



UDC 614.48:631.223

THE STRUCTURE AND PROPERTIES FEATURES OF CONCRETE DURING EXPLOITATION UNDER CONDITIONS OF ORGANIC OIL INFLUENCE

Oksana I. Shkromada^{*1}, Liudmyla A. Tsyhanenko¹, Viktoriia D. Ivchenko¹, Hennadii M. Tsyhanenko¹, Tetiana I. Fotina¹, Berezovskyi A. Volodymyrovich¹, Dmytro H. Volkov¹, Vadym D. Chivanov², Olha H. Shvets¹, Alina V. Pikhtirova³, Volodymyr M. Kohutanych¹, Valerii M. Lutskovskyyi¹, Nataliia M. Sribniak¹, Nataliia P. Grebenyk¹, Oleksandr H. Stotskyi¹.

¹Sumy National Agrarian University Herasym Kondratiev str., 160, Sumy, 40021, Ukraine
Institute of Applied Physics (IAP) NAS of Ukraine, Petropavlivskaya str., 58, Sumy, 40000, Ukraine

³Sumy State University Kharkivs'ka str., 116, Sumy, 40007, Ukraine

Received 10 February 2025; accepted 11 April 2025; available online 15 July 2025

Abstract

The relevance of the study is to determine the impact of vegetable oil on concrete structures in the case of its long-term action. Currently, the buildings of the agro-industrial complex, built in the 70s and 80s of the 20th century, are used to process sunflower seeds into oil. Aim. To determine the effect of vegetable oil on the physicochemical characteristics of concrete. Methods. The strength of concrete samples was determined by destructive testing depending on the depth of oil penetration; structural changes in concrete were determined by scanning electron microscopy; thermal analysis of concrete samples was performed by thermo-programmed mass spectrometry. Results. It was found that sample №1 was 17 % oiled, with a strength loss of 6 %. Concrete sample №2, with 56 % oiled, lost 19 % of its strength. Sample №3, with 100 % oiled, lost 48 % of its strength. The destruction of the concrete structure was established by electron microscopy. Spores and hyphae of microscopic fungi were detected at a depth of 2 cm from the surface. The study of concrete samples using TPD MS showed that carbon monoxide was intensively released at a temperature of 583 °C from samples 2–0.03 and 3–0.05. CO₂ was released at a temperature of 552 °C with an intensity of 0.1 from sample 2 and 0.18 from sample 3. Carbon was not released from the other samples, which is related to the biochemical corrosion of concrete. Water was released from concrete samples 2–0.8 and 3–0.4 at 100 °C. Conclusions. Correlations have been established between the depth of concrete oil impregnation and the loss of strength due to the weakening of contacts between cement stone and aggregate (crushed stone). The scientific novelty of the results obtained lies in determining the long-term impact of organic oil on the physicochemical characteristics of concrete.

Keywords: vegetable oil; loss of strength; structural changes; corrosion of concrete; concrete.

ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНУ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ В УМОВАХ ВПЛИВУ ОРГАНІЧНОЇ ОЛІЇ

Оксана І. Шкромада¹, Людмила А. Циганенко¹, Вікторія Д. Івченко¹, Геннадій М. Циганенко¹, Тетяна І. Фотіна¹, Березовський А. Володимирович¹, Дмитро Г. Волков¹, Вадим Д. Чіванов², Ольга Г. Швець¹, Аліна В. Піхтірєва³, Володимир М. Когутанич¹, Валерій М. Луцьковський¹, Наталія М. Срібняк¹, Наталія П. Гребеник¹, Олександр Г. Стоцький¹.

¹Сумський національний аграрний університет, вул. Г. Кондратьєва, 160, м. Суми, 40021, Україна

²Інститут прикладної фізики НАН України вул. Петропавлівська, 58, м. Суми, 40000, Україна

³Сумський державний університет вул. Римського Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна

Анотація

Актуальність дослідження полягає в визначенні впливу олії рослинного походження на бетон конструкцій у випадку її довготривалої дії. На даний час експлуатуються будівлі агропромислового комплексу, що збудовані в 70–80 роках ХХ століття, в яких відбувається процес переробки соняшника на олію. Мета. Визначити вплив рослинної олії на фізико-хімічні характеристики бетону. Методи. Визначали міцність бетонних зразків методом руйнівного контролю в залежності від глибини проникнення олії; структурні зміни в бетоні – за допомогою скануючої електронної мікроскопії; термічний аналіз бетонних зразків – методом термопрограмованої мас-спектрометрії. Результати. Встановлено, що зразок №1 був просочений олією на 17 %, і втрата міцності склала 6 %. Зразок бетону №2, просочений олією на 56 %, втратив міцність на 19 %. Зразок №3 просочений на 100 % втратив міцність на 48 % порівняно з контрольним зразком. Електронною мікроскопією встановлено руйнування структури бетону. Виявлені спори і гіфи мікроскопічних грибів на глибині 2 см від поверхні. Дослідження зразків бетону за допомогою TPD MS показало, що карбон (IV) оксид інтенсивно виділявся за температури 583 °C зі зразків: 2 – 0.03 та 3 – 0.05. Вивільнявся CO₂ за температури

^{*}Corresponding author: e-mail: oshkromada@gmail.com

552 °C з інтенсивністю 0.1 зі зразка 2, та 0.18 – зі зразка 3. В інших зразках карбон (IV) оксид не виділявся, що пов'язано з біохімічною корозією бетону. Вода виділялась зі зразків бетону: 2 – 0.8 та 3 – 0.4 за температури 100 °C. Висновки. Встановлені кореляційні зв'язки між глибиною просочення бетону олією та втратою міцності внаслідок ослаблення контактів між цементним каменем та заповнювачем (щебінь). Наукова новизна отриманих результатів полягає в визначенні тривалого впливу органічної олії на фізико-хімічні характеристики бетону.

Ключові слова: рослинна олія; втрата міцності; структурні зміни; корозія бетону; бетону.

Вступ

Органічні олії негативно впливають на міцність та структуру бетонних конструкцій. Олії містять залишки жирних кислот, які вступають в реакцію з кальцієм гідроксидом $\text{Ca}(\text{OH})_2$, утворюючи розчинні солі. Корозійний вплив обумовлений хімічними та фізичними властивостями олії, її складом, температурою та терміном впливу на бетонні конструкції. На підприємствах, що пов'язані з виробництвом рослинного жиру (олії), гостро постає питання впливу цих олій на руйнування бетону конструкцій будівель та споруд.

Дослідження [1] показали вплив робочої рідини літака, а саме мастила, на механічні властивості бетонного покриття аеропортів. Результати випробування зразків з такого бетону показали зменшення його міцності на стиск на 7.2 %, а міцності на розтяг – на 3.6 %.

У роботі [2] також був доведений негативний вплив нафтопродуктів (бензин, газойль, гас) на механічні властивості бетонів: зафіксовано зниження міцності на стиск та вигін. Був розроблений бетон на основі поліефірної смоли, який показав більшу стійкість до впливу мастил порівняно з бетоном класичного складу. Однак залишилось не вирішене питання стійкості бетону за різних температур та його експлуатаційні характеристики.

Водночас, у роботі [3] показано, що для захисту бетонних конструкцій будівель та споруд від корозії були використані модифіковані органічні олії, проте їх вплив на бетон був обмежений дослідженням у лабораторії. Тому необхідні ретельніші дослідження, що пролонговані в часі, для визначення впливу органічних олій на бетонні конструкції

Були проведені дослідження по впливу гліцерину та суміші мікроорганізмів з метою утворення захисної плівки на бетонній поверхні [4]. Отримані результати довели утворення бар'єру, що зменшує капілярне водопоглинання до 20 %. Проведені лабораторні дослідження не були впроваджені в виробництво за умовою масштабного застосування цього методу

захисту під час будівництва.

Науковці [5] досліджували проникність бетону в залежності від складу та модифікації. Сільське господарство та транспорт є одними з основних джерел забруднюючих речовин, серед яких газ, рідини, олії та мастила [6].

Експериментальні дослідження, що були проведені в роботах [7; 8], присвячені впливу хімічних шкідливих газів, лугів та кислот на міцність та довговічність бетону. Лише незначна кількість експериментів у роботах була присвячена визначенню тривалого впливу мастил та олій на бетон споруд.

Дослідники [9; 10] переймаються питаннями збільшення міцності бетону споруд на стадії розробки виробничих приміщень. Науковці [11] під час розробки гідрофобних добавок до бетонної суміші проводили випробування, які повинні були покращити такі характеристики як водопоглинаюча здатність, пористість та термостійкість.

Поглинаюча здатність бетону на пряму залежить від структури і пористості бетону. Проникнення олії в пори бетону призводить до поступового всмоктування в структуру [12; 13].

Тривалий вплив високих температур [14; 15] також як і температурні перепади [16] можуть спричинювати руйнування в вигляді розколювання та мікротріщин у бетонних конструкціях.

У роботі ставилась задача визначити вплив рослинної олії на фізико-хімічні характеристики бетону.

Експериментальна частина

Метою дослідження було визначення впливу рослинної олії на фізико-хімічні характеристики бетону, а саме:

- міцність бетонних зразків методом руйнівного контролю в залежності від глибини проникнення олії;
- структурні зміни в бетоні за допомогою скануючої електронної мікроскопії;
- термічний аналіз бетонних зразків методом термопрограмованої мас-спектрометрії.

Зразки бетону для дослідження були отримані в цеху по виробництву соняшнікової

олії, що був побудований у 1983 році в селищі міського типу Гракове, Чугуївського району, Харківської області, Україна. Дослідження проводили в лабораторії випробувань та досліджень будівельних матеріалів та конструкцій Сумського національного аграрного університету.

Для проведення експериментальних досліджень за допомогою керн були отримані зразки з бетонного фундаменту, в якому закріплено обладнання олійниці. Отримані зразки мають форму циліндрів діаметром 100 мм та висотою 200 мм, в яких бетон просочувався рослинними жирами (олією) протягом терміну експлуатації будівлі. Згідно з існуючим проектом будівлі бетонні фундаменти під обладнання виконані з важкого бетону класу C16/20 (B15).

Для визначення міцності бетону було відібрано 4 зразки з різною глибиною проникнення рослинної олії в структуру бетону. Зразок №1 взятий в зоні постійного тривалого впливу олії на бетон фундаменту обладнання (відстань від опори обладнання до центру керн 20 см), має просочування олії по всій довжині зразка. Зразки №2 та №3 взяті на відстані від місця постійного впливу рослинних жирів (олії) на бетон (відповідно відстані від опори обладнання до центру керн зразка №2 – 60 см та зразка №3 – 100 см), просочування олії по довжині зразків відповідно складає в межах 25 % та 50 % висоти зразка. Контрольний зразок №4 було отримано поза межами можливої дії рослинних жирів. Міцність на стиск зразку з керн випробовували на пресі з точністю до 0.1 МПа (Н/мм²) [17–18].

Дослідження структурних змін у бетоні проводили за допомогою растрового електронного мікроскопу РЕМ 106 і (BAT SELMI, Україна) в режимі вторинних електронів у діапазоні електроннооптичних збільшень від 200 до 5 000. Зразки бетону фіксували на металічних підложках за допомогою двобічної вуглецевої стрічки. Для надання зразкам електропровідності проводили напилення сріблом. Для дослідження біоплівки мікроорганізмів зразки бетону фіксували 2.5 %-вим глутаровим альдегідом на 0.2 М фосфатному буферному розчині, дегідратували в серії розчинів етилового спирту зростаючої концентрації та напилювали сріблом [19].

Проводили термічний аналіз бетонних зразків методом термопрограмованої мас-

спектрометрії (TPD MS). Температурно-програмована десорбційна мас-спектрометрія дає змогу порівнювати й перевіряти механізми термічного розкладання молекул як усередині конденсованої фази, так і адсорбованих на поверхні високодисперсних оксидів. Зразки бетону масою 3–5 мг піддавали нагріванню до температури 1000 °С. В процесі визначали швидкість руйнування матеріалів та хімічний склад газів (пірогенних оксидів), які виділялись під час нагрівання. Гази ідентифікували за молекулярними масами (m/z): H₂O – 18, CO – 28, CO₂ – 44, S – 32, SO – 48, SO₂ – 64 [20].

Результати та їх обговорення

У будівлях, де проводиться виробництво рослинного жиру (олії) проблемним питанням є руйнування бетону конструкцій будівель та споруд під його впливом. Тому важливим завданням є розробка методів захисту бетонних та залізобетонних конструкцій від впливу рослинних жирів. Процес руйнування бетону під впливом рослинної олії відбувається внаслідок порушення зав'язків між складовими бетону (цементний камінь та щебінь) [21].

Зразок №1 (ступінь проникнення олії – 17–30 %):

- відбір зразка за 200 мм від грані опори обладнання – 21.05.2024р.;

- дата проведення випробування 17.06.2024 р.

Дослідження зразка №1 (рис. 1) з проникненням олії по висоті зразка майже на одну п'яту (17 %), показало зниження міцності на стиск з 16 мПа до 15.3 мПа, що складає втрату міцності на 6 %, порівняно з контролем.

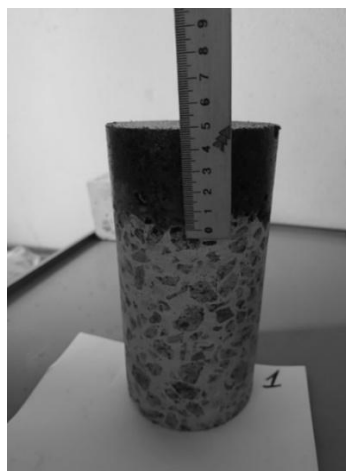


Fig. 1. Image of concrete sample No. 1 (oil saturated degree – 17%)

Рис. 1. Зображення зразка бетону №1 (ступінь проникнення олії – 17 %)



Fig. 2. Image of concrete sample No. 2 (degree of oil saturated – 56%)

Рис. 2. Зображення зразка бетону №2 (ступінь просочування олії – 56 %)

Випробування зразка № 2 (рис. 2):
– зразок № 2 (ступінь просочування олії – 56 %);

Випробування зразка №2 проникненням олії по висоті зразка приблизно до половини (56 %), показало зниження міцності на стиск з 16 мПа до 13.2 мПа, що складає втрату міцності на 19 % у порівнянні з контрольним зразком.

Випробування зразка №3 (рис. 3):

– зразок №3 (ступінь проникнення олії – 100 %);

– Випробування зразка №3 з проникненням олії по всій висоті зразка, показало зниження міцності на стиск з 16 мПа до 8.3 мПа, що складає втрату міцності на 48 %, порівняно з контролем.



а



б

Рис. 3. Зображення зразка бетону №3 (ступінь проникнення олії – 100 %): а – зразок бетону до проведення випробувань; б – зразок бетону просочений олією після руйнації

Fig. 3. Image of concrete sample No. 3 (degree of oil saturated – 100%): a – concrete sample before testing; b – concrete sample saturated with oil after destruction



Fig. 4. Control concrete sample
Рис. 4. Контрольний зразок бетону

Table 1

Results of strength tests of concrete samples

Таблиця 1

Результати випробувань міцності зразків бетону

Номер зразка	Розмір зразка (Ø x h) мм	Робоча площа зразка мм ²	Руйнівне зусилля кН	Міцність на стиск Н/мм ²
1	100×200	7854	120.2	15.3
2	100×200	7854	103.7	13.2
3	100×200	7854	65.2	8.3
4	100×200	7854	133.8	19.76

Глибина проникнення олії залежить від відстані взяття проби до грані опори обладнання на фундамент (місце періодичного проливу олії) та терміну впливу олії на поверхню бетону. Номер зразка, його розташування відносно опори обладнання, визначене просочування олії в глибину зразка в відсотках та відсоток зниження міцності бетону наведені в табл. 2.

Table 2

Results of determining the depth of saturated of concrete by vegetable oil and the reduction in strength

Таблиця 2

Результати визначення глибини проникнення бетону рослинною олією та зниження міцності

№ зразка	Відстань від опори обладнання	Глибина просочування олії	Зниження міцності бетону
1	100 мм	17–30 %	6 %
2	60 мм	50–60 %	19 %
3	20 мм	80–100 %	48 %

В результаті проведених досліджень можна зробити висновок, що глибина просочення рослинною олією бетону прямо корелюється з втратою міцності. Крім того, режим отримання соняшникової олії застарілим методом

супроводжувався її нагрівом до температури 60 °C [22]. Рослинні олії руйнують цементний камінь і бетон. Жирні кислоти реагують з $\text{Ca}(\text{OH})_2$, утворюючи різні розчинні солі. Розчини гліцерину агресивно діють на цементні бетони, зв'язуючи гідроксид кальцію цементного каменю в легкорозчинний гліцерат кальцію $\text{Ca}(\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_3)_2$: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O}$. Ступінь агресивної дії на бетон визначається концентрацією масла, типом масла, температурою, в'язкістю, і залежить від щільності бетону.

Вплив рослинної олії високої температури на бетон збільшує його руйнування, що підтверджується дослідженнями [23]. Важливим є показник поглинаючої здатності бетону [24], який взаємопов'язаний із міцнісними характеристиками

Під час дослідження зразків бетону методом скануючої мікроскопії було також підтверджене руйнування структури бетону, а саме – порушення зв'язків між щебенем та цементним каменем внаслідок просочення олією (рис. 5).

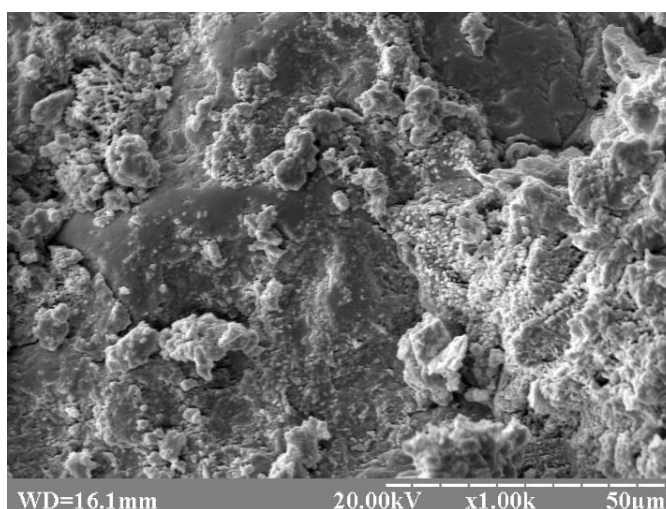


Fig. 5. Electron microscopic image of the concrete surface at a depth of 2 cm

Рис. 5. Електронно-мікроскопічне зображення поверхні бетону на глибині 2 см

Також мікроскопічне дослідження зразків на глибині 2 см (рис. 6) показує наявність гіфів та спор мікроскопічних грибів [25].

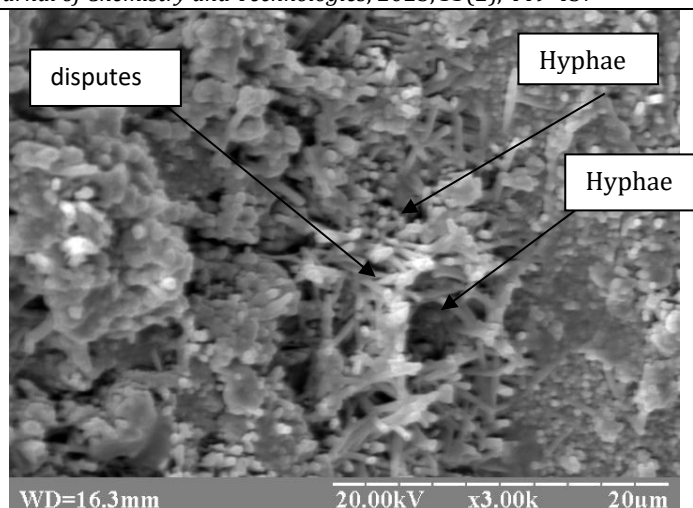


Fig. 6. Electron microscopic image of concrete affected by microscopic fungi

Рис. 6. Електронно-мікроскопічне зображення бетону ураженого мікроскопічними грибами

Дослідження [26] підтверджують, що за сприятливих умов навколишнього середовища та достатньої кількості поживних речовин гіфи грибів проникають у мікротріщини та пори будівельних матеріалів. Ферменти грибів пом'якшують матрицю бетону для полегшення проникнення у субстрат. Крім того, дослідники [27] довели

руйнуючий вплив на бетон біохімічної корозії.

В результаті проведеного дослідження можна зробити висновок, що на бетонні конструкції цеху олійниці впливало два фактори: олія та мікроскопічні гриби.

Зразки бетону досліджували за допомогою термопрограмованої маспектрометрії (рис. 7).

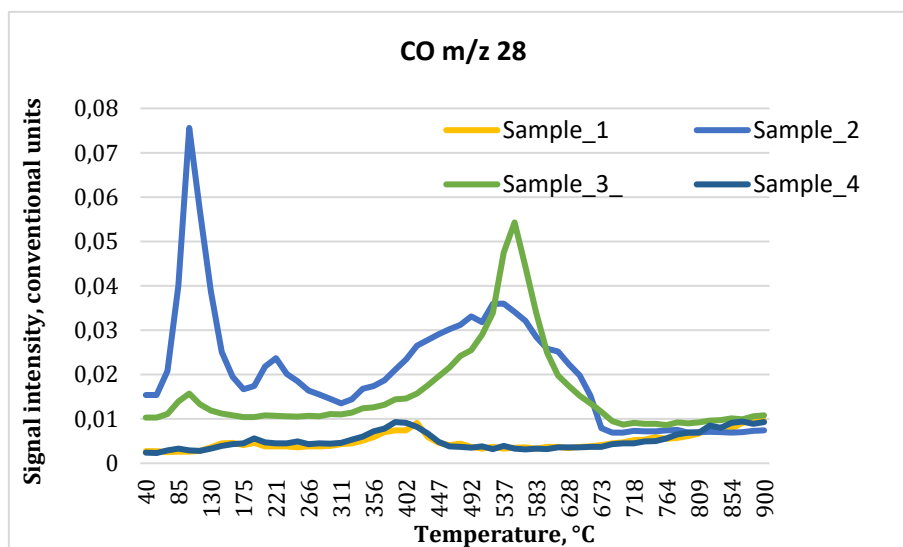


Рис. 7. Термограми виділення CO ($m/z=28$) зі зразків, отриманих на різній відстані від керна

Fig. 7. Thermograms of CO release ($m/z=28$) from samples obtained at different distances from the core

У результаті проведеного дослідження встановлено, що CO виділявся найбільш інтенсивно зі зразків 2 – 0.03 та 3 – 0.05 за температури 583 °C. Інші зразки бетону були зруйновані корозією і містили незначну

кількість CO протягом всього періоду нагрівання

Вміст CO₂ в зразках бетону був аналогічно високим у зразках 2 та 3 (рис. 8).

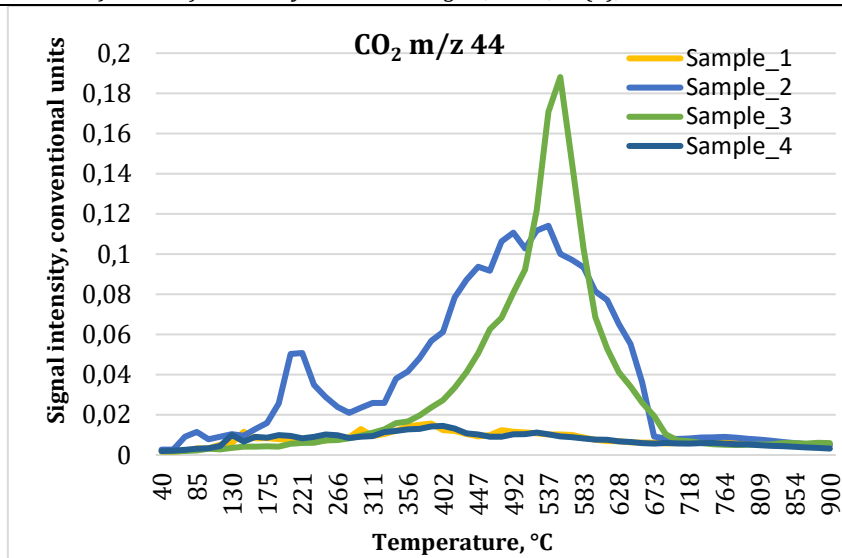
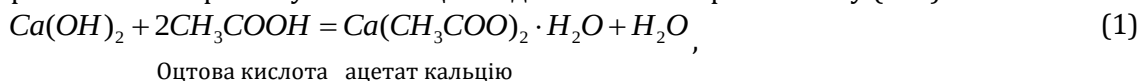


Fig. 8. Thermograms of CO₂ release (m/z=44) from samples obtained at different distances from the core
Рис. 8. Термограми виділення CO₂ (m/z=44) зі зразків, отриманих на різній відстані від керна

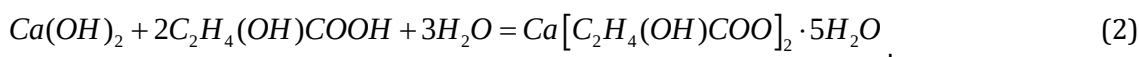
Діоксид карбону виділявся за температури 552 °С з інтенсивністю 0.1 зі зразка 2 та 0.18 – зі зразка 3. Також дослідження бетону методом TPD-MS показують, що оксиди карбону (CO, CO₂) руйнуються за температури 583 °С.

В інших зразках відбулась втрата оксиду карбону, яку можна пов'язати із біохімічною корозією внаслідок розростання мікроскопічних грибів у бетоні. Це свідчить

про наявність у зразках вапняка (карбонату кальцію), який розкладається з утворенням CO₂ та CaO. Мікроскопічні гриби в процесі свого метаболізму здатні утворювати органічні кислоти, які вступають в реакцію зі складовими бетону (вапняком). Найбільшу корозійну активність мають молочна та оцтова кислоти. В результаті утворюються розчинні кальцієві солі, які легко вимиваються з поверхні бетону (1–2):



Оцтова кислота ацетат кальцію



Молочна кислота

лактат кальцію

Отриманий результат підтверджується інтенсивністю 0.8 зі зразка 2 та 0.4 – зі зразка дослідженнями авторів [27; 28]. бетону 3 за температури 100 °С.

Виділення води (рис. 9) відбувається з

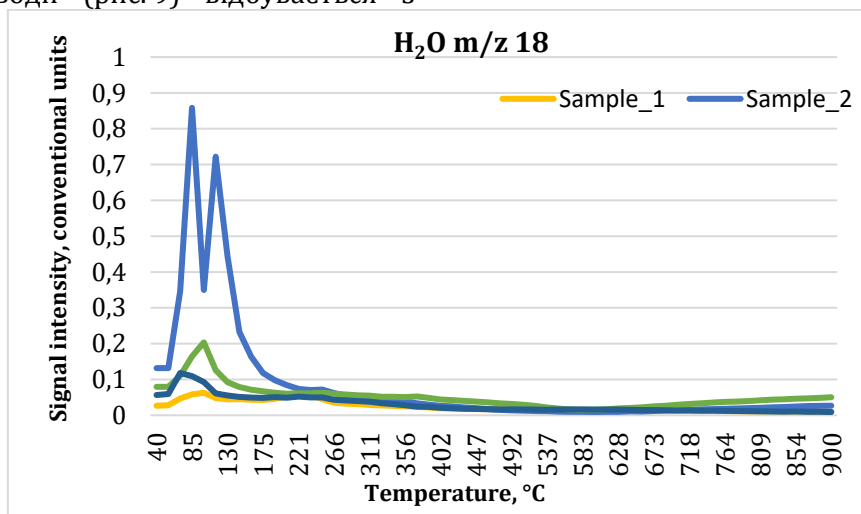


Fig. 9. Thermograms of H₂O (m/z=18) release from samples obtained at different distances from the core
Рис. 9. Термограми виділення H₂O (m/z=18) зі зразків, отриманих на різній відстані від керна

Вказані зразки будівельних матеріалів мали значну кількість зв'язаної води у структурі, тому за нагрівання до 100 °C вода випаровувалась.

У результаті проведеного дослідження з використанням методу TPD-MS можна зробити висновок, що оксиди карбону (CO, CO₂) та H₂O інтенсивно виділялись зі зразків бетону 2 та 3. Сірка виділялась у випадку нагрівання зразка 2 в незначних кількостях. Оксид та діоксид сірки найбільш інтенсивно виділялись також зі зразків 2 та 3.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в визначенні тривалого впливу органічної олії на фізико-хімічні характеристики бетону.

Практична значимість отриманих результатів полягає у тому, що встановлений негативний вплив тривалої дії рослинних жирів на бетон.

Обмеження дослідження полягає у проведенні експерименту в масштабах одного об'єкту.

Висновки

1. За результатами випробувань методом руйнівного контролю було встановлено, що зразок №1 був просочений олією на 17 %, показав зниження міцності на стиск з 16 МПа до 15.3 МПа, що складає втрату міцності на 6 %. Зразок №2 з проникненням олії на 56 %, показав зниження міцності на стиск з 16 МПа до 13.2 МПа, що складає втрату міцності на 19 %. Випробовування зразка №3 з

проникненням олії на 100 % показало зниження міцності на стиск з 16 МПа до 8.3 МПа, що складає втрату міцності на 48 %, порівняно до контрольного зразку № 4.

2. Електронною мікроскопією встановлено руйнування структури бетону, а саме – порушення зв'язків між щебенем та цементним каменем внаслідок просочення олією. Також виявлені спори і гіфи мікроскопічних грибів, які використовують бетон в якості матриці для росту.

3. Дослідження зразків бетону за допомогою TPD MS показало, що карбон (IV) оксид інтенсивно виділявся за температури 583 °C зі зразків 2 – 0.03 та 3 – 0.05. Вивільнявся CO₂ за температури 552 °C з інтенсивністю 0.1 зі зразка 2, та 0.18 – зі зразка 3. В інших зразках карбон діоксид не виділявся, що пов'язано з біохімічною корозією бетону. Вода виділялась зі зразків бетону: 2 – 0.8 та 3 – 0.4 за температури 100 °C.

Конфлікт інтересів

Автори декларують, що не мають конфлікту інтересів стосовно даного дослідження, в тому числі фінансового, особистісного характеру, авторства чи іншого характеру, що міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в даній статті.

Use of artificial intelligence

The authors confirm that they did not use artificial intelligence technologies when creating the current work.

References

- [1] Żebrowski, W., Wolka, P., Kurpinska, M. (2020). The Influence of the Aircraft Operating Fluids on the Mechanical Parameters of the Airport Surface Concrete. *Materials (Basel, Switzerland)*, 13(14), 3081. <https://doi.org/10.3390/ma13143081>.
- [2] Ahmed, A. D., Saif, M. S., Sheelan, H. M., Abbas, A. H. (2022). Durability indication of concrete exposed to contact with some petroleum products, *AIP Conference Proceedings* 2660, 020105. <https://doi.org/10.1063/5.0107910>
- [3] Barnat-Hunek, D., Szafraniec, M. (2021). Influence of Biodegradable Release Oils on the Physical and Mechanical Properties of Light-Colored Architectural Concrete. *Materials (Basel, Switzerland)*, 14(16), 4630. <https://doi.org/10.3390/ma14164630>
- [4] Serrano-González, L., Merino-Maldonado, D., Guerra-Romero, M. I., Morán-Del Pozo, J. M., Lemos, P. C., Pereira, A. S., Faria, P., García-González, J., Juan-Valdés, A. (2021). Use of Bioproducts Derived from Mixed Microbial Cultures Grown with Crude Glycerol to Protect Recycled Concrete Surfaces. *Materials (Basel, Switzerland)*, 14(8), 2057. <https://doi.org/10.3390/ma14082057>
- [5] Minfei, L., Feng, K., He, C., Li, Y., An, L., Guo, W. (2020). A meso-scale model toward concrete water permeability regarding aggregate permeability. *Construction and Building Materials*, 261, 120547
- [6] Millán Ramírez, G. P., Byliński, H., & Niedostatkiwicz, M. (2021). Deterioration and Protection of Concrete Elements Embedded in Contaminated Soil: A Review. *Materials (Basel, Switzerland)*, 14(12), 3253. <https://doi.org/10.3390/ma14123253>
- [7] Xia, J., Shen, J., Li, T., & Jin, W. L. (2022). Corrosion prediction models for steel bars in chloride-contaminated concrete: A review. *Magazine of Concrete Research*, 74(3), 123–142. <https://doi.org/10.1680/jmacr.20.00106>
- [8] Hossain, M. M., Al-Deen, S., Shill, S. K., & Hassan, M. K. (2024). Resistance of Concrete with Various Types of Coarse Aggregate to Coupled Effects of Thermal Shocks and Chemicals. *Materials (Basel, Switzerland)*, 17(4), 791. <https://doi.org/10.3390/ma17040791>
- [9] Ostrowski, K. A., Chastre, C., Furtak, K., & Malazdrewicz, S. (2022). Consideration of Critical Parameters for Improving the Efficiency of Concrete Structures Reinforced with FRP. *Materials (Basel, Switzerland)*, 15(8), 2774. <https://doi.org/10.3390/ma15082774>
- [10] Pietrzak, A., Ulewicz, M. (2023). Influence of Post-Consumer Waste Thermoplastic Elastomers Obtained from Used Car Floor Mats on Concrete Properties.

- Materials* (Basel, Switzerland), 16(6), 2231. <https://doi.org/10.3390/ma16062231>
- [11] Konovalova, V. S. (2023). Investigation of the Effect of Volumetric Hydrophobization on the Kinetics of Mass Transfer Processes Occurring in Cement Concretes during Corrosion. *Materials* (Basel, Switzerland), 16(10), 3827. <https://doi.org/10.3390/ma16103827>
- [12] Ding, X., Liang, X., Zhang, Y., Fang, Y., Zhou, J., Kang, T. (2020). Capillary water absorption and micro pore connectivity of concrete with fractal analysis. *Crystals*, 10(10), 892. <https://doi.org/10.3390/cryst10100892>
- [13] Claisse, P. A. (2020). *Transport properties of concrete: Modelling the durability of structures*. Woodhead Publishing.
- [14] Alhamad, A., Yehia, S., Lublóy, É., 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>
- [15] Sundin, M., Hedlund, H., Cwirzen, A. (2023). Eco-Concrete in High Temperatures. *Materials* (Basel, Switzerland), 16(12), 4212. <https://doi.org/10.3390/ma16124212>
- [16] Li, X., Qin, L., Guo, L., Li, Y. (2024). Research on the Mechanical Properties of Concrete under Low Temperatures. *Materials* (Basel, Switzerland), 17(8), 1882. <https://doi.org/10.3390/ma17081882>
- [17] IDT EN 12504-1:2013 Testing concrete in structures - Part 1: Cored specimens - Taking, examining and testing in compression.
- [18] IDT EN 12390-3:2022 Testing hardened concrete - Part 3: Compression testing of specimens
- [19] Bozhokin, M.S., Bozhkova, S. A., Rubel, A. A., Sopova, J. V., Nashchekina, Y. A., Bilyug, N. B., Khotin, M. G. (2021). Specificities of Scanning Electron Microscopy and Histological Methods in Assessing Cell-Engineered Construct Effectiveness for the Recovery of Hyaline Cartilage. *Methods and protocols*, 4(4), 77. <https://doi.org/10.3390/mps4040077>
- [20] Pokrovskiy, V.A. (2000) Temperature-programmed Desorption Mass Spectrometry. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 62, 407–415. <https://doi.org/10.1023/A:1010177813557>
- [21] Melo, R.H.R.Q., Hasparyk, N.P., Tiecher, F.: (2023) Assessment of Concrete Impairments over Time Triggered by DEF. *Journal of materials in civil engineering*, 35 <https://doi.org/10.1061/JMCEE7.MTENG-15041>
- [22] Rahim, M. A., Ayub, H., Sehrish, A., Ambreen, S., Khan, F. A., Itrat, N., Nazir, A., Shoukat, A., Shoukat, A., Ejaz, A., Özogul, F., Bartkiene, E., Rocha, J. M. (2023). Essential Components from Plant Source Oils: A Review on Extraction, Detection, Identification, and Quantification. *Molecules* (Basel, Switzerland), 28(19), 6881. <https://doi.org/10.3390/molecules28196881>
- [23] Shkromada, O., Volkov, D., Ivchenko, V., Tsyhanenko, L., Tsyhanenko, H., Chivanov, V., Yurchenko, O., Pikhtirova, A., Shvets, O. (2024) Determination of concrete thermochemical destruction regulations under the influence of high temperatures, *Journal of Chemistry and Technologies*, 32(2), 423–433. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v32i2.298636>
- [24] Shkromada, O., Paliy, A., Yurchenko, O., Khobot, N., Pikhtirova, A., Vysochin, I., Fedorenko, G., & Paliy, A. (2020). Influence of fine additives and surfactants on the strength and permeability degree of concrete. *Eureka: Physics and Engineering*, (2), 19–29. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001178>
- [25] Jiang, L., Pettitt, T. R., Buenfeld, N., Smith, S. R. (2022). A critical review of the physiological, ecological, physical and chemical factors influencing the microbial degradation of concrete by fungi. *Building and Environment*, 214, 108925. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108925>
- [26] Chevalier, L., Klingelschmitt, F., Mousseron, L., & Minc, N. (2024). Mechanical strategies supporting growth and size diversity in Filamentous Fungi. *Molecular Biology of the Cell*, 35(9), br17. <https://doi.org/10.1091/mbc.E24-04-0171>
- [27] Sopov, V., Danchenko, J., Latorez, E. (2019) Assess the Effectiveness of protective Concrete coatings of microbiological sulfuric acid Aggression, *E3S Web of Conferences*, 97, 02022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199702022>
- [28] 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>