішні. Причиною цього є раптовий поверхневий вплив високих температур, коли джерело інтенсивного нагрівання швидко нагрівають поверхню бетону, створюючи різницю температур та сама низька теплопровідність бетону із за якої зовнішнє тепло повільно проникає в глибші шари.

Температурний градієнт викликає механічні напруження в бетоні із за термічного розширення його зовнішніх шарів таким чином:

- ❖ Зовнішні шари бетону розширюються через підвищення температури.

- ❖ Внутрішні шари залишаються відносно холодними та нерухомими через низьку теплопровідність бетону.
- ❖ Оскільки різні матеріали, з яких складається бетон, мають різний коефіцієнт теплового розширення, виникають деформації. Ці деформації призводять до появи внутрішніх напружень, які можуть перевищити міцність бетону, що призводить до утворення тріщин

Основні чинники, що впливають на виникнення тріщин через температурний градієнт це:

1. Інтенсивність нагрівання- чим швидше відбувається нагрівання, тим більший температурний градієнт і, відповідно, більша ймовірність розтріскування.
2. Склад бетону. Високоміцний бетон із низькою пористістю має нижчу паропроникність і більшу схильність до утворення тріщин. Тип заповнювача також впливає, оскільки різні мінерали мають різні коефіцієнти термічного розширення.
3. Товщина конструкції. У конструкціях, що мають значну висоту перерізу температурний градієнт виражений сильніше, оскільки тепло повільно передається до внутрішніх шарів.
4. Наявність вологи. Внутрішня волога при нагріванні переходить у пару, що додатково створює тиск і посилює тріщиноутворення.

Процес утворення тріщин при температурному градієнті проходить таким чином:

1. На початковому етапі утворюються мікротріщини на межі між заповнювачем і цементним каменем через різницю в термічному розширенні.
2. Поширення тріщин. Мікротріщини збільшуються та з'єднуються через зростання напруги. Утворюються макротріщини, які проходять через зовнішні і внутрішні шари бетону.
3. Кінцевий етап. Бетон втрачає свою цілісність, що може призвести до повного руйнування конструкції.

Підсумовуючі вище описане можна зробити висновок, що єдиної думки, щодо розтріскування бетону під дією надвисоких температур дослідники не мають. На цей процес впливають різноманітні фактори, які повинні мати певні підтвердження. Підтвердження можна отримати шляхом проведення експериментальних досліджень на зразках, що отримані з реального об'єкту, що отримав пошкодження під час обстрілу та пожежі, що виникла після цього.

2.3 Методи дослідження структури бетону

Дослідити вплив високої температури на зміну хімічного складу бетону та ступінь руйнування бетону на дослідних зразках можна за допомогою електронної мікроскопії та термопрограмованої мас-спектрометрії.

Електронна мікроскопія є потужним методом для вивчення мікроструктури матеріалів, зокрема бетону, при дії надвисоких температур. Використання цього методу дає можливість глибше зрозуміти, як температура впливає на його структуру та властивості, зокрема на процеси, що призводять до розколювання та руйнування.

Електронна мікроскопія (ЕМ) дозволяє отримати зображення з високою роздільною здатністю завдяки використанню пучка електронів, які взаємодіють з матеріалом. Це дає змогу отримати дуже детальну картину внутрішньої структури матеріалів, включаючи:

- ❖ Сканувальну електронну мікроскопію (SEM) — для вивчення поверхневих характеристик і мікроструктури бетону.
- ❖ Трансмісійна електронна мікроскопія (TEM) — для дослідження структури на атомному рівні.

При нагріванні бетону до надвисоких температур вона дає змогу наочно спостерігати за процесами та проводити оцінювання за:

- ❖ Втратою води: При температурі понад 100°C вода починає випаровуватися, що веде до пористості і зміни мікроструктури. SEM може

показати збільшення пористості, руйнування гідратаційних продуктів і утворення пористих зон.

- ❖ Мінеральними перетвореннями: На високих температурах змінюються деякі мінеральні компоненти бетону, зокрема кальційгидроксид ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), який при нагріванні перетворюється в кальцієвий оксид (CaO). Це також можна спостерігати за допомогою електронної мікроскопії.

- ❖ Деструкцією гідратаційних продуктів: За високих температур (особливо понад 300°C) можуть руйнуватися гідратаційні продукти цементу (таких як гідросилікати кальцію), що призводить до зниження міцності і виникнення мікротріщин. СЕМ дозволяє досліджувати ці зміни в мікроструктурі.

- ❖ Визначати місце і характер тріщин: СЕМ допомагає виявити тріщини на мікрорівні, визначити їх глибину і зв'язок з різними фазами бетону.

- ❖ Аналізувати шляхи пошкодження: Високотемпературне пошкодження бетону може бути відображено як тріщини у межах мікроструктури, які можуть бути відмінними за характером у залежності від того, чи є в бетоні поліпропіленові волокна або інші добавки. ЕМ дає змогу проаналізувати саме ці шляхи та їх зв'язок з температурними умовами.

- ❖ Проводити оцінку пористості: Високі температури можуть сприяти збільшенню пористості бетону, що впливає на його механічні властивості. Електронна мікроскопія дозволяє детально оцінити ці зміни та їх вплив на міцність матеріалу.

- ❖ Проводити порівняння мікроструктури бетону до та після нагрівання. Спостереження за початковою мікроструктурою бетону, включаючи щільність структури, розподіл пор, зерна цементу та інші компоненти. Порівняння з мікроструктурою після високотемпературного впливу дозволяє оцінити ступінь пошкодження та зміни в структурі.

- ❖ Визначати вплив добавок та домішок (наприклад, поліпропіленові волокна, мікросиліка, летучий попіл) можуть впливати на його термостійкість:

❖ Визначати механізми термостійкості- детально досліджувати мікроструктурні зміни, які відповідають за механізми термостійкості бетону:

SEM дозволяє побачити, як зміна мікроструктури бетону при високих температурах впливає на його механічні характеристики, зокрема міцність і жорсткість (механічні властивості). Дослідження змін у структурі матеріалу під впливом температури дає змогу з'ясувати, як термогідралічні та термохімічні реакції впливають на фізичні властивості бетону (термогідралічні та термохімічні процеси).

TPD-MS (Temperature Programmed Desorption Mass Spectrometry) – це потужний аналітичний метод, який використовується для дослідження процесів десорбції газів і парів з поверхні твердих тіл [11,12] . TPD-MS є потужним інструментом для дослідження бетону, який дозволяє отримати детальну інформацію про його структуру, властивості та процеси, що в ньому відбуваються . При застосуванні до зразків бетону, цей метод дозволяє отримати детальну інформацію про:

- ❖ Склад пор: визначення розміру пор, їхньої форми та розподілу за розмірами.
- ❖ Вміст води: оцінка кількості вільної та зв'язаної води в бетоні.
- ❖ Природа адсорбованих речовин: ідентифікація різних типів молекул, адсорбованих на поверхні бетону (вода, органічні сполуки, іони).
- ❖ Термічна стабільність: оцінка стійкості матеріалу до нагрівання.
- ❖ Процеси деградації: виявлення ранніх стадій деградації бетону, наприклад, корозії арматури або розвитку мікротріщин.

Як працює TPD-MS при дослідженні бетону?

- ❖ Підготовка зразка: Зразок бетону подрібнюється до необхідного розміру частинок і поміщається в спеціальний контейнер.
- ❖ Нагрівання: Контейнер зразком поміщається в піч, яка поступово нагрівається до заданої температури.

- ❖ Десорбція: При нагріванні з поверхні зразка починають десорбуватися різні гази і пари.
- ❖ Іонізація: Десорбовані молекули іонізуються за допомогою електронного удару або інших методів.
- ❖ Мас-спектрометрія: Іони розділяються за масою за допомогою мас-спектрометра, що дозволяє ідентифікувати різні компоненти.
- ❖ Аналіз даних: Отримані дані обробляються за допомогою спеціального програмного забезпечення, що дозволяє побудувати криві десорбції, визначити температури піків десорбції та ідентифікувати компоненти.

Висновки

Електронна мікроскопія є потужним інструментом для вивчення змін у мікроструктурі бетону під високими температурами. Вона дозволяє:

- Визначити глибину та характер розколювання бетону.
- Зрозуміти вплив високих температур на різні компоненти бетону.
- Оцінити вплив добавок і домішок на термостійкість бетону.

Ці знання важливі для розробки більш стійких до високих температур бетонних сумішей і для покращення їх поведінки при умовах пожежі. Та зрозуміти як впливають надвисокі температури на характер та ступінь руйнування бетону з метою можливості відновлення будівельних конструкцій.

РОЗДІЛ 3. ТЕХНІЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ БУДІВЛІ

3.1 Характеристика об'єкта

Під час обстрілу с-ща Залізничне та с.Граково Харківської області постраждали будівлі та споруди підприємства ТОВ «Новаагро Україна».

На фото 3.1 показано місце розташування об'єктів, які підлягали обстеженню.

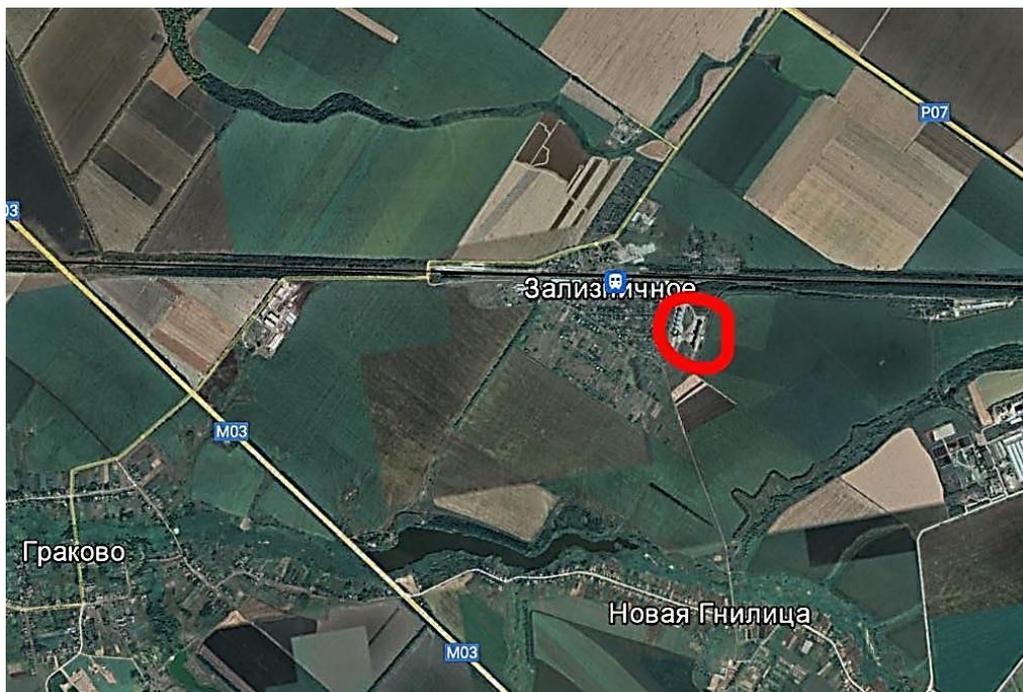


Фото 3.1. Ситуаційний план та схема розташування ділянки будівель

Було пошкоджено будівлі зерносховища, елеватору та інші примикаючі будівлі, фото 3.2.

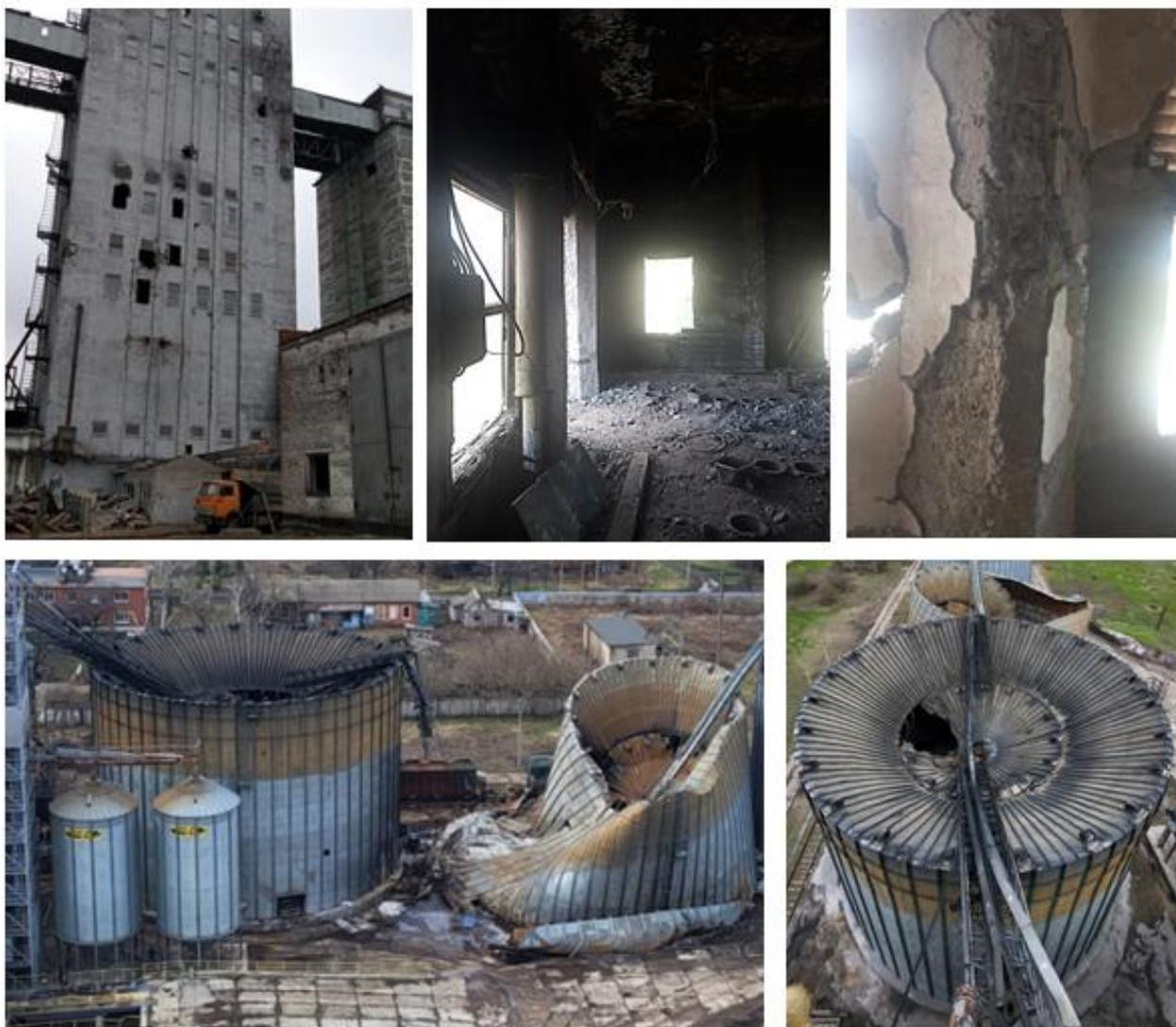


Фото 3.2. Загальний вигляд пошкоджених будівель

3.2 Технічне обстеження

На підготовчому етапі обстеження було здійснено попередній огляд об'єкта в цілому та його конструктивних особливостей, а також оцінено загальний технічний стан. Було проведено збір вихідних даних.

У процесі обстеження виконувалися обмірні роботи, проводився натурний огляд конструкцій із фіксацією та фотографуванням виявлених

дефектів і пошкоджень. Також формувались обмірні креслення в обсязі, що необхідні для проведення обстеження.

Проводилось інструментальне обстеження , інструменти та прилади, за якими проводились роботи наведено в таблиці 1.

Табл. 3.1.

Перелік інструментів та приладів, що використовувались при обстеженні

№ п/п	Найменування	Марка	Призначення
1	2	3	4
1.	Рулетки механічні	P5Y3П Montero	Обміри будівельних конструкцій
2.	Далекомір	Leica DISTO: D2 (0633723908)	Вимірювання відстаней
3.	Лупа вимірвальна	ЛП-10 ^x (103)	Визначення ширини розкриття тріщин.
4.	Молоток, зубило.		Зондування конструкцій
5.	Лазерний нівелір	PLS ³ (A93794)	Визначення прогинів конструкцій, відхилення від вертикалі
6.	Фотокамера	Canon Power Shot A610(PS1146),	Фотозйомка
7.	Ліхтар електричний	Expert light LP-8437 Expert light LP-3366	Огляд конструкцій в погано освітлених місцях.

Визначення технічного стану будь яких будівельних конструкцій потрібно проводити у відповідності до [17] за чотирма категоріями п. 5.2 , що наведені у ДОДАТКУ 1. Визначались категорії технічного стану об'єкта в цілому у відповідності до п. 5.3 [17] та відповідно до п. 5 [18] визначалась категорія відповідальності конструкцій та їх елементів. Відомості щодо вибору наведено у ДОДАТКУ 1.

Відповідно до п. 5.2 [17] визначено, що технічний стан зерносховища відповідає 4 –аварійний, за п. 5.3 [17] категорія технічного стану об'єкта в цілому прийнята як «4» - аварійна, основні конструкції зерносховища не підлягають відновленню.

3.3 Пошкодження зерносховища

Внаслідок обстрілу, найбільш було пошкоджено зерносховище, фото 3.3. В даному приміщенні зберігались соняшник та кукурудза. Під час обстрілу виникла пожежа поряд та всередині сховища.

На фото видно, що там де була пожежа бетон чорного кольору на поверхні, а на відстані приблизно 3м від епіцентру пожежі колір бетону нагадує звичайний, як такий якого не торкнулась пожежа (фото 3.3).



Фото 3.3 Наслідки пожежі у зерносховищі:

а – епіцентр надвисоких температур; б – бетонна підлога в епіцентрі надвисоких температур;

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

4.1 Дослідження зразків

Дослідження руйнування бетону, зміна його структури та хімічного складу під впливом дії надвисоких температур під час пожежі яку спричинив вибух проводилось для зразків, які було отримано під час проведення обстеження технічного стану пошкоджених конструкцій зерносховища у с.Граково, Харківської області, фото 3.1 РОЗДІЛУ 3.

Було взято дослідні зразки бетону у кількості 6 штук на різній відстані від епіцентру пожежі та один контрольний зразок, що не пошкоджений: 1 – контрольний, 2 – на відстані 1 м від епіцентру, 3 – на відстані 1,5 м від епіцентру, 4 – на відстані 0,5 м від епіцентру, 5 – епіцентр пожежі, 6 (1) та 6 (2) – на відстані 2 м від епіцентру.



Фото 4.2. Дослідні зразки бетону в залежності від відстані епіцентру пожежі

Як бачимо, бетон пошкоджено, в окремих місцях зруйновано. Метою дослідження зразків було визначення та аналіз структурних та хімічних змін в бетоні під впливом надвисоких температур та можливий механізм розтріскування бетону .

4.2 Дослідження зміни мікроструктури зразків бетону під впливом надвисоких температур методом електронної мікроскопії

Дослідження мікроструктури зразків бетону проводили методом скануючої електронної мікроскопії за використання приладу РЕМ 106.

Аналіз зразків показав, що вони мають різну структурну зміну в залежності від висоти температури та тривалості впливу, фото 4.3 та фото 4.4

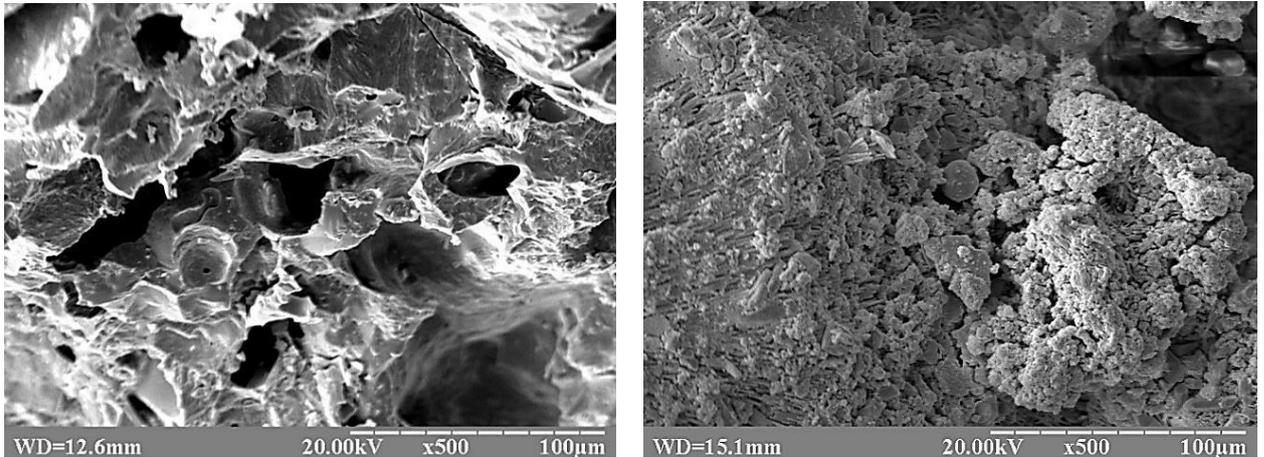


Фото 4.3 Зображення структурних змін :

а) у бетонному зразку № 2 , що був відібраний на відстані 1 м від центру **пожежі**; б) у бетонному зразку № 3, що був відібраний на відстані 1,5 м від епіцентру .

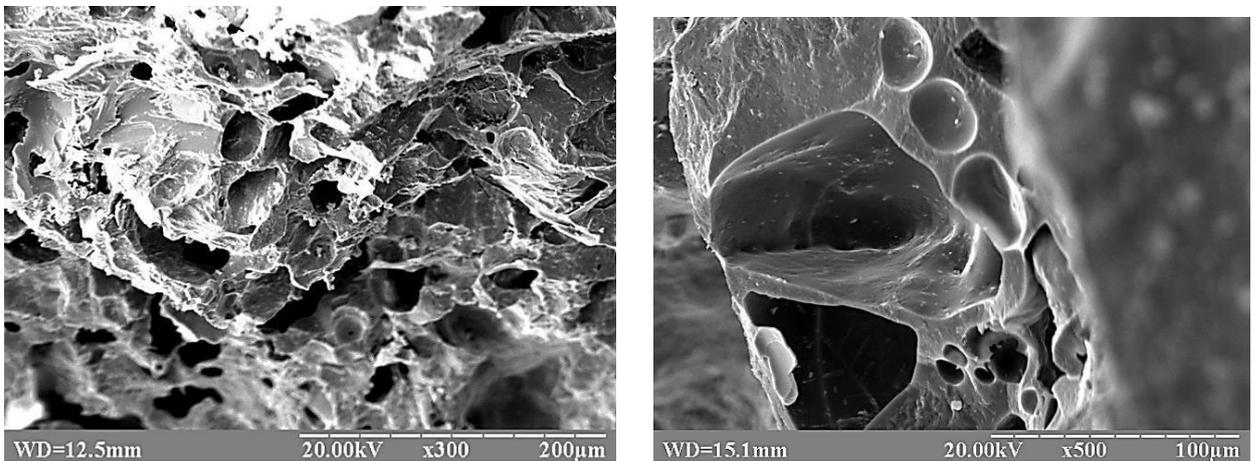


Фото 4.4 Зображення структурних змін :

а) у бетонному зразку № 5, що був відібраний з епіцентру пожежі; б) у бетонному зразку № 4, що був відібраний на відстані 0,5 м від центру пожежі.

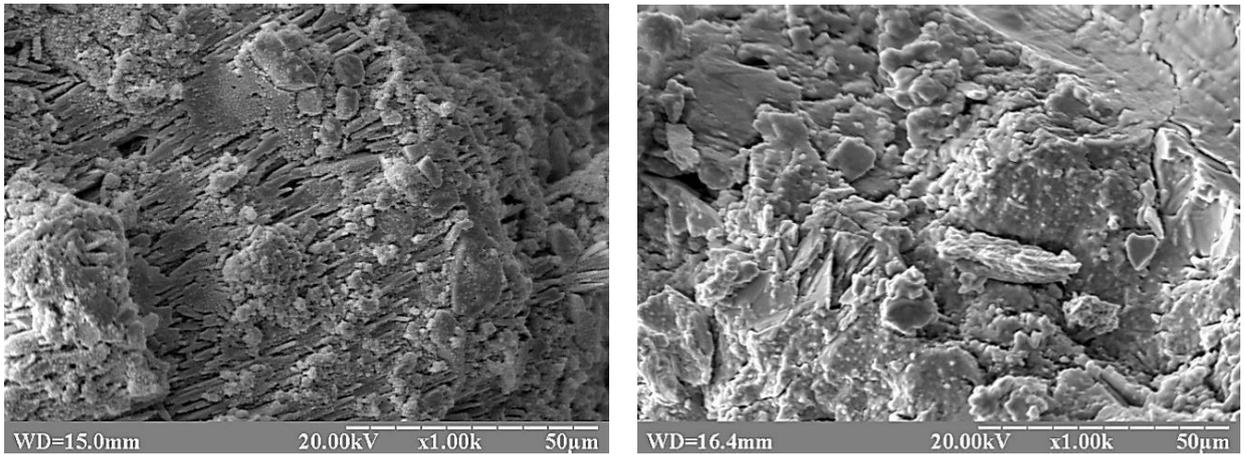


Фото 4.5 Зображення структурних змін : а) у бетонному зразку № 6 бетону, що був відібраний на відстані 2 м від центру **пожежі**; б) у бетонному зразку № 1 контрольному (не пошкоджений бетон).

Зразок № 2, який взятий на відстані 1 м від центру пожежі має повністю зруйновану структуру бетону (оплавлена поверхня), фото 4.3. Зразок № 3, що був відібраний на відстані 1,5 метри від центру пожежі потрапив у зону впливу надвисоких температур , що можна побачити на загальному фото 3.1. Але сам зразок №3 має рихлу структуру зруйнованої поверхні, яка утворилась під впливом температури 300–600 °С в наслідок перепадів порового тиску що виникає при википанні води. В ньому відбулась зміна кольору на більш світлий ніж у контрольного зразку №1.

У зразках №4 та № 5 спостерігаємо повну зміну структури бетону під впливом температури біля 1200 °С. За допомогою скануючої електронної мікроскопії у зразку № 5 встановлено оплавлену та закипівшу структуру бетону, яка утворилась в результаті впливу температури біля 1200 °С. В ньому відбулось теплове розширення та розтріскування бетону [13,14]. Зразки і, складники бетону повністю перетворились на суцільну пористу масу.

Зразок № 6 (фото 4.5) має під мікроскопом рихлу структуру, в ньому простежується зміна кольору на більш блідий, при порівнянні його з контрольним зразком бетону №1. Зразки № 3 та №6 мають геть інший колір поверхні, на їх поверхні присутен чорний наліт золи. Зміна кольору та

наявність наліту відповідає проведеним дослідженням [15] яке встановило, що пошкодження бетону надвисокими температурами проявляється у вигляді розтріскування його поверхні, зміна кольору поверхні пов'язана з розкладанням в'язучої матриці.

Зразки №2, №3 та № 6 червоного відтінку, який може виникати із за присутності в бетоні залізу або кремнію у його складі. При цьому зміна кольору відбувається при нагріванні бетонного зразку до температури 600–900 °С.

При дослідженні мікроструктури бетону контрольного зразку №1 (що був поза межами епіцентру пожежі) було визначено, що його структура характерна для будівель віком наближеним до 18 років, є незначне явище часткової корозії поверхні бетону, що виникла під час експлуатації будівлі.

4.3. Дослідження зміни мікроструктури зразків бетону під дією надвисоких температур за допомогою термопрограмованої мас-спектрометрії TPD-MS

Для проведення дослідження використовувались зразки бетону розміром 0,2-0,5 см² на різній відстані від центру пожежі. Бетонні зразки отримано з бетонної основи зерносховища, що була під впливом надвисоких температур. Для дослідження зміни мікроструктури зразків бетону під дією надвисоких температур була використана установка термопрограмованої мас-спектрометрії (TPD MS). Для проведення дослідження обирались зразки вагою від 5 до 10 мг які нагрівалися температурою від 40 до 900 °С. Разом з нагрівом зразків проводилась робота щодо виявлення та фіксації суміші газів, що виділялися під час нагріву зразків. Зафіксовані під час нагріву зразків гази ідентифікувалися за їх молекулярними масами (m/z):

$H_2O - 18, CO - 28, CO_2 - 44, S - 32, SO - 48, SO_2 - 64.$

Вода $H_2O - 18.$

При дослідженні виділення води зі зразків методом TPD-MS було

визначено, що зразок бетону № 3 мав найбільшу інтенсивність 0,8 при нагріванні до температури 100 °С, рис.3.1. Наступними за інтенсивністю виділення води методом TPD-MS були зразки №2 та №4- інтенсивність виділення H₂O складала 0,4.

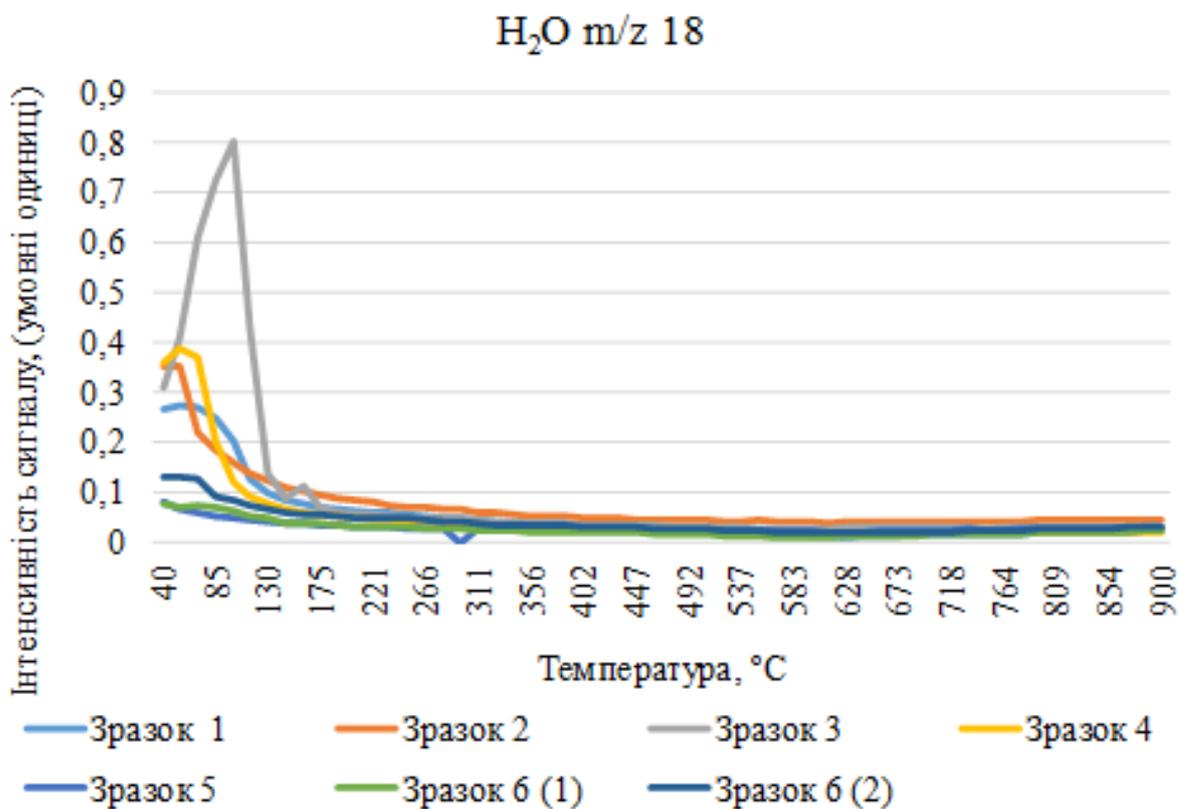


Рисунок 4.1. Термограма H₂O зі зразків, що були відібрані на різній відстані від центру дії надвисоких температур.

Випарування води (H₂O) відбувається більш інтенсивно зі зразку бетону № 3, та знано менше з контрольного зразку №1 та зразків № 2 та № 4. Зазначені дослідні зразки піддалися впливу високих температур, однак час нагрівання не був тривалим і хімічно зв'язана вода залишилась в бетоні.

Оксид вуглецю CO – 28.

Спочатку було проведено дослідження зразку №1 (контрольного) та визначено, що CO виділяється з інтенсивністю 0,01 при температурі 583 °С, рис.3.1. Оксид вуглецю виділяється зі зразка № 3 з інтенсивністю 0,016 при

температурі 100 °С, а зі разка № 6 (1) – з інтенсивністю 0,006, ці піки показано на рис.4.2.

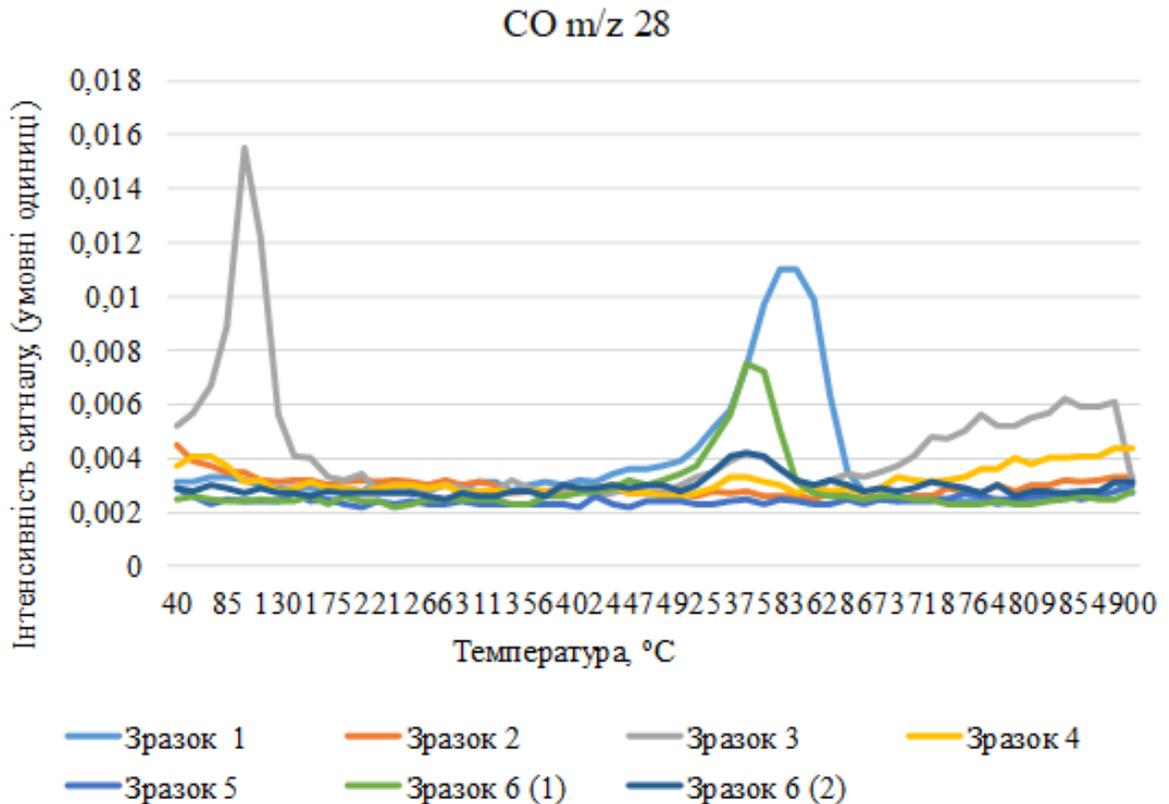


Рисунок 4.2. Термограма оксиду вуглецю CO зі зразків, що були відібрані на різній відстані від центру дії надвисоких температур.

Діоксид вуглецю CO₂ – 44

При дослідженні зразків методом TPD-MS було встановлено, що у зразку № 1 (контрольному) діоксид вуглецю виділяв з інтенсивністю 0,16 при нагріванні до t=583 °С.

Зразок № 6 (1), фото 3.5 також виділяв CO₂ з інтенсивністю 0,1 при нагріванні до температури 537 °С. У зразках бетону №4, № 6(2) та № 3 виділення CO₂ було мінімальним з інтенсивністю 0,04 при температурі 537 °С. У зразках бетону № 2 та № 5 діоксид вуглецю не виділявся, рис.4.3.

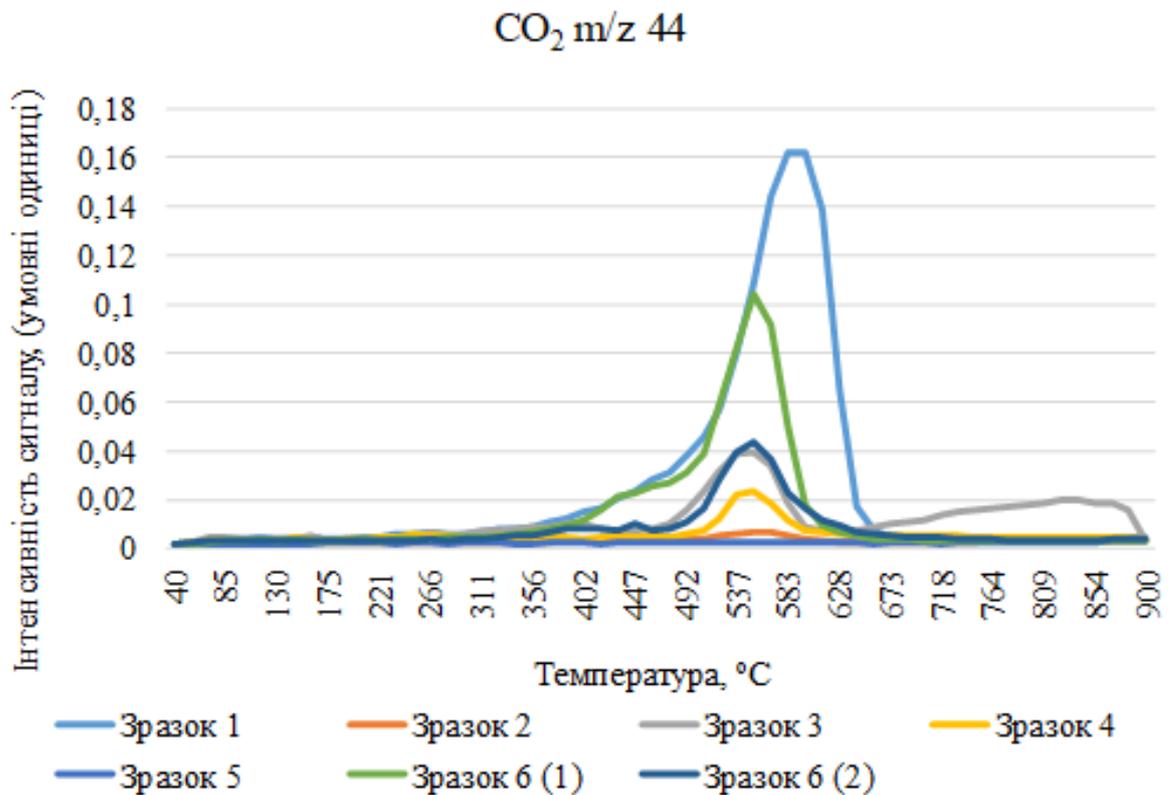


Рисунок 4.3. Термограма CO₂ зі зразків, що були відібрані на різній відстані від центру дії надвисоких температур.

Ці дані підтверджуються в роботі [16], де дослідники провели дослідження зразків бетону методом TPD-MS та показали, що вміст карбонів (CO, CO₂) швидко зменшується коли температура досягає 600-800 °C.

Так у термограмі на рис. 3.2 та 3.3 побачимо, що зразки бетону № 3, № 6(1) та контрольний №1 мали в своєму складі CO та CO₂, тоді як в інших зразках бетону, отриманих на незначній відстані від **пожежі** карбони не виділялись.

Сірка S – 32.

Проведений аналіз термограми виділення сірки у зразках бетону були відібрані на різній відстані від епіцентру дії надвисоких температур показав, що ці всі зразки мали однаково інтенсивність її виділення в діапазоні від 0,0015 до 0,002, рис.3.4.

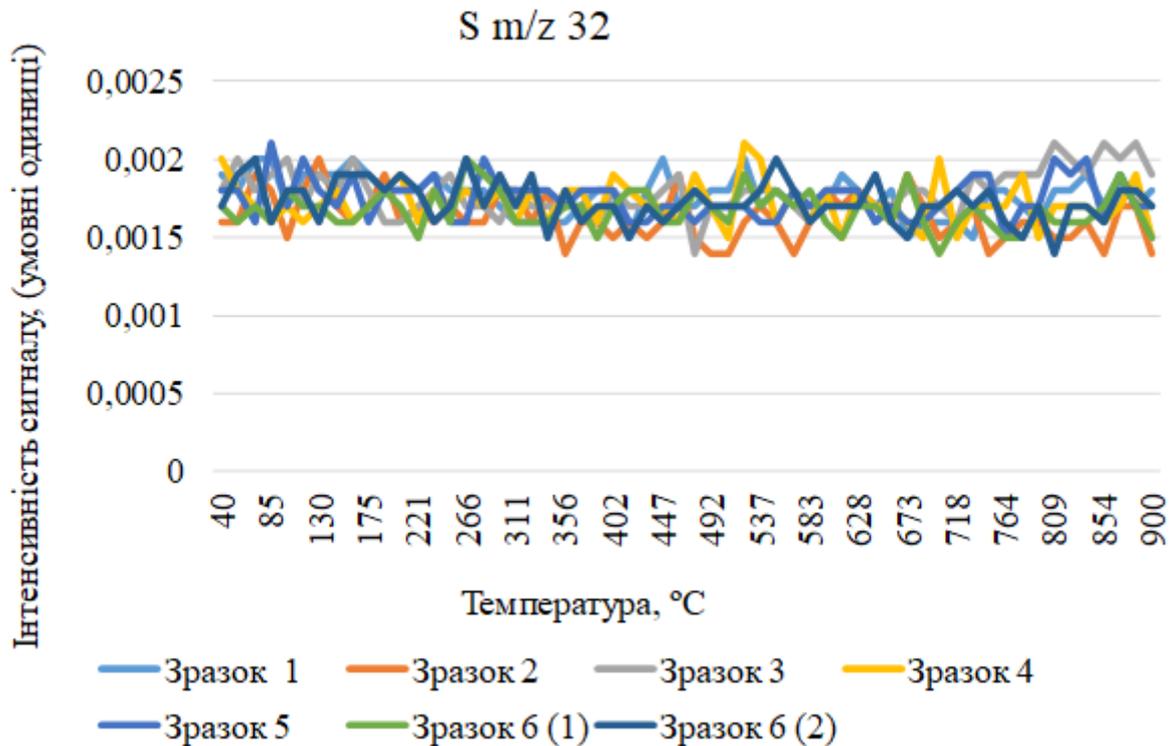


Рисунок 4.4. Термограма сірки S зі зразків, що були відібрані на різній відстані від центру дії надвисоких температур.

Показники вмісту сірки S в усіх досліджуваних зразках вказують на те, що не зважаючи на відстань від епіцентру дії надвисоких температур продукти горіння (сірка S) потрапили у бетон.

Діоксид сірки SO₂

Виділення продукту реакції горіння сірки – діоксид сірки SO₂ спостерігалось в зразку № 3 при температурі 874 °C з інтенсивністю 0,0035, рис.4.5.

До того ж, у зразку №3 із за високої температури утворився SO, чого не простежується в інших зразках, рис. 3.6. Це можна пояснити тим, що зразок №3 було взято з міста, де на поверхні бетону залишились залишки зернових, які там зберігались.

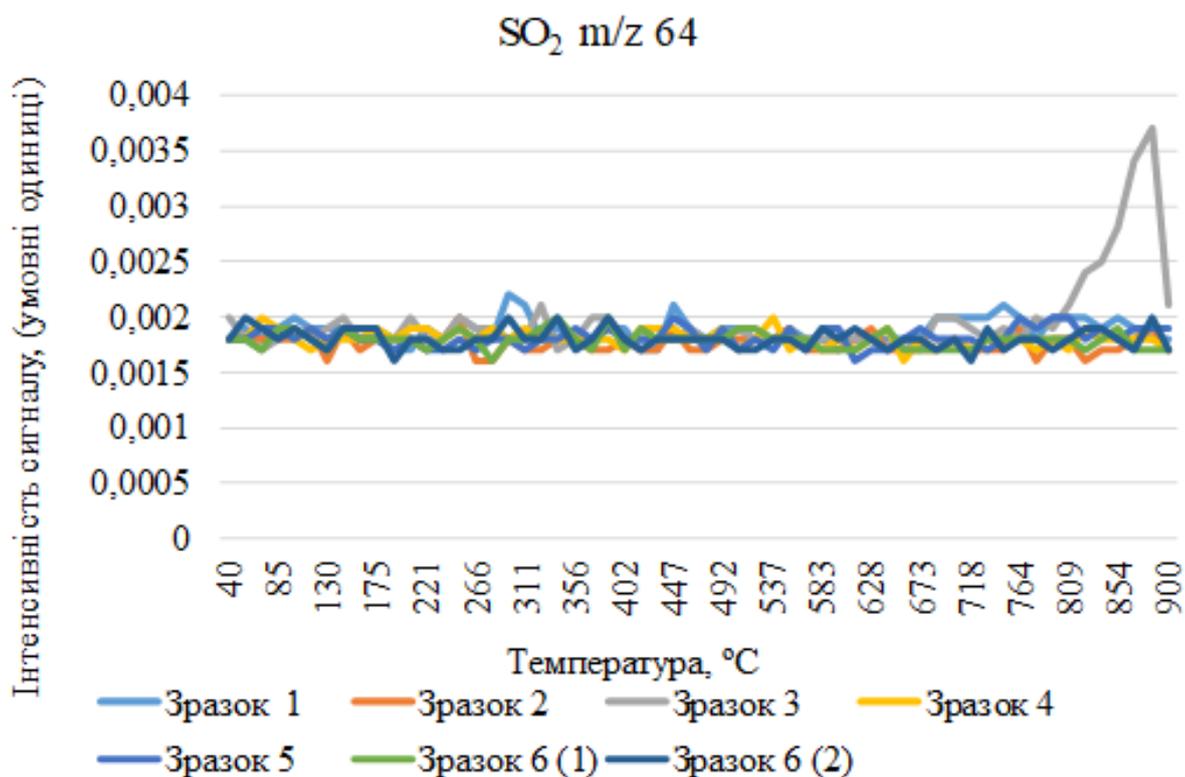


Рисунок 4.5 Термограма діоксиду сірки SO₂ зі зразків, що були відібрані на різній відстані від центру дії надвисоких температур.

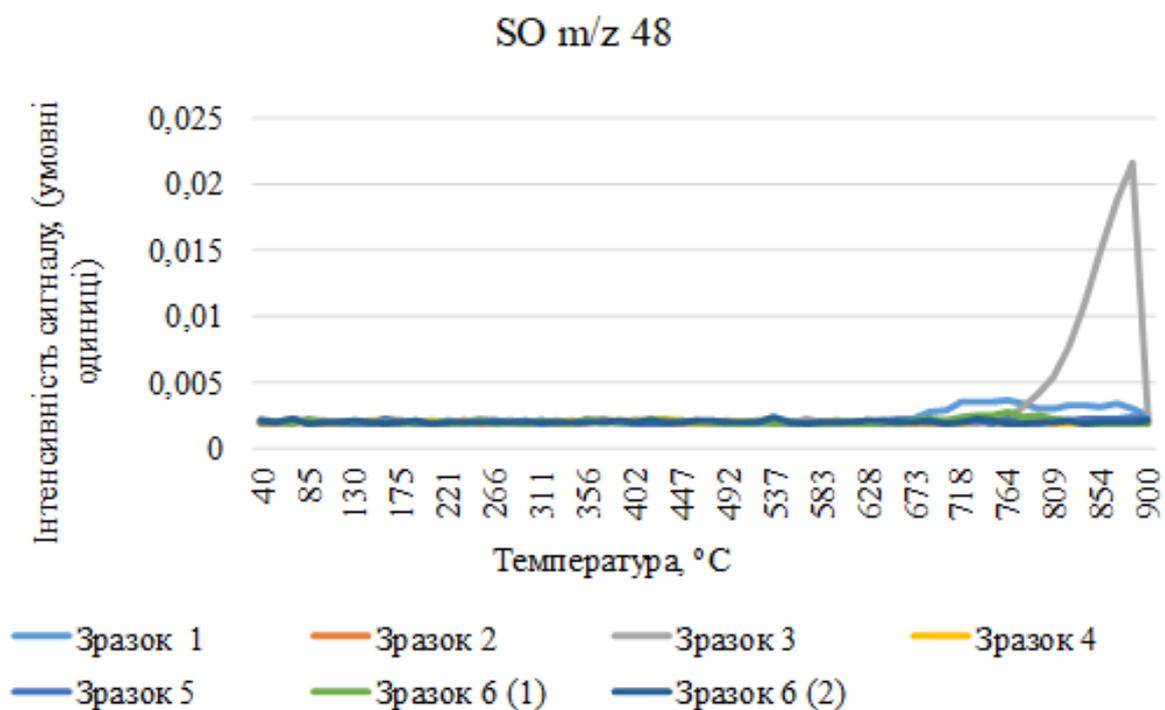


Рисунок 4.6. Термограма SO зі зразків, що були відібрані на різній відстані від центру дії надвисоких температур

4.4 Висновки з досліджень.

Проведене дослідження зразків бетону методом скануючої електронної мікроскопії та за допомогою Temperature Programmed Desorption Mass Spectrometry (TPD MS) показали, що вплив надвисоких температур суттєво впливає на зміну структури бетону та його хімічний склад.

Виникаючий температурний градієнт під час нерівномірного нагрівання бетонної поверхні внаслідок дії надвисоких температур визиває виникнення механічних напружень та як наслідок розтріскування бетону.

Аналіз термограм бетонних зразків, які були відібрані на різній відстані від епіцентру дії надвисоких температур показали зміну у місту карбонів CO та CO₂ що показує на термохімічне руйнування бетону.

Проведене дослідження носить певний суб'єктивний аспект, який пов'язаний з тим, що всі зразки взято на одному об'єкті, де склалися конкретні характерні умови пожежі для цього об'єкта. До того ж, важко визначити точну величину температури, при якій відбулися зміни в бетонних зразках, тому що пожежа мала неконтрольований характер. Однак це не впливає на достовірність проведених та отриманих результатів, які чітко показали зміни термохімічного та термомеханічного характеру, що відбулися в бетоні дослідних зразків що попали під вплив високих температур.

Напрямок подальших досліджень може бути спрямований на пошук домішок в бетон, які можуть збільшити його термохімічну та термомеханічну стійкість.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. https://kse.ua/wp-content/uploads/2022/10/Sep22_FINAL_Sep1_Damages-Report.docx.pdf
2. <https://uga.ua/news/ukrayina-vtrabila-kozhne-shoste-zernoshovichhe-cherez-vijnu-doslidzhennya/>
3. Ghyvljud, M. M. Parkhomenko V.-P. O., Brajchenko S. P. (2016). [Temperature dependence of strength properties of concrete based on composite cement]. Vydavnyctvo Ljvivsjka politehnika. 844, 47–52
4. Alhamad, A., Yehia, S., Lubl6y,  ., & Elchalakani, M. (2022). Performance of Different Concrete Types Exposed to Elevated Temperatures: A Review. Materials (Basel, Switzerland), 15(14), 5032. <https://doi.org/10.3390/ma15145032>
5. "Effect of Mineral Additives on the Fire Resistance of Concrete" Автори: А. А. HUSSAIN, M. S. ALI, S. A. AL-SHAYEA
6. Mohammed, H., Ahmed, H., Kurda, R., Alyousef, R., & Deifalla, A. F. (2022). Heat-Induced Spalling of Concrete: A Review of the Influencing Factors and Their Importance to the Phenomenon. Materials (Basel, Switzerland), 15(5), 1693. <https://doi.org/10.3390/ma15051693>
7. Ewa Rudnik, Tomasz Drzymała Thermal behavior of polypropylene fiber-reinforced concrete at elevated temperatures, Volume 131, pages 1005–1015, (2018). Journal of Thermal Analysis and Calorimetry
8. 2. Cristian Maluk a, Luke Bisby a, Giovanni P. Terrasi b Effects of polypropylene fibre type and dose on the propensity for heat-induced concrete spalling. Engineering Structures Volume 141, 15 June 2017, Pages 584-595
9. Liu, J. C., Tan, K. H., & Yao, Y. (2018). A new perspective on nature of fire-induced spalling in concrete. Construction and Building Materials, 184, 581-590, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.204>.
10. Choe, G., Kim, G., Yoon, M., Hwang, E., Nam, J., & Guncunski, N. (2019). Effect of moisture migration and water vapor pressure build-up with the

- heating rate on concrete spalling type. Cement and Concrete Research, 116, 1-10, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.10.021>.
11. Vesna Rakić, Ljiljana Damjanović-Vasilić Temperature-Programmed Desorption (TPD) Methods/ Calorimetry and Thermal Methods in Catalysis (pp.131-174)/ DOI:10.1007/978-3-642-11954-5_4
12. E. de Hoffmann, V. Stroobant. "Mass Spectrometry: Principles and Applications" . John Wiley & Sons, 2007 p, 512c.
13. Sundin, M., Hedlund, H., & Cwirzen, A. (2023). Eco-Concrete in High Temperatures. Materials (Basel, Switzerland), 16(12), 4212. <https://doi.org/10.3390/ma16124212>
14. Oksana I. Shkromada, Dmytro H. Volkov, Viktoriia D. Ivchenko, Liudmyla A. Tsyhanenko...DETERMINATION OF CONCRETE THERMO-CHEMICAL DESTRUCTION REGULATIONS UNDER THE INFLUENCE OF HIGH TEMPERATURES. 2024, 32(2), pp. 423–433
15. Wróblewska, J., & Kowalski, R. (2020). Assessing concrete strength in fire-damaged structures. Construction and Building Materials, 254, 119122. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119122>.
16. Shkromada, O., Ivchenko, V., Chivanov, V., Tsyhanenko, L., Tsyhanenko, H., Moskalenko, V., Kyrchata I. ., Shersheniuk, O., & Litsman, Y. (2021). Defining patterns in the influence exerted by the interrelated biochemical corrosion on concrete building structures under the conditions of a chemical enterprise . Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(6 (110), 52–60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.226587>.
17. ДБН В.1.2-14:2018 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Зі Зміною № 1
18. ДСТУ - 8855:2019 "Будівлі та споруди. Визначення класу наслідків (відповідальності)".
19. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану.

- 20.І. П. Гамеляк, В. В. Кулак, Є. О. Захарченко Удосконалення методики оцінки міцності цементобетону при непрямих вимірюваннях методами неруйнівного контролю. Науково-технічний журнал “сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві”, с 42-51, 2021
- 21.Навантаження і впливи: ДБН В.1.2.-2:2006 [Чинний від 2007-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2006. – 59 с. – (Національні стандарти України).
- 22.ДСТУ Б В.2.6-156:2010 Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування.
- 23.ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення

Визначення технічного стану окремих будівельних конструкцій виконувалось у відповідності до ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану» за чотирма категоріями (п. 5.2):

«1» - нормальний – фактичні зусилля елементах та перерізах конструкції не перевищують допустимих за розрахунком, відсутні дефекти та пошкодження, які знижують несучу здатність та довговічність або перешкоджають нормальній експлуатації;

«2» – задовільний – за експлуатаційними якостями конструкція відповідає категорії технічного стану «1», але мають місце часткові відхилення від вимог проекту, дефекти або пошкодження, які можуть знизити довговічність конструкції або частково порушити вимоги другої групи граничних станів, що в конкретних умовах експлуатації конструкції не обмежує використання об'єкта за визначеним призначенням;

«3» – непридатний до нормальної експлуатації – конструкція не відповідає категоріям технічного стану «1» та «2» щодо несучої здатності або нормальної реалізації захисних функцій, але аналіз дефектів і пошкоджень з перевірними розрахунками виявляє можливість забезпечення її цілісності до проведення ремонту, підсилення або заміни;

«4» – аварійний – порушені вимоги першої групи граничних станів (або неможливо запобігти цим порушенням), і аналіз дефектів та пошкоджень з перевірними розрахунками показує неможливість гарантувати цілісність конструкції до проведення її ремонту, підсилення або заміни (особливо, якщо можливий «крихкий» характер руйнування), або остаточно втрачена можливість нормальної реалізації захисних функцій конструкції.

Визначення категорії технічного стану об'єкта в цілому виконувалось відповідно до п. 5.3 ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану» за чотирма категоріями.

Об'єкт в цілому відносять до категорії технічного стану «1» - *нормальний* за умови, що всі його конструкції віднесено до категорії технічного стану «1».

Об'єкт в цілому відносять до категорії технічного стану «2» - *задовільний* за умови, що в ньому є конструкції з технічним станом категорії «2» відсутні конструкції категорії відповідальності А1, А або Б з технічним станом категорії «3» або «4» (допускається наявність окремих конструкцій категорії відповідальності В з технічним станом категорії «3» за умови, що це не обмежує використання об'єкта за визначеним призначенням.

Об'єкт в цілому відносять до категорії технічного стану «3» - *не придатний до нормальної експлуатації* за умови, що в ньому є конструкції категорії відповідальності А1, А або Б з технічним станом категорії «3» і відсутні конструкції цих категорій відповідальності з технічним станом категорії «4» (Допускається наявність окремих конструкцій категорії відповідальності В з технічним станом категорії «4» за умови відсутності небезпеки від них для життя і здоров'я людей, майна та довкілля.

Об'єкт в цілому відносять до категорії технічного стану «4» - *аварійний* за умови, що в ньому є конструкції категорії відповідальності А1, А або Б з технічним станом категорії «4».

Категорія відповідальності конструкцій та їх елементів визначена відповідно п. 5. ДБН В.1.2-14-2009. «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ» залежно від наслідків, які можуть бути викликані відмовою, розрізняють три категорії відповідальності конструкцій та їх елементів:

А – конструкції та елементи, відмова яких може призвести до повної непридатності до експлуатації будівлі (споруди) в цілому або значної її частини.

Б – конструкції та елементи, відмова яких може призвести до ускладнення нормальної експлуатації будівлі (споруди) або до відмови інших конструкцій, які не належать до категорії А.

В – конструкції, відмови яких не призводять до порушення функціонування інших конструкцій або їх елементів.

CERTIFICATE

is awarded to

Radionov Yurii

for being an active participant in
IV International Scientific and Practical Conference
**“FUTURE OF SCIENCE: INNOVATIONS
AND PERSPECTIVES”**

24 Hours of Participation

(0,8 ECTS credits)

STOCKHOLM

23-25 February 2025

sci-conf.com.ua



UDC 001.1

The 4th International scientific and practical conference “Future of science: innovations and perspectives” (February 23-25, 2025) SSPG Publish, Stockholm, Sweden. 2025. 399 p.

ISBN 978-91-87224-03-4

The recommended citation for this publication is:

Ivanov I. Analysis of the phaunistic composition of Ukraine // Future of science: innovations and perspectives. Proceedings of the 4th International scientific and practical conference. SSPG Publish. Stockholm, Sweden. 2025. Pp. 21-27. URL: <https://sci-conf.com.ua/iv-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-future-of-science-innovations-and-perspectives-23-25-02-2025-stokholm-shvetsiya-arhiv/>.

Editor

Komarytsky M.L.

Ph.D. in Economics, Associate Professor

Collection of scientific articles published is the scientific and practical publication, which contains scientific articles of students, graduate students, Candidates and Doctors of Sciences, research workers and practitioners from Europe, Ukraine and from neighbouring countries and beyond. The articles contain the study, reflecting the processes and changes in the structure of modern science. The collection of scientific articles is for students, postgraduate students, doctoral candidates, teachers, researchers, practitioners and people interested in the trends of modern science development.

e-mail: sweden@sci-conf.com.ua

homepage: <https://sci-conf.com.ua>

©2025 Scientific Publishing Center “Sci-conf.com.ua” ®

©2025 SSPG Publish ®

©2025 Authors of the articles

26.	<i>Попов С. М., Гребшиков М. О.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ РУЙНУВАННЯ ПОВЕРХНІ В УМОВАХ НАШАРУВАНЬ ЗНОСОСТІЙКИМ СПЛАВОМ	122
27.	<i>Сліденко М. О., Малогулко Ю. В.</i> ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ МАЛИХ МОДУЛЬНИХ РЕАКТОРІВ У ПОРІВНЯННІ ІЗ СУЧАСНИМИ ЯДЕРНИМИ РЕАКТОРАМИ ВЕЛИКОЇ ПОТУЖНОСТІ	127
28.	<i>Циганенко Л. А., Радіонов Ю. О.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НА БЕТОН КОНСТРУКЦІЙ	134
PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES		
29.	<i>Pysarenko A. M.</i> THERMOGRAPHY OF DEFECTS IN LAMINAR COMPOSITES	138
30.	<i>Tsukanova A. O.</i> SOME NON-STANDARD EXAMPLES FROM INTEGRAL CALCULUS	142
31.	<i>Калайда О. Ф.</i> НОВІ КЛАСИ МАГІЧНИХ МАТРИЦЬ	150
32.	<i>Калайда О. Ф.</i> НОВІ КЛАСИ ЦИРКУЛЯРНИХ МАТРИЦЬ	152
33.	<i>Колесніков С. Я.</i> СТВОРЕННЯ ЗАВДАНЬ З МАТЕМАТИКИ РІЗНОМАНІТНОГО ЧИСЛОВОГО ЗМІСТУ	154
GEOLOGICAL AND MINERALOGICAL SCIENCES		
34.	<i>Куц А. О., Харитонов В. М.</i> МЕТОДИКА ДЕКОРАТИВНОЇ ОЦІНКИ ТИГРОВОГО ОКА КРИВОРІЗЖЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПРІОРИТЕТНИХ НАПРЯМІВ ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ	161
PEDAGOGICAL SCIENCES		
35.	<i>Вуконія О., Borysenko I., Ihnatovych T., Вуконія С.</i> RECOMMENDATIONS FOR INTEGRATING LIFELONG LEARNING ENGLISH INTO EDUCATIONAL CURRICULA	167
36.	<i>Sulima O.</i> SCIENTIFIC, PRACTICAL AND PSYCHOLOGICAL ASPECTS OF TEACHING HIGHER MATHEMATICS AT A TECHNICAL UNIVERSITY	173
37.	<i>Tkachuk S. P., Horelik N. A., Petrenko O. P.</i> THE PROCESS OF FORMING ENGLISH LANGUAGE PROFESSIONALLY ORIENTED COMMUNICATIVE COMPETENCE IN SPEAKING OF STUDENTS IN TEACHING A FOREIGN LANGUAGE	179

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НА БЕТОН КОНСТРУКЦІЙ

Циганенко Людмила Анатоліївна,

к.т.н., доцент

Радіонов Юрій Олександрович,

Магістр ОПП Будівництво та цивільна інженерія

Національний Аграрний Університет

м. Суми, Україна

tsyganenkoLA@ukr.net

Вступ./Introduction. Повномасштабне вторгнення росії в Україну призвело до жахливих руйнувань по всій країні. Особливо сильно постраждали будівлі, зокрема ті, що використовуються для сільського господарства. Удари з повітря, артилерійські обстріли та вибухи завдали величезної шкоди аграрному сектору.

Руйнування складів, де зберігалось зерно, ферм та інших сільськогосподарських об'єктів призвело до втрати значної кількості зерна, техніки та іншої продукції. Це також ускладнило процес зберігання та переробки зерна, що серйозно впливає на продовольчу безпеку України. Це, в свою чергу, негативно впливає на продовольчу безпеку України та здатність забезпечувати населення необхідними продуктами харчування.

Масштабні руйнування призвели до того, що багато зерносховищ та елеваторів були повністю знищені або сильно пошкоджені. Великі площі сільськогосподарських земель та інфраструктури заміновані, що ускладнює доступ до пошкоджених об'єктів та їх відновлення. Відновлення таких масштабних руйнувань потребує значних фінансових вкладень, яких у держави може бути недостатньо. Через пошкодження доріг та інших комунікацій важко доставити будівельні матеріали та обладнання до місць, де потрібно відновлювати будівлі.

Руйнування сільськогосподарських будівель внаслідок війни є однією з найбільших проблем, що постали перед Україною. Відновлення та ремонт пошкоджених об'єктів є дуже важливим завданням.

Відновлення зерносховищ може стати нагальною можливістю для модернізації інфраструктури та впровадження нових технологій, які зроблять їх більш ефективними та енергоефективними. Особливою проблемою в конструкції металевих зерносховищ це їх бетонні підлоги. В Україні часто використовують металеві сховища для зерна, які стоять на бетонному фундаменті. Під час пожеж, спричинених обстрілами, саме бетонна підлога може зазнати найбільших пошкоджень. Висока температура від горіння зерна призводить до зміни структури та хімічного складу бетону, що спричиняє його руйнування. Тому дуже важливо дослідити, як висока температура впливає на бетон.

Мета роботи./Aim. Отримати результати дослідження змін структури та хімічного складу бетону під впливом високих температур, спричинених пожежею при вибуху.

Матеріали та методи./Materials and methods. Дослідження зміни структури зразків бетону під впливом надвисоких температур методом електронної мікроскопії, методом TPD-MS та руйнівними методами визначення міцності бетону

Результати та обговорення./Results and discussion.

Під час ракетного обстрілу було пошкоджено будівлю зерносховища. На підготовчому етапі обстеження будівлі було здійснено попередній огляд об'єкта в цілому та його конструктивних особливостей, а також оцінено загальний технічний стан. В приміщенні зерносховища зберігались соняшник та кукурудза. Із-за обстрілу виникла пожежа поряд та внутрішньому просторі сховища. Як наслідок, відбулось пошкодження бетонної основи будівлі. Для проведення аналізу взято дослідні зразки бетону у кількості 6 штук на різній відстані від епіцентру пожежі та один контрольний зразок, що не пошкоджений, фото 1.

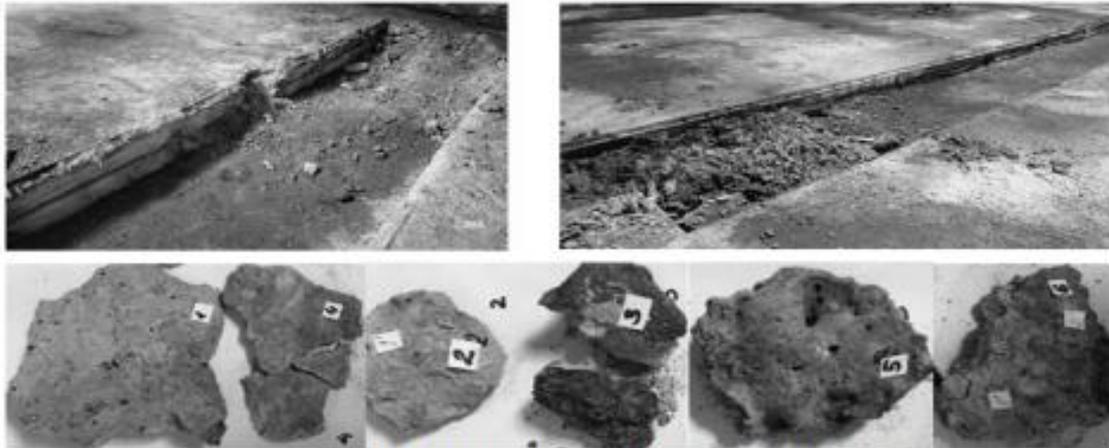


Фото 1. Пошкодження бетонної підлоги

Дослідження мікроструктури зразків бетону проводили методом скануючої електронної мікроскопії. Аналіз зразків показав, що вони мають різну структурну зміну в залежності від висоти температури та тривалості впливу, фото 2. На фото 2 показано руйнування структури бетону в зразках, що були розташовані на відстані від епіцентру пожежі: епіцентр пожежі, 0,5 м, 1 м, 1.5 м,

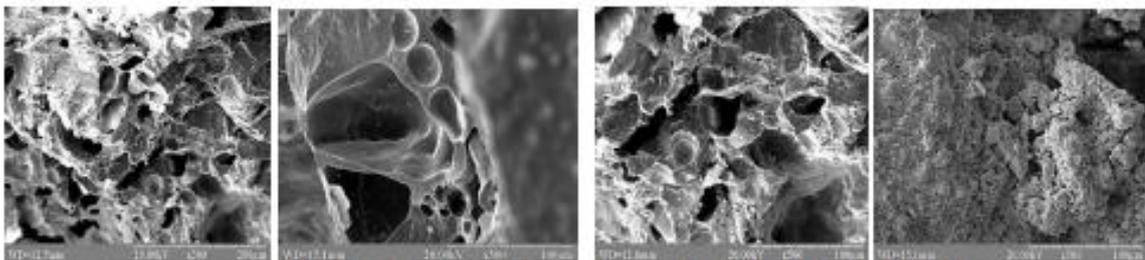


Фото 2. Пошкодження бетону (структурні зміни)

Аналіз зразків говорить про те, що зразки які взято в епіцентрі пожежі та на відстані 0,5 м мають оплавлену поверхню. Зразки які було взято на відстані 1.5 м та 2 м від епіцентру пожежі мають рихлу структуру зруйнованої поверхні, яка утворилась під впливом температури 300–600 °С в наслідок перепадів тиску від водяної пари, що виникає при википанні води. В них простежується зміна кольору на блідий, при порівнянні його з еталонним зразком бетону. На їх поверхні можна бачити чорний наліт золи. Зміна кольору та наявність чорного нальоту золи відповідає проведеним дослідженням [1] яке встановило, що пошкодження бетону надвисокими температурами проявляється у вигляді розтріскування його поверхні, зміна кольору поверхні пов'язана з розкладанням в'язучої матриці.

Проведені дослідження зміни мікроструктури зразків бетону за допомогою термопрограмованої мас-спектрометрії TPD-MS приведені на рис.1.

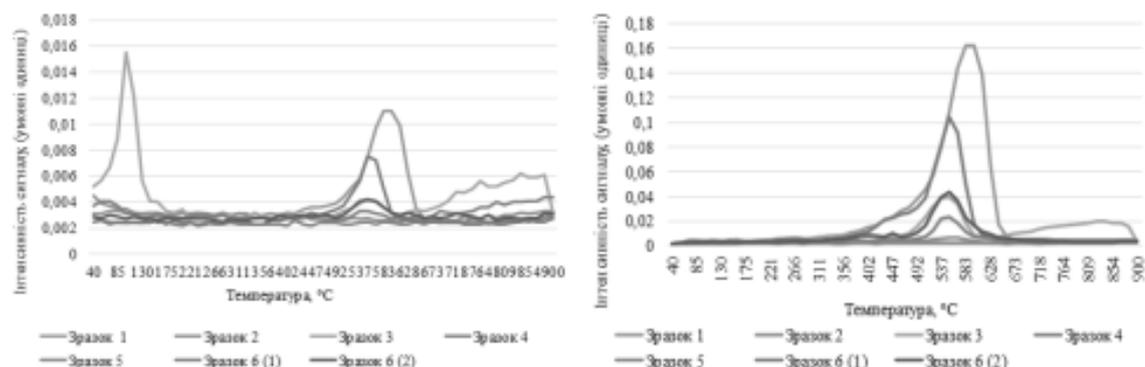


Рис. 1. Термограма CO та CO₂ зі зразків

Термограми показують з якою швидкістю виділяються CO та CO₂ зі зразків, що були відібрані на різній відстані від центру дії надвисоких температур.

Висновки./Conclusions. Проведені дослідження зразків бетону методами скануючої електронної мікроскопії та TPD MS довели вплив надвисоких температур на зміну структури бетону та його хімічного складу. Аналіз термограм бетонних зразків, які були відібрані на різній відстані від епіцентру дії надвисоких температур показали зміну у місту карбонів CO та CO₂ що доводить термохімічне руйнування матеріалу.

Список літератури

1. Wróblewska, J., Kowalski, R. (2020). Assessing concrete strength in fire-damaged structures. *Construction and Building Materials*, 254, 119122. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119122>.
2. Shkromada, O., Ivchenko, V., Chivanov, V., Tsyhanenko, L., Tsyhanenko, H., Moskalenko, V., Kyrchata I. ., Shersheniuk, O., & Litsman, Y. (2021). Defining patterns in the influence exerted by the interrelated biochemical corrosion on concrete building structures under the conditions of a chemical enterprise . *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(6 (110), 52–60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.226587>.

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: РАДІОНОВ Юрій Олександрович

Співавтор:

Назва: Вплив високих температур на бетон конструкцій на прикладі будівлі сільськогосподарського призначення

Науковий керівник: Циганенко Л.А.

Підрозділ: SNAU

Коефіцієнт подібності 1:10.2%

Коефіцієнт подібності 2:0%

Мікропробіли: 0

Заміна букв: 10

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-01-28 13:54:29.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-01-28

Надія Бараннік

Дата

експерт

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

«Вплив високих температур на бетон
конструкцій на прикладі будівлі
сільськогосподарського призначення»

- Виконав магістр ОПП БЦІ **Радіонов** Юрій Олександрович
- Науковий керівник: к.т.н., доцент **Циганенко** Людмила Анатоліївна

Актуальність теми.

Внаслідок повномасштабного вторгнення росії в Україну значна частина території країни зазнала руйнувань. Особливо гострою є проблема руйнування будівель, зокрема, сільськогосподарського призначення. Авіаційні удари, обстріли з артилерії та застосування інших вибухових пристроїв призвели до значних втрат для аграрного сектору України.

Руйнування сільськогосподарських будівель внаслідок війни є однією з наймасштабніших проблем яка зараз виникла в Україні, *питання відновлення та ремонту існуючих* пошкоджених або напівзруйнованих об'єктів є наразі дуже актуальним. *Відновлення зерносховищ* є чудовою можливістю для модернізації інфраструктури та впровадження нових технологій, що підвищать їхню ефективність та енергоефективність

Мета роботи: провести аналіз змін структури та хімічного складу бетону під впливом високих температур, спричинених пожежею при вибуху снаряду.

•**Об'єкт дослідження:** Бетонні фундаменти силосів у селищі Харківської області, Україна.

•**Предмет дослідження:** Структура та хімічний склад бетону фундаментів силосів у селищі Харківської області, Україна.

•**Задачі дослідження:**

1. Дослідити механізм розтріскування бетону під дією надвисоких температур, особливо при вибуху на прикладі бетонних зразків фундаментів силосів у селищі Граково за допомогою скануючої електронної мікроскопії;
2. Проаналізувати зміну хімічного складу під впливом високої температури бетонних зразків фундаментів силосів методом термопрограмованої мас-спектрометрії.

Методи дослідження:

Дослідження методів, що призначені для вивчення фізико-хімічного складу бетону, їх аналіз та досвід використання з метою застосування в дослідженнях. Використання методу скануючої електронної мікроскопії та термопрограмованої мас-спектрометрії в дослідженнях.

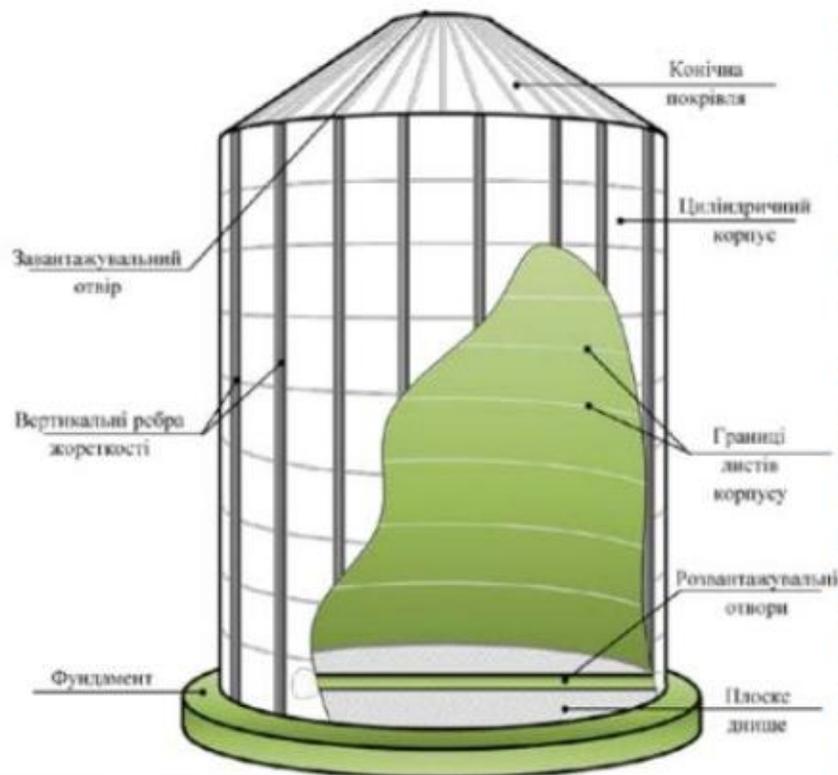
ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Відповідно до [звіту](#) KSE Institute в якій увійшла інформація за період з 24 лютого по 1 вересня 2022 року «сумарна ємність зруйнованих зерносховищ сягає 6,5 млн т виробленої продукції, а ємність пошкоджених зерносховищ перевищує 2,9 млн т потужностей одночасного зберігання». За 3 роки понад 8,5 млн т, а це більше 15% будівель зерносховищ пошкоджено або знищено повністю. «Приблизно 1 з 6 (15,73%) українських сховищ врожаю — силосів, елеваторів та складів для зберігання зерна, — були знищені, пошкоджені росією та підпорядкованими їй силами, або потрапили під їх контроль з початку вторгнення 24 лютого. З 344 об'єктів, знятих супутниками для оцінювання, виявили що 75 із них демонструють видимі пошкодження».

Руйнування відбувались в наслідок влучання ракет, авіа снарядів та БПЛА. Конструкції зерносховищ піддавались впливу вибухової хвилі, дії вибуху від прямого потраплення снаряду, та пожежі, що виникає після вибуху, фото



Конструктивне рішення зерносховища в Україні включає в себе наявність металевого каркасу та бетонної підлоги до якого він кріпиться, рис. Наявність зерна в зерносховищі під час пожежі суттєво ускладнює ситуацію та посилює руйнівний вплив на бетонні конструкції, до яких кріпиться металева конструкція. При горінні зерна виділяється велика кількість тепла, що призводить до різкого підвищення температури бетонних конструкцій. Бетон, хоч і є міцним матеріалом, але він має обмежену теплостійкість. При перевищенні критичної температури починаються процеси деградації. Різде нагрівання зовнішніх шарів бетону призводить до виникнення значних температурних градієнтів. Це спричиняє появу внутрішніх напружень, які можуть призвести до утворення тріщин і відшарування бетону від арматури.



Розпечена металева конструкція сховища передає тепло бетону, посилюючи його руйнування. Крім того, при різному температурному розширенні бетону та металу можуть виникати додаткові напруження. Висока температура може спровокує хімічні реакції між компонентами бетону та продуктами горіння зерна, що призводить до додаткового послаблення матеріалу. І головне те, що при нагріванні бетон втрачає вологу, що призводить до зменшення його міцності. Все вище перелічене може призвести до великого ризику зниження міцності бетону внаслідок системи тріщиноутворення в ньому.

Поведінка бетону при підвищених температурах

Реакція бетонних конструкцій на підвищення температури під час пожежі, його стійкість до розтріскування залежить від типу бетону, його складу та експлуатаційних умов.

Звичайний бетон (на основі портландцементу) досить вогнестійкий, але втрачає міцність при тривалому впливі високих температур. Проведені дослідження [3] показали, що при нагріванні вже до 200–400°C починається процес утворення мікротріщин через різницю в термічному розширенні компонентів (зокрема, цементного каменю та заповнювача):

При досягненні 600–800°C відбувається процес дегідратації цементного каменю, зі зниженням міцності майже на 83%: починається розкладання кальцій-силікат-гідратів CSH. При досягненні 800–1000°C і вище спостерігається втрата структурної міцності цементного каменю і перетворення його на пористий матеріал.

Важкий бетон із щільними заповнювачами, такими як граніт або базальт має вищу щільність і здатний поглинати більше тепла, але підвищена температура спричиняє тріщини через термічне розширення мінералів у заповнювачах. Гранітний заповнювач розкладається при 600–700°C, що негативно впливає на міцність.

Легкий бетон на легких заповнювачах, таких як пемза або керамзит має нижчу теплопровідність, що уповільнює нагрівання внутрішніх шарів. За рахунок чого менше утворюються тріщини через меншу щільність матеріалу. Але його міцність також значно знижується при температурах понад 400°C.

Вогнестійкість можна підвищити за рахунок введення спеціальних добавок (мікрОВОЛОКОН) та /або використання жаростійких матеріалів. Введення спеціальних добавок та домішок у бетон дозволяє підвищити його стійкість до високих температур.

Домішки в бетон такі як метакаолін і кремнезем, збільшують міцність бетону при температурі нагрівання до 200 °С. Метакаолін і мікросиліка підвищують щільність і міцність бетону, зменшують його водопоглинення та пористість, що робить бетон менш уразливим до впливу високих температур. Додавання в бетон вогнетривких заповнювачів, таких як шамот, корунд або алюмінати дозволяє отримати **жаростійкий бетон**.

Аналіз проведених досліджень показує, що введення поліпропіленових волокон в бетон покращує його стійкість до тріщиноутворення під впливом високих температур- **фібробетон**, фото



Поліпропіленові волокна мають низьку температуру плавлення - 160–170°С , при нагріванні вони плавляться і утворюють у бетоні мікро канали.

Хоча поліпропіленові волокна руйнуються під дією високої температури, бетон зберігає свою цілісність, тому що ці канали забезпечують вихід пари, яка утворюється через випаровування води в бетоні при нагріванні , що знижує ризик вибухового руйнування.

Встановлено, що процес тріщиноутворення та розтріскування в певній мірі залежить також від типу бетону та марки цементу, а в залежності від механізму впливу виділяють *термогідравлічне, термомеханічне і термохімічне розтріскування бетону*.

Механізм	Причина	Температурний діапазон	Особливості
Термогідравлічне	Тиск пари	100–300°C	Найбільший вплив у щільних бетонах
Термомеханічне	Термічне розширення	300–600°C	Залежить від типу заповнювачів
Термохімічне	Хімічні процеси	400–800°C і вище	Пов'язане з дегідратацією цементного каменю

Інші дослідники показали, що при нерівномірному нагріванні бетону до високих температур виникає *температурний градієнт*, який і призводить до його розтріскування.

Підсумовуючі вище описане можна зробити висновок, що єдиної думки, щодо розтріскування бетону під дією надвисоких температур дослідники не мають. На цей процес впливають різноманітні фактори, які повинні мати певні підтвердження. Підтвердження можна отримати шляхом проведення експериментальних досліджень на зразках, що отримані з реального об'єкту, що отримав пошкодження під час обстрілу та пожежі, що виникла після цього.

Методи дослідження структури бетону

Електронна мікроскопія (ЕМ) дозволяє отримати зображення з високою роздільною здатністю завдяки використанню пучка електронів, які взаємодіють з матеріалом. СЕМ дозволяє побачити, як зміна мікроструктури бетону при високих температурах впливає на його механічні характеристики, зокрема міцність і жорсткість (механічні властивості). Дослідження змін у структурі матеріалу під впливом температури дає змогу з'ясувати, як термогідралічні та термохімічні реакції впливають на фізичні властивості бетону (термогідралічні та термохімічні процеси).

TPD-MS (Temperature Programmed Desorption Mass Spectrometry) – це потужний аналітичний метод, який використовується для дослідження процесів десорбції газів і парів з поверхні твердих тіл. TPD-MS є важливим інструментом для дослідження бетону, який дозволяє отримати детальну інформацію про його структуру, властивості та процеси, що в ньому відбуваються

Ці методи дозволяють:

- Визначити глибину та характер розколювання бетону.
- Зрозуміти вплив високих температур на різні компоненти бетону.
- Оцінити вплив добавок і домішок на термостійкість бетону.

Отриманні знання важливі для розробки більш стійких до високих температур бетонних сумішей і для покращення їх поведінки при умовах пожежі.

Та зрозуміти як впливають надвисокі температури на характер та ступінь руйнування бетону з метою можливості відновлення будівельних конструкцій.

ТЕХНІЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ БУДІВЛІ

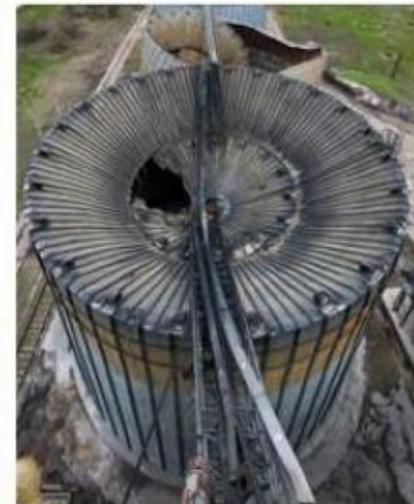
Під час обстрілу с-ща Залізничне та с.Граково Харківської області постраждали будівлі та споруди підприємства ТОВ «НоваАгро Україна».



Було пошкоджено будівлі зерносховища, елеватору та інші примикаючі будівлі, фото



На підготовчому етапі обстеження було здійснено попередній огляд об'єкта в цілому та його конструктивних особливостей, а також оцінено загальний технічний стан. Було проведено збір вихідних даних.



Зерносховище

Внаслідок обстрілу, найбільш було пошкоджено зерносховище, фото. В даному приміщенні зберігались соняшник та кукурудза. Під час обстрілу виникла пожежа поряд та всередині сховища.



Наслідки пожежі у зерносховищі:

а – епіцентр надвисоких температур; б – бетонна підлога в епіцентрі



ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Мікроструктурі дослідження зразків будівельних матеріалів проводили у між факультетській лабораторії електронної мікроскопії. Термостійкість зразків бетону визначали у лабораторії відділу радіаційної біофізики Інституту прикладної фізики НААН України (м. Суми, Україна).

Було взято дослідні зразки бетону у кількості 6 штук на різній відстані від епіцентру пожежі та один контрольний зразок, що не пошкоджений:

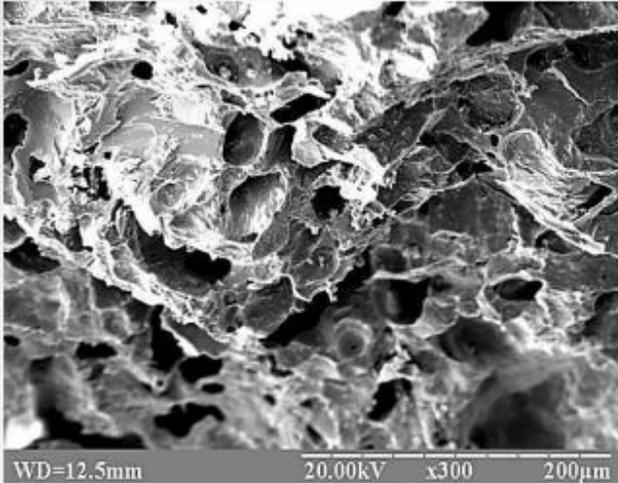
1 – контрольний, 2 – на відстані 1 м від епіцентру, 3 – на відстані 1,5 м від епіцентру, 4 – на відстані 0,5 м від епіцентру, 5 – епіцентр пожежі, 6 (1) та 6 (2) – на відстані 2 м від епіцентру.



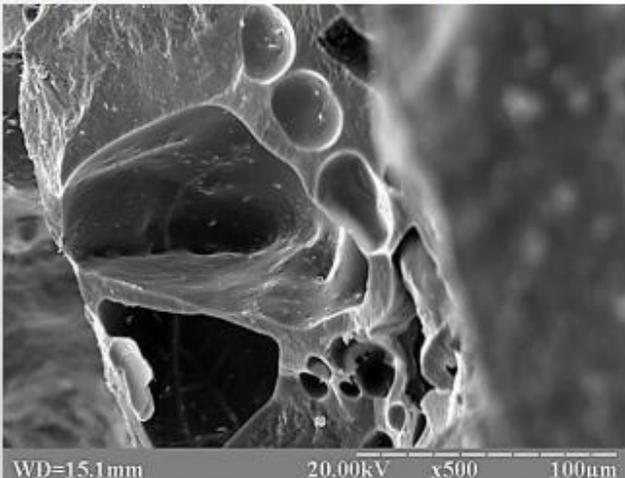
Метою дослідження зразків було визначення та аналіз структурних та хімічних змін в бетоні під впливом надвисоких температур та можливий механізм розтріскування бетону

Дослідження зміни мікроструктури зразків бетону під впливом надвисоких температур **методом електронної мікроскопії**

*бетонний зразок № 5 –
епіцентр пожежі*



*бетонний зразок № 4-
відстані 0,5 м від епіцентру*



У зразках №4 та № 5 спостерігаємо повну зміну структури бетону під впливом температури біля 1200 °С.

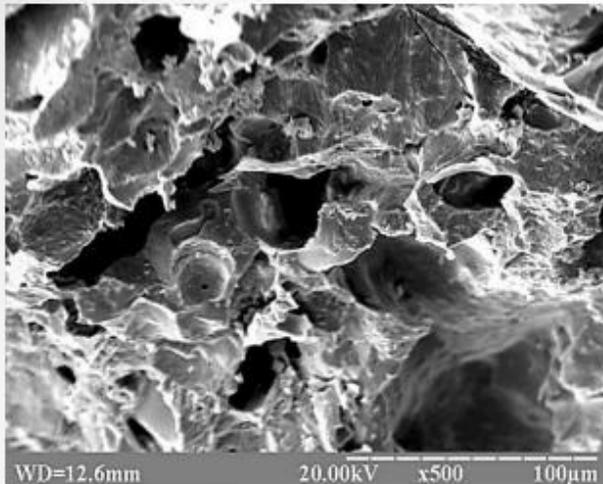
За допомогою скануючої електронної мікроскопії у зразку № 5 встановлено оплавлену та закипівшу структуру бетону, яка утворилась в результаті впливу температури біля 1200 °С.

В ньому відбулось теплове розширення та розтріскування бетону.

Зразки і, складники бетону повністю перетворились на суцільну пористу масу.

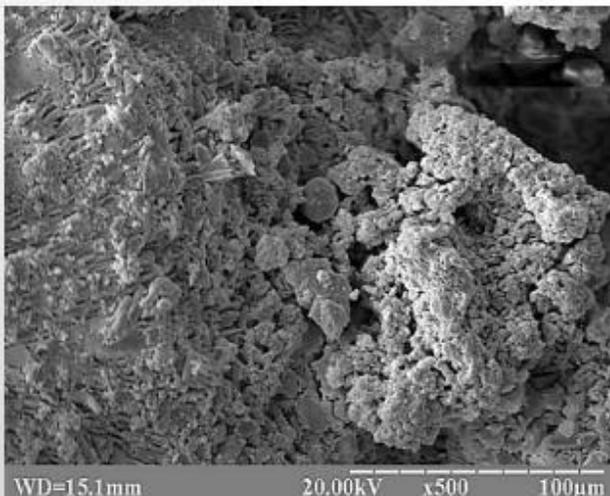
Дослідження зміни мікроструктури зразків бетону під впливом надвисоких температур **методом електронної мікроскопії**

бетонний зразок № 2 , що відібраний на відстані 1 м від центру пожежі



Зразок № 2, який взятий на відстані 1,0 м від центру пожежі має повністю зруйновану структуру бетону (оплавлена поверхня), фото .

бетонний зразок № 3-відстані 1,5 м від епіцентру

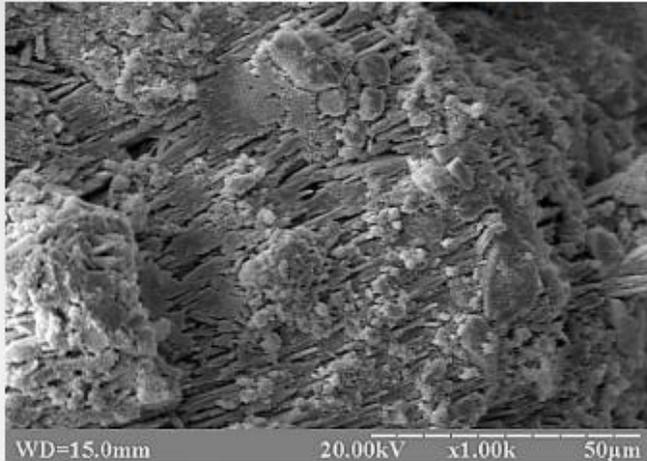


Зразок № 3, що був відібраний на відстані 1,5 метри від центру пожежі потрапив у зону впливу надвисоких температур , що можна побачити на загальному фото. Але сам зразок №3 має рихлу структуру зруйнованої поверхні, яка утворилась під впливом температури 300–600 °C в наслідок перепадів парового тиску що виникає при википанні води. В ньому відбулась зміна кольору на більш світлий ніж у контрольного зразку №1.

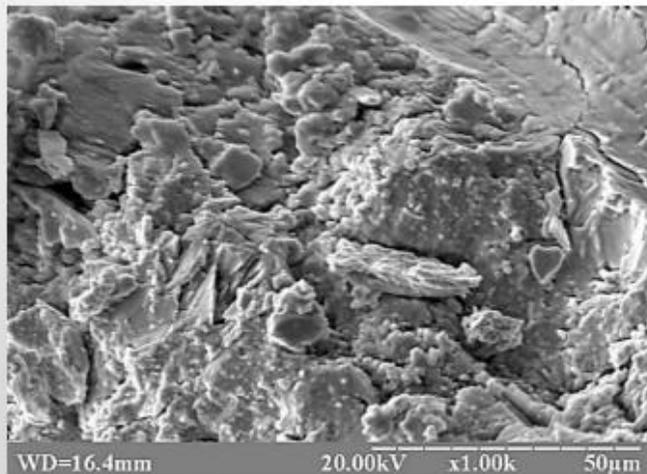
Зразки №2, №3 червоного відтінку, який може виникати із за присутності в бетоні залізу або кремнію у його складі. При цьому зміна кольору відбувається при нагріванні бетонного зразку до температури 600–900 °C.

Дослідження зміни мікроструктури зразків бетону під впливом надвисоких температур **методом електронної мікроскопії**

бетонний зразок № 6 , що відібраний на відстані 2 м від центру пожежі



бетонний зразок №1 - контрольний зразок



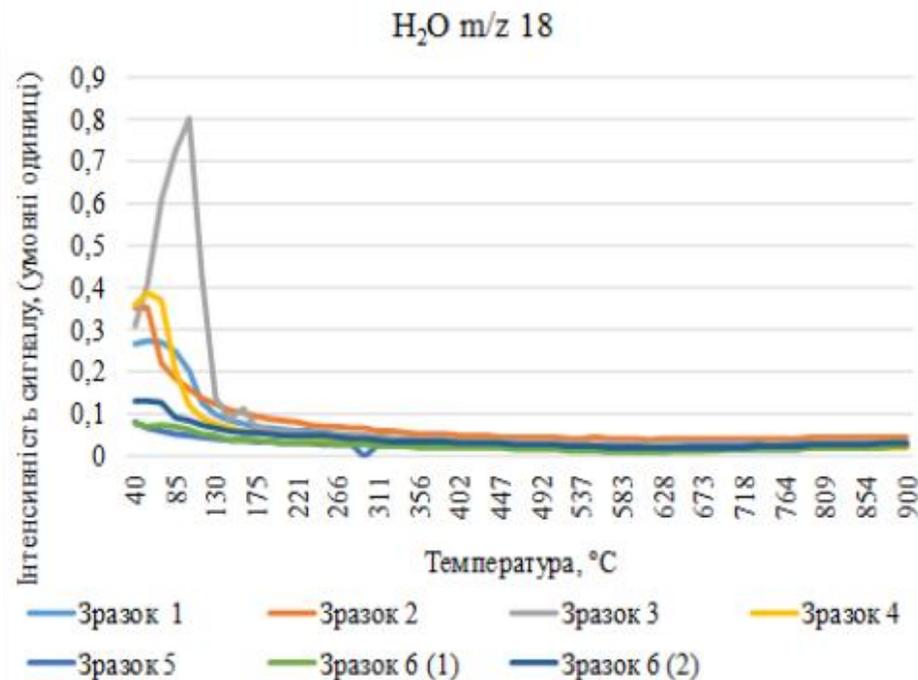
Зразок № 6 має під мікроскопом рихлу структуру, в ньому простежується зміна кольору на більш блідий, при порівнянні його з контрольним зразком бетону №1. Зразок №6 має інший колір поверхні, на його поверхні є чорний наліт золи. Зміна кольору та наявність нальоту відповідає проведеним дослідженням, яке встановило, що пошкодження бетону надвисокими температурами проявляється у вигляді розтріскування його поверхні, зміна кольору поверхні пов'язана з розкладанням в'язучої матриці.

При дослідженні мікроструктури бетону контрольного зразку №1 (що був поза межами епіцентру пожежі) було визначено, що його структура характерна для будівель віком наближеним до 18 років, є незначне явище часткової корозії поверхні бетону, що виникла під час експлуатації будівлі.

Дослідження зміни мікроструктури зразків бетону під дією надвисоких температур за допомогою термопрограмованої мас-спектрометрії TPD-MS

Для проведення дослідження використовувались зразки бетону розміром 0,2-0,5 см² на різній відстані від центру пожежі. Для проведення дослідження обирались зразки вагою від 5 до 10 мг які нагрівались температурою від 40 до 900 °С. Разом з нагрівом зразків проводилась робота щодо виявлення та фіксації суміші газів, що виділялися під час нагріву зразків. Зафіксовані під час нагріву зразків гази ідентифікувалися за їх молекулярними масами (m/z):

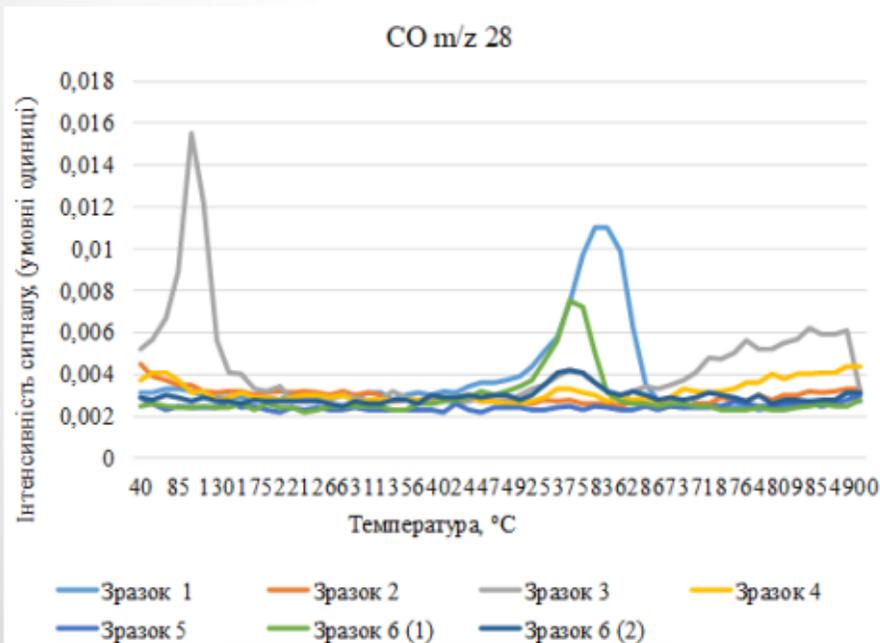
H₂O – 18, CO – 28, CO₂ – 44, S - 32, SO – 48, SO₂ – 64.



Випарування води (H₂O) відбувається більш інтенсивне зі зразку бетону № 3, та значно менше з контрольного зразку №1 та зразків № 2 та № 4. Зазначені дослідні зразки піддалися впливу високих температур, однак час нагрівання не був тривалим і хімічно зв'язана вода залишилась в бетоні.

Оксид вуглецю CO – 28

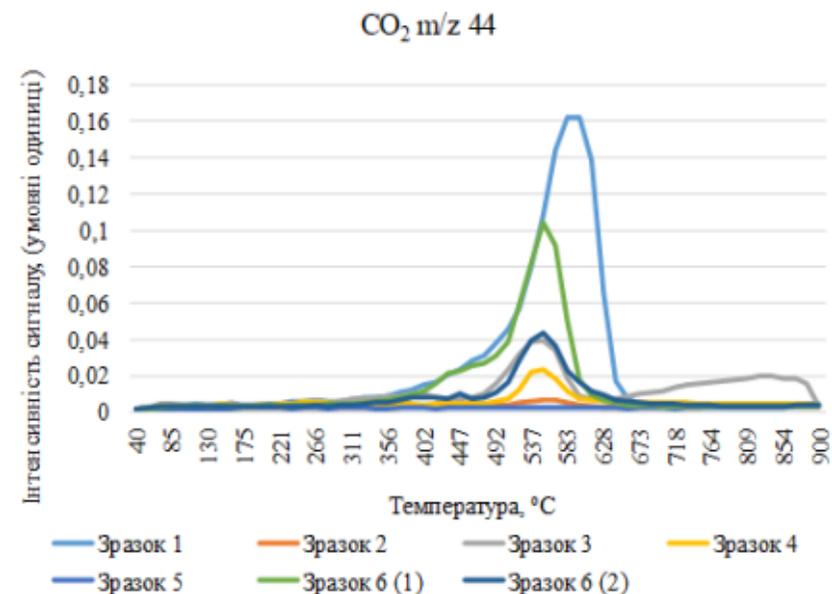
Спочатку було проведено дослідження зразку №1 (контрольного) та визначено, що CO виділяється з інтенсивністю 0,01 при температурі 583 °C, Оксид вуглецю виділяється зі зразка № 3 з інтенсивністю 0,016 при температурі 100 °C, а зі зразка № 6 (1) – з інтенсивністю 0,006, ці піки показано на рис.



Діоксид вуглецю CO₂ – 44

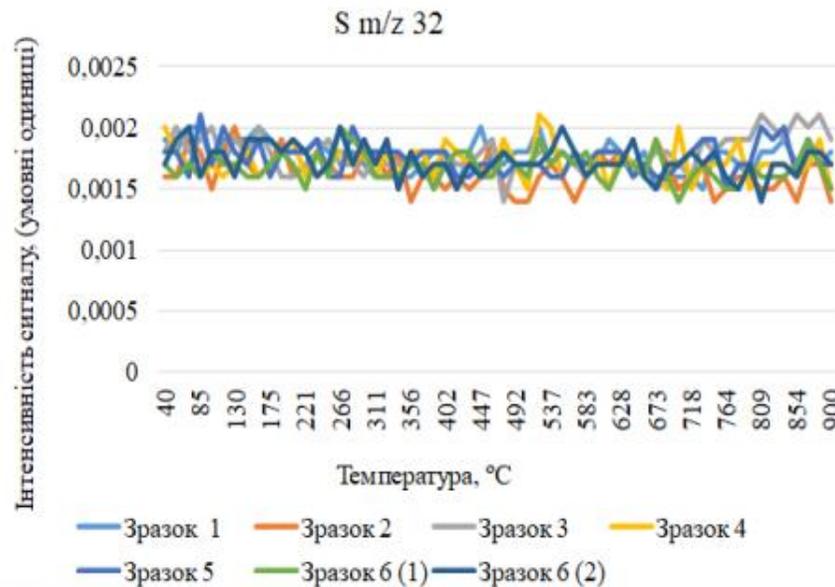
При дослідженні зразків методом TPD-MS було встановлено, що у зразку № 1 (контрольному) діоксид вуглецю виділяв з інтенсивністю 0,16 при нагріванні до t=583 °C.

Зразок № 6 (1), також виділяв CO₂ з інтенсивністю 0,1 при нагріванні до температури 537 °C. У зразках бетону №4, № 6(2) та № 3 виділення CO₂ було мінімальним з інтенсивністю 0,04 при температурі 537 °C. У зразках бетону № 2 та № 5 діоксид вуглецю не виділявся



Сірка S – 32.

Проведений аналіз термограми виділення сірки у зразках бетону були відібрані на різній відстані від епіцентру дії надвисоких температур показав, що ці всі зразки мали однакову інтенсивність її виділення в діапазоні від 0,0015 до 0,002

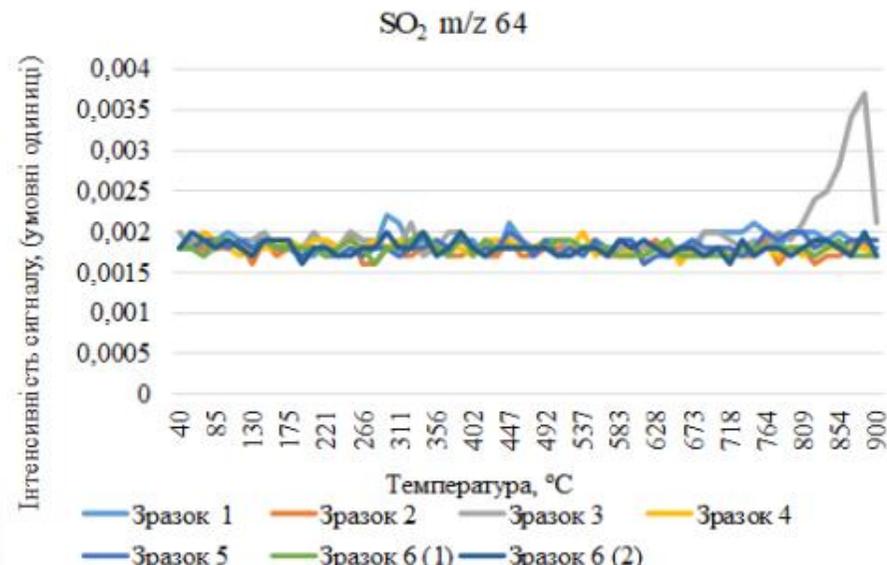


Показники вмісту сірки S в усіх досліджуваних зразках вказують на те, що не зважаючи на відстань від епіцентру дії надвисоких температур продукти горіння (сірка S) потрапили у бетон.

Діоксид сірки SO₂.

Виділення продукту реакції горіння сірки – діоксид сірки SO₂ спостерігалось в зразку № 3 при температурі 874 °C з інтенсивністю 0,0035, рис.4.5.

До того ж, у зразку №3 із за високої температури утворився SO, чого не простежується в інших зразках, рис. 3.6. Це можна пояснити тим, що зразок №3 було взято з міста, де на поверхні бетону залишились залишки зернових, які там зберігались.



Висновок.

Проведене дослідження зразків бетону методом скануючої електронної мікроскопії та за допомогою Temperature Programmed Desorption Mass Spectrometry (TPD MS) показали, що вплив надвисоких температур суттєво впливає на зміну структури бетону та його хімічний склад.

Виникаючий температурний градієнт під час нерівномірного нагрівання бетонної поверхні внаслідок дії надвисоких температур визиває виникнення механічних напружень та як наслідок розтріскування бетону.

Аналіз термограм бетонних зразків, які були відібрані на різній відстані від епіцентру дії надвисоких температур показали зміну у місту карбонів CO та CO₂ що показує на *термохімічне руйнування бетону*.

Показники вмісту сірки S в усіх досліджуваних зразках вказують на те, що не зважаючи на відстань від епіцентру дії надвисоких температур продукти горіння (сірка S) потрапили у бетон.

Проведене дослідження носить певний суб'єктивний аспект, який пов'язаний з тим, що всі зразки взято на одному об'єкті, де склалися конкретні характерні умови пожежі для цього об'єкта. До того ж, важко визначити точну величину температури, при якій відбулися зміни в бетонних зразках, тому що пожежа мала неконтрольований характер. Однак це не впливає на достовірність проведених та отриманих результатів, які чітко показали зміни термохімічного та термомеханічного характеру, що відбулися в бетоні дослідних зразків що попали під вплив високих температур.

Напрямо подальших досліджень може бути спрямований на пошук домішок в бетон, які можуть збільшити його термохімічну та термомеханічну стійкість.