

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Декан будівельного факультету

Українського державного університету

залізничного транспорту,



Олексій ДУДІН

ВИСНОВОК

Українського державного університету залізничного транспорту
про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів
дисертації

Журавля Віталія Вікторовича на тему «Бетони і розчини на основі
портландцементу зі зниженою проникністю для хлорид-іонів для
транспортних споруд», поданої на здобуття наукового ступеня доктора
філософії

з галузі знань 19 - Архітектура та будівництво
спеціальності 192 - Будівництво та цивільна інженерія

1. Актуальність теми дослідження та її зв'язок з науково-дослідними роботами.

Бетон складає основну частину світового сучасного будівництва. Різноманітність використання бетону та бетонних конструкцій вражає так як і умови та специфіка його використання у різноманітні чинників та впливів. Однією з найважливіших переваг бетону та залізобетону порівняно з металами та іншими матеріалами є його висока корозійна стійкість. Бетон і залізобетон є довговічними матеріалами, якщо застосовані правильно підібраний склад композита, відповідна технологія виготовлення та ефективні захисні заходи. Найбільш поширеними випадками корозійного пошкодження залізобетонних конструкцій є корозія сталевих арматур. Корозія сталі відбувається в результаті карбонізації бетону або внаслідок впливу середовища насиченого

хлоридами, морозного руйнування бетону, у тому числі за посиленої присутності солей хлоридів, пошкодження бетону внаслідок капілярної абсорбції соляних розчинів і їх випаровування. Не менш суттєво впливають електричні струми, що викликають корозію як арматури, так і захисного шару бетону. Реальні умови експлуатації конструкції зазвичай пов'язані з наявністю декількох агресивних факторів.

Транспортні споруди регулярно зазнають впливу хлоридів, що потрапляють на їх конструкції з ґрунтів, або внаслідок використання протиожеледних реагентів. Використання протиожеледних матеріалів, що містять хлориди, для доріг, хоч і є необхідним заходом для забезпечення транспортної безпеки, призводить до інтенсивної корозії елементів сталевих конструкцій, а також пошкодження бетонних поверхонь, що негативно позначається на довговічності всієї інфраструктури. Гідротехнічні морські споруди, такі як причали, хвилерізи, мости і бурові платформи, постійно зазнають впливу солоної води, багатой на хлориди, яка проникає в бетонні і сталеві елементи, викликаючи їх руйнування. Не менш важливим є вплив струмів витоку та блукаючих струмів, які прискорюють корозійні процеси в бетоні та залізобетоні. Ці явища сприяють значному скороченню терміну експлуатації таких об'єктів, що у свою чергу збільшує витрати на технічне обслуговування та ремонт.

Розуміння механізмів проникнення хлорид-іонів вглиб бетону і механізмів хлоридної корозії та розроблення відповідних методів захисту є ключовим завданням у контексті їхньої довговічності та безпеки експлуатації. Відповідно, актуальним є дослідження, що присвячені встановленню закономірностей структуроутворення цементного каменю з добавками, які знижують його проникність для хлорид-іонів, що дозволить розробити склади бетонів та будівельних розчинів, які будуть ефективно виконувати функції захисного шару в залізобетонних конструкціях транспортних споруд.

Робота виконувалась на кафедрі будівельних матеріалів конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту.

хлоридами, морозного руйнування бетону, у тому числі за посиленої присутності солей хлоридів, пошкодження бетону внаслідок капілярної абсорбції соляних розчинів і їх випаровування. Не менш суттєво впливають електричні струми, що викликають корозію як арматури, так і захисного шару бетону. Реальні умови експлуатації конструкції зазвичай пов'язані з наявністю декількох агресивних факторів.

Транспортні споруди регулярно зазнають впливу хлоридів, що потрапляють на їх конструкції з ґрунтів, або внаслідок використання протиожеледних реагентів. Використання протиожеледних матеріалів, що містять хлориди, для доріг, хоч і є необхідним заходом для забезпечення транспортної безпеки, призводить до інтенсивної корозії елементів сталевих конструкцій, а також пошкодження бетонних поверхонь, що негативно позначається на довговічності всієї інфраструктури. Гідротехнічні морські споруди, такі як причали, хвилерізи, мости і бурові платформи, постійно зазнають впливу солоної води, багатой на хлориди, яка проникає в бетонні і сталеві елементи, викликаючи їх руйнування. Не менш важливим є вплив струмів витоку та блукаючих струмів, які прискорюють корозійні процеси в бетоні та залізобетоні. Ці явища сприяють значному скороченню терміну експлуатації таких об'єктів, що у свою чергу збільшує витрати на технічне обслуговування та ремонт.

Розуміння механізмів проникнення хлорид-іонів вглиб бетону і механізмів хлоридної корозії та розроблення відповідних методів захисту є ключовим завданням у контексті їхньої довговічності та безпеки експлуатації. Відповідно, актуальним є дослідження, що присвячені встановленню закономірностей структуроутворення цементного каменю з добавками, які знижують його проникність для хлорид-іонів, що дозволить розробити склади бетонів та будівельних розчинів, які будуть ефективно виконувати функції захисного шару в залізобетонних конструкціях транспортних споруд.

Робота виконувалась на кафедрі будівельних матеріалів конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту.

Розроблено та передано у промислову експлуатацію технологію поточного ремонту конструкцій мостів, що використовує модифіковані цементні композиції з підвищеною стійкістю до хлоридів. Впровадження цієї технології забезпечить збільшення міжремонтного періоду та зниження експлуатаційних витрат.

Результати досліджень запроваджено в освітній процес за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, освітніми програмами всіх освітніх рівнів «Промислове та цивільне будівництво».

2. Мета і задачі дослідження.

У дисертаційній роботі визначено мету дисертаційного дослідження, якою є встановлення закономірностей структуроутворення цементного каменю зниженої проникності для хлорид-іонів за рахунок введення карбонатних добавок, розроблення складів бетону та розчину для транспортних споруд.

Для досягнення поставленої мети здобувачем було сформульовано та виконано наступні завдання:

1 Проведено комплексний аналіз сучасних теоретичних уявлень та експериментальних досліджень щодо корозійної стійкості транспортних споруд з бетонів та розчинів на основі портландцементу в умовах дії агресивних середовищ, зокрема хлоридовмісних розчинів і електричного струму. Показано, що найбільш небезпечними факторами є дифузія хлорид-іонів та дія пульсуючого односпрямованого електричного струму, які спричиняють деградацію цементної матриці та корозію арматури.

2. Встановлено особливості гідратації цементних в'язучих з карбонатними добавками, які сприяють формуванню продуктів з підвищеною хімічною стабільністю та позитивним поверхневим зарядом. Зокрема, підтверджено утворення гідрокарбоалюмінатів кальцію, що здатні зв'язувати хлориди та зменшувати проникність цементного каменю.

3. У результаті експериментальних фізико-хімічних досліджень встановлено, що введення карбонатних добавок різного генезису (високодисперсна крейда, мелений вапняк) сприяє спрямованому формуванню структури цементного каменю, зменшенню капілярної пористості та підвищенню стійкості до дії агресивних середовищ.

4. Показано, що цементні композиції з карбонатними добавками демонструють задовільні фізико-механічні характеристики, зокрема міцність на стиск та щільність, що забезпечує їхню придатність для застосування у конструкціях транспортного призначення.

5. Дослідження глибини проникнення хлорид-іонів підтвердили ефективність карбонатних добавок у зниженні дифузійної проникності. Особливо помітний ефект досягнуто в умовах впливу пульсуючого односпрямованого електричного струму, що є характерним для електрифікованих ділянок залізниць.

6. На основі отриманих результатів розроблено рекомендації щодо складу цементних композиційних матеріалів, оптимізованих за рахунок введення карбонатних добавок для підвищення довговічності та корозійної стійкості бетонів у транспортних спорудах.

3. Наукові положення, розроблені особисто здобувачем, та їх новизна.

Здобувачем проведено експериментальні дослідження, оброблено одержані дані та у підсумку розв'язано актуальне науково-технічне завдання – розроблено склади бетонів та розчинів на основі портландцементу стійкі до проникнення хлорид-іонів. У процесі проведення досліджень здобувачем досліджено вплив карбонатних добавок на глибину дифузії хлорид-іонів і міцність цементних композитів, досліджено вплив рН рідкої фази цементних композитів на ефективність використання колориметричного методу, додатково визначено ефективність різних типів добавок на водостійкість і проникність для агресивних середовищ асфальтобетону, встановлено залежності між електрофізичними та фізико-механічними властивостями електрозахисних композитів, а також виконано проектування складу

корозійностійкого бетону для реконструкції елементів мостових конструкцій.

Об'єктом дослідження є процеси формування структури портландцементного каменю, розчину та бетону з карбонатними добавками та механізм зв'язування хлорид-іонів, що проникають в конструкції споруд з оточуючого середовища.

Предметом дослідження є портландцементний камінь, розчин та бетон з карбонатними добавками зі зниженою проникністю для хлорид-іонів для транспортних споруд.

Положення, що виносяться на захист і є науковими результатами дисертаційної роботи, наступні:

- теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено можливість зниження проникності для хлорид-іонів бетонів і розчинів на основі портландцементу за рахунок направленої структуроутворення цементного каменю в присутності карбонатних добавок;

- **вперше** встановлено, що на границі сферичних частинок крейди за рахунок пуцоланової реакції утворюється шар гідросилікатів кальцію, від якого від периферії до центру зростають кристали гідрокарбоалюмінатів кальцію;

- **вперше** встановлено, що введення карбонатних добавок призводить до утворення в цементному камені гідрокарбоалюмінатів кальцію, які здатні зв'язувати хлорид-іони за рахунок реакції заміщення карбонат-іонів;

- **вперше** встановлено, що введення карбонатних добавок забезпечує утворення додаткової кількості кристалогідратів (гідрокарбоалюмінатів кальцію) з позитивним поверхневим зарядом, стінки капілярів із яких перешкоджають дифузії аніонів хлору за рахунок електрокапілярного тиску.

Усі положення, які виносяться на захист, отримано здобувачем самостійно у процесі виконання дисертаційного дослідження.

4. Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій.

Дисертаційна робота здобувача Журавля В.В. є завершеною науковою працею, яка виконувалась протягом 2021-2025 рр.

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи є в достатній мірі обґрунтованими та впливають з результатів досліджень. Зокрема, при виконанні дослідження використано значний обсяг сучасних літературних джерел, значна кількість яких є авторитетними науковими публікаціями, що індексуються наукометричними базами Scopus, WoS та Index Copernicus.

Для вирішення науково-практичних задач, поставлених в дисертаційному дослідженні, було застосовано комплекс методів досліджень. Теоретично-розрахункові методи були застосовані для оцінки можливості протікання реакцій гідратації цементу в присутності карбонатних добавок, а також реакцій взаємодії мінералів цементного каменю з хлорид-іонами – застосовано термодинамічні розрахунки з оцінкою можливості протікання величинами їх вільної енергії Гіббса. В експериментальних дослідженнях використано сучасні методи фізико-хімічного аналізу: визначення питомої поверхні мінеральних добавок і цементів – автоматичний прилад Блейна; визначення щільності компонентів – газовий пікнометр Ultraruc 5000; дослідження процесів гідратації в'язучих речовин – калориметр теплоти гідратації; дослідження макро- і мікроструктури досліджуваних матеріалів – стереоскопічний оптичний мікроскоп; електронно-мікроскопічний аналіз – скануючий електронний мікроскоп Hitachi TM3000 з насадкою EDS-Bruker для визначення елементного складу; визначення глибини проникнення хлорид-іонів – колориметричний метод. Для дослідження впливу агресивних середовищ, що містять хлорид-іони та спільного впливу рідкого середовища і електричного поля було розроблено оригінальні методики та установки. Фізико-механічні властивості зразків цементно-піщаного розчину та бетону визначалися за методиками, що відповідають діючим національним стандартам..

Обґрунтованість та достовірність наукових положень та результатів дисертації підтверджується апробацією на міжнародних наукових конференціях, публікацією в рецензованих наукових виданнях та актами впровадження (на будівельному об'єкті ТОВ «Будівельні технології України» та у навчальний процес УкрДУЗТ).

5. Теоретичне і практичне значення результатів дисертаційного дослідження

Теоретичне значення дисертаційної роботи полягає у детальному дослідженні процесу спрямованого структуроутворення цементного каменю в присутності карбонатних добавок різних генетичних типів, що дає підґрунтя для розробки корозійностійких композиційних матеріалів на основі портландцементу, а також для розвитку подальших досліджень, що спрямовані на підвищення довговічності конструкцій, які знаходяться в складних умовах експлуатації (сумісний вплив агресивних рідких середовищ та електричного струму).

Практичне значення отриманих результатів:

- розроблено склади бетонів та розчинів на основі портландцементу стійкі до проникнення хлорид-іонів;
- для ТОВ «Будівельні технології України» розроблено «Спосіб поточного ремонту конструкцій мостів з рейковим електротранспортом цементними композиційними матеріалами стійкими до проникнення хлорид-іонів», впровадження якого забезпечить соціально-економічний ефект за рахунок збільшення міжремонтного періоду експлуатації та збільшення довговічності конструкцій в цілому;
- теоретичні положення, що розроблені в дисертаційній роботі, а також отримані результати експериментальних досліджень, використані у навчальному процесі при підготовці студентів за спеціальностями 192 Будівництво та цивільна інженерія, освітніми програмами всіх освітніх рівнів «Промислове та цивільне будівництво» в курсах: «Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів конструкцій та споруд», «Модифікація бетонів і будівельних розчинів хімічними та мінеральними добавками і

полімерами», «Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів і конструкцій», «Відновлення експлуатаційних властивостей, захист конструкцій та споруд», у дипломному проектуванні.

6. Апробація результатів дослідження.

Основні результати і положення дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на наступних конференціях:

- 9-й та 10-й Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (Харків, 2021, 2024);
- Міжнародній науковій конференції з аеронавтики, автомобільної та залізничної техніки та технологій BulTrans-2022 (Болгарія, Софія, 2022);
- Міжнародній науково-технічній конференції «Структуроутворення та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій» (Одеса, 2023);
- 21-й Міжнародній конференції з будівельних матеріалів іbausil (Німеччина, Веймар, 2023);
- Міжнародній науково-технічній конференції «Сталий розвиток та відновлення об'єктів міської інфраструктури» MistoBud-2023 (Харків, 2023).

7. Повнота викладення основних наукових результатів дисертації в публікаціях та особистий внесок у них автора.

Дисертаційна робота є результатом самостійного науково-прикладного дослідження автора. Результати дисертаційного дослідження, що складають наукову новизну та виносяться на захист, отримано здобувачем самостійно. Науково-практичні результати, отримані в даного дисертаційного дослідження опубліковано у 14 наукових праць, з них 2 статті у наукових

фахових виданнях України, 1 – у науковому періодичному виданні іншої держави, 3 – у виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази даних Scopus, 9 публікацій у матеріалах міжнародних конференцій.

Наукові статті, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Plugin A., Rucińska T., Borziak O., Pluhin O., Zhuravel V. Electrically Conductive Silicate Composite for Protection against Electrocorrosion. Minerals, 2023, 13, 610. <https://doi.org/10.3390/min13050610>
2. Borziak, O., Zhuravel, V. An investigation into the influence of various anti-stripping agents on the water stability of asphalt concrete. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2023. № 2, С. 70-74 <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/42671>
3. Борзяк О. С., Журавель В. В. Пенетрація хлорид-іонів із водних розчинів у цементні матеріали. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2024. № 210, С. 78-86 <https://doi.org/10.18664/1994-7852.210.2024.320834>
4. Borziak, O., Zhuravel, V., Hudymenko, M. The influence of chloride ion diffusion on the structure of cement composites containing carbonate additives. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2024, 1376(1), 012023. DOI 10.1088/1755-1315/1376/1/012023
5. Plugin A., Borziak O., Nykitynskyi A., Zhyhlo A., Zhuravel V. Correlation between crystallographic characteristics (according to the X-ray structural analysis data) and electrosurface mineral potentials. AIP Conference Proceedings, 2023, 2684, 040019. DOI 10.1063/5.0120005

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Borziak O., Rucińska T., Zhuravel V. The influence of carbonate additives on the formation of the structure of cement stone. Тези доповідей 10-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та

- довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» 20-22 листопада 2024 р., Харків. УкрДУЗТ, 2024. С.167-168.
2. Гудименко М.С., Журавель В.В., Борзяк О.С., Шабанова Г.М. Методи дослідження спільної дії агресивних водних середовищ та електричного струму на цементні композитні матеріали. Тези доповідей 10-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» 20-22 листопада 2024 р., Харків. УкрДУЗТ, 2024. С.170-172.
 3. Журавель В.В Дослідження penetрації хлорид-іонів в структурі цементних композитів з водних розчинів під впливом електричного поля. Тези доповідей 10-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» 20-22 листопада 2024 р., Харків. УкрДУЗТ, 2024. С.172-173.
 4. Zhuravel V., Rucińska T., Borziak O. Investigation of the diffusion of chloride ions in blended cement pastes. 21st International Building Materials Conference ibausil in Weimar, Germany from September 13-15, 2023. ce/papers 6 (6), 1265-1268.
 5. Abramowicz M., Plugin A., Borziak O., Zhuravel V. Concrete for reconstruction of structures. 21st International Building Materials Conference ibausil in Weimar, Germany from September 13-15, 2023. ce/papers 6 (6), 1425-1428.
 6. Plugin A., Borziak O., Pluhin O., Krykun O., Zhuravel V. Silicate and Portland cement based compositions for protection against electrical corrosion. 21st International Building Materials Conference ibausil in Weimar, Germany from September 13-15, 2023. ce/papers 6 (6), 1548-1554.
 7. Zhuravel V., Rucińska T., Borziak O. Chloride binding in portland cement systems with carbonate additives. Збірник тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Структуроутворення та руйнування композиційних будівельних матеріалів та конструкцій» 27-28 квітня 2023 р. в м. Одеса. ОДАБА, 2023. С. 49-51.

8. Plugin, A., Borziak, O., Kaliuzhna, O., Krykun, O., & Zhuravel, V. Protection Against Electrical Corrosion of Railway Constructions by Grounded Screens from Silicate Compositions. In N. Pavlov (Ed.). BulTrans-2022 Conference Proceedings, Technical University of Sofia Publishing House, 2022. pp. 48-56.
9. Плуґін А.А., Борзяк О.С., Никитинський А.В., Жигло А.А., Журавель В.В. Взаємозв'язок кристалографічних характеристик (за даними рентгеноструктурного аналізу) і електроповерхневих потенціалів мінералів. Тези доповідей 9-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» 17-19 листопада 2021 р., Харків. УкрДУЗТ, 2021. С. 251.

Усі наукові положення та результати, які виносяться на захист, отримані автором самостійно. Автором особисто проведено експериментальні дослідження, оброблено одержані дані, підготовлено впровадження результатів дисертаційної роботи у виробництво. В роботах, які опубліковані у співавторстві, автору належить: - встановлення залежності між електрофізичними та фізико-механічними властивостями електрозахисних композитів [1, 11, 13]; - визначення ефективності різних типів добавок на водостійкість і проникність для агресивних середовищ асфальтобетону [2]; - дослідження впливу карбонатних добавок на глибину дифузії хлорид-іонів і міцність цементних композитів [3, 4]; - розрахунок електроповерхневого потенціалу мінералів з різними кристалографічними характеристиками [5, 14]; - термодинамічні розрахунки реакцій гідратації в цементних системах з карбонатними добавками [6, 12]; - аналітичний огляд методів дослідження спільної дії агресивних водних середовищ та електричного струму на композитні матеріали [7]; - дослідження впливу рН рідкої фази цементних композитів на ефективність використання колориметричного методу [9]; - проектування складу корозійностійкого бетону для реконструкції елементів мостових конструкцій [10].

8. Загальний висновок.

Дисертація Журавля Віталія Вікторовича на тему «Бетони і розчини на основі портландцементу зі зниженою проникністю для хлорид-іонів для транспортних споруд» є оригінальним, самостійним, завершеним науковим дослідженням, що стосується актуальної проблематики і містить оригінальні підходи щодо розв'язання теоретичних та практичних завдань по підвищенню ефективності безпроводових когнітивних телекомунікаційних систем.

Основні положення, висновки та рекомендації дисертаційного дослідження містять елементи наукової новизни, є повністю обґрунтованими та науково-практично аргументованими і отримали апробацію на науково-практичних конференціях. Всі наукові положення та отримані результати дослідження знайшли відображення в публікаціях здобувача. Зміст дисертації відповідає визначеній меті. Поставлені здобувачем наукові завдання вирішені в повній мірі і науково обґрунтовані. Мету дослідження досягнуто. Дисертаційне дослідження виконане державною мовою.

За актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Журавля Віталія Вікторовича відповідає спеціальності 192 - Будівництво та цивільна інженерія галузі знань 19 – Архітектура та будівництво та вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року № 261 (зі змінами і доповненнями від 03 квітня 2019 року № 283) та вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44 зі змінами, внесеними згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 21 березня 2022 року № 341, а також Вимогам до оформлення дисертації, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 року № 40.

Дисертація Журавля Віталія Вікторовича на тему «Бетони і розчини на основі портландцементу зі зниженою проникністю для хлорид-іонів для

транспортних споруд» може бути рекомендована до подання та захисту в разовій спеціалізованій вченій раді на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Головуючий на засіданні –

доктор технічних наук, професор,

професор кафедри «Будівельні матеріали,

конструкції та споруди»



Людмила ТРИКОЗ

Секретар засідання

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри «Будівельні матеріали,

конструкції та споруди»



Олег ГЕРАСИМЕНКО