

УДК 691.32:620.197

О. О. Горюн*

PhD, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5678-835X>

Кафедра інженерних систем у будівництві

Вінницький національний технічний університет, вул. Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, Україна, 21000

*автор-кореспондент, e-mail: oleggoriun@vntu.edu.ua

Перспективи застосування імпульсної технології для модифікації бетонних і цементних виробів

Цитувати як:

Горюн, О. О. (2026). Перспективи застосування імпульсної технології для модифікації бетонних і цементних виробів. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 25, 386-400. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15\(25\)-29](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15(25)-29)

© 2026, Автор. Публікується згідно рекомендацій ліцензії [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Анотація. У статті розглянуто перспективи застосування імпульсної технології для модифікації будівельних матеріалів та виробів на цементній основі з метою підвищення їх експлуатаційної надійності та довговічності. Проведено аналітичний огляд сучасних підходів до поверхневої та об'ємної модифікації бетонів і цементних композитів, спрямованих на зниження водопоглинання, підвищення морозостійкості, зносостійкості та опору дії агресивних середовищ. Особливу увагу приділено технології імпульсного імпрегнування як перспективному способу інтенсифікації проникнення модифікуючих рідин у пористу структуру матеріалу. Розглянуто принцип дії технології, що базується на створенні імпульсів тиску, які забезпечують більш глибоке та рівномірне просочення поверхневого шару бетонних виробів порівняно з традиційними методами.

Визначено основні напрями можливого практичного застосування технології у виробництві тротуарної плитки, дорожньо-будівельних елементів, фасадних конструкцій, промислових підлог, а також при ремонті та реконструкції існуючих бетонних і залізобетонних споруд. Показано, що використання імпульсного просочення сприяє зменшенню проникності структури матеріалу, підвищенню його водонепроникності та стійкості до циклічного заморожування і відтавання. Окремо розглянуто перспективи застосування технології для відновлення поверхневого шару експлуатованих конструкцій з ознаками деградації.

На основі аналізу наукових публікацій і власних попередніх досліджень автора обґрунтовано доцільність подальшого розвитку цього напрямку, зокрема в частині оптимізації режимів імпульсного впливу, підбору складу імпрегнуючих рідин та оцінки довготривалої ефективності модифікації. Результати аналітичного дослідження можуть бути використані як теоретична основа для

подальших експериментальних досліджень та впровадження технології у практику виробництва будівельних виробів.

Ключові слова: імпульсне імпрегнування, модифікація бетону, будівельні матеріали, морозостійкість, довговічність, поверхневе просочення.

Вступ

Одним із актуальних напрямів підвищення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій є застосування методів модифікації поверхневого шару матеріалу. У сучасних дослідженнях розглядаються різні підходи до підвищення водонепроникності, морозостійкості та зносостійкості бетону, серед яких особливе місце займають поверхневе та об'ємне просочення, зокрема полімерне імпрегнування та гідрофобна обробка [1-3].

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Аналіз сучасних наукових праць свідчить, що одним із найбільш поширених підходів до підвищення довговічності бетонних і цементних матеріалів є використання поверхневого та об'ємного просочення. Значна увага приділяється полімерному імпрегнуванню бетону як способу підвищення його довговічності. Зокрема, у роботах [3, 4] наведено результати досліджень, які підтверджують, що полімерно-імпрегнований бетон характеризується підвищеною стійкістю до дії агресивних середовищ, циклів заморожування-відтавання та корозійних впливів, а також зниженням водопоглинанням. Такі властивості є особливо важливими для конструкцій, що експлуатуються в складних кліматичних і виробничих умовах.

Встановлено, що особливо ефективними є полімерні та силанові композиції, які забезпечують зниження проникності порової структури бетону та покращення його бар'єрних властивостей. Окремий напрям досліджень пов'язаний із застосуванням гідрофобних просочень, які суттєво знижують коефіцієнт капілярного всмоктування та підвищують стійкість матеріалу до проникнення хлоридів і вологи [5, 6].

Крім того, сучасні дослідження демонструють ефективність складів глибокого проникнення, що забезпечують додаткове ущільнення поверхневого шару бетону та сприяють підвищенню його довговічності. У роботі [2] показано позитивний вплив просочувальних герметизуючих складів на зменшення проникності та покращення експлуатаційних характеристик матеріалу.

Іншим важливим напрямом сучасних досліджень є просочення вторинних бетонних заповнювачів та рециклінгових матеріалів. У роботах [7-9] показано, що попереднє імпрегнування вторинного заповнювача, зокрема з використанням складів на основі лимонної кислоти, дозволяє

знизити його водопоглинання, покращити адгезію з цементним каменем та підвищити фізико-механічні властивості результуючого бетону.

Разом із тим, незважаючи на значну кількість праць, присвячених просоченню бетонів, питання систематизації перспектив застосування саме імпульсної технології для бетонних і залізобетонних виробів та конструкцій залишаються недостатньо висвітленими. У науковій літературі відсутнє цілісне узагальнення можливостей використання цієї технології для дорожніх, фасадних та відновлювальних конструкцій.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є аналітичне обґрунтування перспектив застосування імпульсної технології для модифікації будівельних матеріалів та виробів, а також визначення найбільш перспективних напрямів її практичного використання в будівництві. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати сучасні підходи до модифікації та поверхневого просочення бетонних матеріалів; охарактеризувати принцип дії імпульсної технології імпрегнування; визначити можливі сфери застосування технології у виробництві та реконструкції будівельних конструкцій; оцінити очікуваний вплив технології на фізико-механічні та експлуатаційні властивості матеріалів; окреслити перспективні напрями подальших експериментальних досліджень.

Матеріали та методи

Методикою дослідження передбачено проведення аналітичного огляду сучасних наукових публікацій, присвячених модифікації бетонних та цементних композитів шляхом поверхневого, об'ємного, в тому числі імпульсного просочення. За інформаційну базу використано результати вітчизняних і закордонних досліджень, представлених у наукових статтях, матеріалах конференцій та попередніх роботах автора, зокрема положеннях дисертаційного дослідження.

У роботі застосовано методи системного аналізу, порівняння, класифікації та аналітичного узагальнення. На першому етапі виконано відбір релевантних наукових джерел за тематикою підвищення довговічності бетонних виробів шляхом імпрегнування. На другому етапі проведено групування результатів за основними напрямками практичного застосування технології: гідротехнічне та водогосподарське будівництво, транспортна інфраструктура (дорожні, аеродромні та залізничні конструкції), фасадні та архітектурно-декоративні елементи, фундаментні й цокольні конструкції, огорожувальні елементи, а також сучасні спеціалізовані напрями. Схема методології дослідження наведена на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема методології дослідження

Результати та обговорення

Аналітичне узагальнення принципу дії та потенціалу технології

Проведений аналіз наукових джерел та попередніх досліджень автора [10, 11] свідчить, що імпульсна технологія імпрегнування має суттєвий потенціал для підвищення експлуатаційних характеристик бетонних виробів. На рис. 2 представлено спрощену діаграму реалізації способу імпульсного імпрегнування.

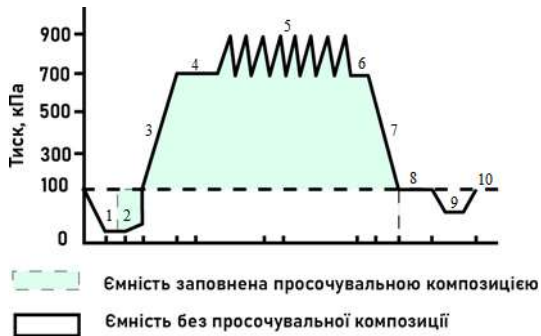


Рис. 2. Діаграма способу імпульсного імпрегнування виробів із бетону [10]: 1 - вакуумування, 2 - заповнення робочої камери просочувальною рідиною, 3 - створення надлишкового тиску, 4 - витримка під тиском, 5 - режим імпульсів тиску рідини, 6 - стабілізація тиску рідини, 7 - зниження тиску до атмосферного, 8 - злив просочувальної рідини, 9 - вакуумування, 10 - відновлення атмосферного тиску та розгерметизація

Для реалізації імпульсного режиму імпрегнування може бути використане спеціалізоване автоклавне устаткування, доповнене генератором імпульсів тиску. На рис. 3 наведено адаптовану принципову схему імпрегнатора імпульсної дії. Особливістю такої установки є можливість створення короткочасних імпульсів надлишкового тиску в робочій камері, що сприяє інтенсифікації проникнення просочувальної рідини у капілярно-пористу структуру бетону.

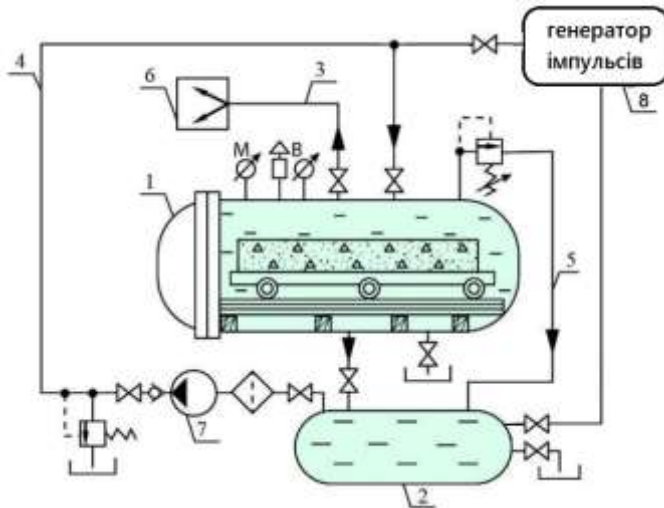


Рис. 3. Принципова схема імпрегнатора імпульсної дії:

- 1 - просочувальна камера; 2 - ємність з імпрегнантом; 3 - вакуумна лінія; 4 - лінія нагнітання імпрегнанта; 5 – зливна лінія; 6 - вакуумний насос; 7 - рідинний насос; 8 - генератор імпульсів тиску

На відміну від поверхневого та традиційного об'ємного просочення, об'ємне імпрегнування з імпульсним режимом забезпечує циклічну зміну величини надлишкового тиску, що сприяє більш глибокому проникненню та рівномірному розподілу модифікуючого складу в капілярно-пористій структурі цементного каменю. За рахунок цього досягається зниження відкритої пористості, зменшення водопоглинання, підвищення морозостійкості та стійкості до дії агресивних середовищ. Узагальнення результатів попередніх досліджень показує, що саме інтенсифікація проникнення просочувальної рідини є ключовою перевагою даної технології.

Класифікація перспективних напрямів

Гідротехнічне та водогосподарське будівництво. Одним із найбільш перспективних напрямів застосування імпульсної технології модифікації є

бетонні та залізобетонні конструкції, що експлуатуються в умовах постійного або періодичного контакту з водою. До таких виробів належать хвилерізи, причальні плити, укуси та підпірні стінки набережних, облицювальні плити каналів, бетонні водовідвідні лотки, безнапірні водопропускні труби, а також елементи зливової та дренажної мережі. За даними сучасних досліджень [12], основною причиною деградації таких конструкцій є проникнення хлорид-іонів, що викликає корозію арматури та зниження довговічності споруд. Основною перевагою імпрегнованих виробів є зменшення водопоглинання та підвищення стійкості до проникнення хлоридів і агресивних середовищ, що здебільшого обумовлено застосуванням силанового просочення [13]. Це особливо важливо для прибережних споруд та систем водовідведення.

Транспортна інфраструктура. Перспективною сферою застосування імпульсної технології імпрегнування є об'єкти транспортної інфраструктури, що експлуатуються в екстремальних умовах: за інтенсивних механічних навантажень, постійної дії вологи та агресивного впливу протижелезних реагентів. Використання полімерного просочення дозволяє суттєво підвищити корозійну стійкість бетону та його опірність циклам заморожування-відтавання [4], що є критичним для забезпечення довговічності конструкцій у змінних температурно-вологісних [14]. У межах галузі доцільно виділити три ключові сегменти: дорожнє будівництво, аеродрому та залізничну інфраструктуру.

У сегменті дорожнього будівництва та благоустрою об'єктами імпрегнування є вироби різного функціонального призначення та масштабу — від великогабаритних плит до дрібноштучних елементів мощення. Це можуть бути дорожні плити, різноманітні фігурні елементи мощення (зокрема тротуарної плитки, плит паркувальних майданчиків, зупинок громадського транспорту), бордюрний камінь. Основною проблемою тут є швидка втрата естетичного вигляду та структурної цілісності поверхні через сольову корозію та абразивне стирання під дією транспортних потоків та повторюваність циклів заморожування-відтавання [4, 14].

Особливої уваги потребує аеродромна інфраструктура, зокрема збірні покриття з підвищеною тримкістю: аеродромні плити (ПАГ), елементи руліжних доріжок, місць стоянок літаків та ремонтні плити для злітно-посадкових смуг. Аналіз стану існуючих аеродромних покриттів свідчить про їх схильність до інтенсивного тріщиноутворення, руйнування внаслідок загазованості, а також хімічного впливу [15]. Такі вироби потерпають від термічних ударів двигунів та екстремальних динамічних навантажень під час зльоту й посадки, що вимагає впровадження інноваційних рішень для підвищення їх експлуатаційних характеристик та

екологічної стійкості [16]. Світовий досвід управління станом покриттів у найбільших аеропортах світу підтверджує, що саме превентивні заходи із забезпечення довговічності бетону є запорукою сталого функціонування об'єктів [17].

Для залізничної сфери, що охоплює бетонні шпали, плити переїздів та водовідвідні системи, критичним фактором є вібраційна витривалість та стійкість до розтріскування в умовах постійного зволоження.

Фасадні та архітектурно-декоративні елементи. Окремим перспективним напрямом є захист виробів з архітектурного бетону, для яких критично важливою є стійкість до атмосферної ерозії та збереження естетичного вигляду. Об'єктами імпульсної обробки тут виступають фасадні та декоративні панелі, парпетні плити, накривки на паркани, карнизні елементи, балюстради, підвіконні плити, а також декоративні тумби та колони. Основною проблемою експлуатації таких елементів є висока гігроскопічність, коли накопичення вологи в порах призводить до появи висолів, розвитку мікрофлори (моху та грибка) і руйнування фактурного шару через температурні коливання. Використання імпульсного просочення дозволяє створити стійкий гідрофобний бар'єр, що сприяє ефекту самоочищення та запобігає проникненню забруднень углиб структури бетону.

Фундаментні та цокольні елементи. Технологія імпульсного імпрегнування є технічно обґрунтованою для конструкцій, що перебувають у постійному контакті з ґрунтовою вологою та підземними водами. До цієї групи відносяться збірні блоки фундаментів (ФБС), підпірні стінки, фундаментні стакани, цокольні панелі та елементи підвальних приміщень. Головним деструктивним чинником для таких об'єктів є капілярне підсмоктування вологи, що спричиняє корозію арматури та зниження теплоізоляційних властивостей бетону. Дослідження підтверджують, що просочення бетону розчинами силікату натрію за спеціальними технологіями дозволяє знизити водопоглинання більш ніж у 1,5 рази та підвищити міцність на стиск, що критично важливо для підземних конструкцій [18]. Створення щільного імпрегнованого шару суттєво знижує дифузійну проникність матеріалу, що дозволяє мінімізувати ризики руйнування в зонах змінного рівня ґрунтових вод та підвищити загальну довговічність підземних частин будівель.

Огороджувальні конструкції. Важливе значення має захист елементів збірних огорож, які піддаються комплексному впливу опадів, вітрових навантажень та циклічного заморожування. Об'єктами захисту є секції бетонних парканів, стовпи огорож, а також добірні елементи — накривки стовпів та парпетні кришки. Найбільш вразливими в таких конструкціях є горизонтальні поверхні та зони кріплень. Глибоке

імпульсне імпрегнування дозволяє герметизувати мікротріщини та монтажні вузли, запобігаючи відшаровуванню бетону та забезпечуючи стабільність геометричних форм елементів протягом тривалого терміну експлуатації. На основі проведеного аналітичного узагальнення запропоновано класифікацію перспективних напрямів застосування імпульсної технології залежно від умов експлуатації та очікуваного ефекту модифікації (табл. 1).

Таблиця 1. Перспективні напрями застосування імпульсної технології

Напрямок	Типові вироботи	Основний деструктивний чинник	Очікуваний ефект	Перспективний тип імпрегнантів
гідротехніка	лотки, канали, труби	вода, хлориди	водонепроникність	силанові, полімерні
дорожні покриття	ФЕМ, бордюри	Цикли заморожування-відтавання, реагенти	морозостійкість	гідрофобні
аеродроми	ПАГ, ЗПС	динамічні навантаження	зносо-стійкість	полімерні
фасади	панелі, парапети	опади, висоли	довговічність	гідрофобні
фундаменти	ФБС, підпірні стіни	грунтова волога	зниження проникності	силікатні

Сучасні спеціалізовані напрямки. Розвиток технологій модифікування структури бетону відкриває нові можливості для застосування імпрегнування у роботі з високотехнологічними композитами. Зокрема, сучасні дослідження [19] підтверджують ефективність просочувальних складів для покращення експлуатаційних характеристик текстильно-армованого бетону, що свідчить про універсальність методу не лише для традиційних, а й для тонкостінних високоміцних конструкцій. Інноваційним вектором є розробка спеціалізованих імпрегнуючих агентів з айс-фобними властивостями [20], які дозволяють суттєво знизити льодоутворення та водопоглинання дорожніх покриттів. Окрім покращення фізико-механічних властивостей, технологія імпрегнування дозволяє вирішувати екологічні завдання, наприклад, шляхом використання промислових відходів, зокрема сірчанних [21], як модифікуючих агентів для легких бетонів, що значно підвищує

їхню міцність та хімічну стійкість. Окремим перспективним напрямом є використання модифікуючих складів для ревіталізації бетонних об'єктів після термічного або тривалого експлуатаційного пошкодження. Такий підхід є доцільним при реконструкції фасадних елементів, балконних плит та мостових конструкцій, де відбулося локальне руйнування поверхневого шару або втрата структурної цілісності внаслідок дії вогню. Дослідження [22] показали, що імпрегнування пошкодженого бетону має потенціал для відновлення експлуатаційних показників. Це особливо важливо для захисту арматури від проникнення хлорид-іонів, які інтенсивно мігрують у структуру матеріалу як у прибережних зонах, так і в умовах дорожнього будівництва внаслідок масованого використання протижелезних реагентів. Своєчасна імпульсна обробка відновлюваних поверхонь створює надійний антикорозійний бар'єр, що суттєво подовжує термін служби відремонтованих споруд.

Техніко-економічні аспекти застосування

Підвищення довговічності бетонних виробів за рахунок імпульсного імпрегнування потенційно дозволяє зменшити витрати на ремонт, технічне обслуговування та передчасну заміну конструкцій.

За рахунок зниження проникності, водопоглинання та інтенсивності деградаційних процесів технологія може бути перспективною для виробів, експлуатація яких супроводжується дією вологи, циклів заморожування-відтавання та агресивних середовищ.

На відміну від існуючих досліджень, які переважно присвячені окремим видам імпрегнуючих складів або локальним аспектам модифікації бетонів, у даній роботі виконано систематизацію перспективних напрямів застосування саме імпульсної технології імпрегнування для різних типів бетонних та цементних виробів. Запропоновано класифікацію сфер практичного використання технології залежно від умов експлуатації конструкцій, домінуючих деструктивних чинників та очікуваного експлуатаційного ефекту. Це дозволяє розглядати імпульсне імпрегнування не лише як окремий спосіб модифікації матеріалу, а як перспективний універсальний технологічний підхід для підвищення довговічності будівельних виробів різного функціонального призначення.

Висновки

У роботі виконано аналітичне обґрунтування перспектив застосування імпульсної технології для модифікації будівельних матеріалів та виробів. На основі аналізу сучасних наукових джерел та попередніх досліджень автора встановлено, що використання імпульсного режиму імпрегнування забезпечує більш глибоке проникнення

модифікуючих складів у капілярно-пористу структуру цементного каменю, що сприяє зниженню водопоглинання, підвищенню морозостійкості та стійкості до дії агресивних середовищ.

У результаті аналітичного узагальнення запропоновано класифікацію перспективних напрямів застосування імпульсної технології залежно від типу конструкцій, умов експлуатації та домінуючих деструктивних чинників.

Встановлено, що найбільш доцільним є застосування імпульсного імпрегнування для конструкцій, які працюють в умовах інтенсивного зволоження, циклічного заморожування-відтавання, дії хлоридів та значних механічних навантажень. До таких об'єктів належать споруди гідротехнічного та водогосподарського будівництва, транспортної інфраструктури, фасадні та архітектурно-декоративні елементи, фундаментні та цокольні конструкції, а також бетонні споруди, що перебувають в експлуатації й потребують відновлення поверхневого шару.

Перспективою подальших досліджень є експериментальне визначення оптимальних режимів імпульсного впливу, глибини проникнення модифікуючих складів та кількісна оцінка змін фізико-механічних властивостей бетонних виробів.

Конфлікти інтересів

Автор заявляє, що у нього немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автор підтверджує, що при створенні поточної роботи він не використовував технології штучного інтелекту.

References

1. Thissen, P., Bogner, A., & Dehn, F. (2024). Surface treatments on concrete: An overview on organic, inorganic and nano-based coatings and an outlook about surface modification by rare-earth oxides. *RSC Sustainability*, 2(8), 2092-2124. <https://doi.org/10.1039/d3su00482a>
2. Huang, K., Cheng, A., Tseng, Y. T., Lin, Y., Zhang, Y., & Cheng, P. C. (2025). Effect of Concrete Deep Penetration Sealer on Durability of Concrete. *Materials Science Forum*, 1163, 131-135. <https://doi.org/10.4028/p-5cnqxe>

3. Kumar, R. & Narayanan, R. (2020). A review on polymer impregnated concrete using steel wire mesh. *Materials Today: Proceedings*, 33(1), 338-344, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.118>
4. Mostofinejad, D., Bahmani, H., Khorshidifar, A., & Afsharpour, R. (2024) Enhancing concrete durability with polymer impregnation: A comparative study of corrosion and freeze-thaw resistance. *Developments in the Built Environment*, 18, 100414, <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100414>
5. Zhang, P., Shang, H., Hou, D., Guo, S., & Zhao, T. (2017). The effect of water repellent surface impregnation on durability of cement-based materials. *Advances in Materials Science and Engineering*, Article 8260103. <https://doi.org/10.1155/2017/8260103>
6. Sohawon, H. & Beushausen, H. (2019). The effect of hydrophobic impregnation on chloride ingress into cracked concrete. *IABSE Congress: The Evolving Metropolis, New York, NY, USA, 4-6 September 2019, published in The Evolving Metropolis, 1963-1970* <https://doi.org/10.2749/newyork.2019.1963>
7. Jaskulski, R., Reiterman, P., Kubissa, W., & Yakymchko, Y. (2021). Influence of Impregnation of Recycled Concrete Aggregate on the Selected Properties of Concrete. *Materials*, 14, 4611. <https://doi.org/10.3390/ma14164611>
8. Jaskulski, R., Kubissa, W., & Yakymchko, Y. (2023) Influence of Citric Acid-Assisted Impregnation of Recycled Aggregate on the Properties of the Resultant Concrete. *Materials*, 16, 2986. <https://doi.org/10.3390/ma16082986>
9. Wang, J., Wu, M., Zhou, H., Juan Du, R. M., et al. (2024). Nano-modified recycled aggregates via vacuum impregnation: Towards stronger and durable recycled concrete, *Journal of Building Engineering*, 94, 110006, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110006>
10. Horiun, O. O. (2024). Modification of concrete construction products using technology and equipment for pulse impregnation: *dissertation ... of the degree of Doctor of Philosophy*. Vinnytsia: Vinnytsia National Technical University. https://ida.vntu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/11/dis_Horiun-O.O.-2.pdf
11. Horiun, O. O. (2024). Hydrophobization of building products using equipment for cyclic hydrothermal saturation. *Modern technologies, materials and structures in construction*, 36(1), 58-63. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-1-58-63>
12. Li, K., Han, J., Wang, S., Lian, H., Xiong, J., et. al. (2023). Long-term performance of structural concretes in China southeast coastal environments exposed to atmosphere and chlorides, *Cement and Concrete Research*, 164, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2022.107064>
13. Zewei, D., Xiaodong, W., & Ming, Z. (2024). Research progress of silane impregnation and its effectiveness in coastal concrete structures: A review, *Journal of Building Engineering*, 91, 109550, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109550>
14. Zeng, Y., Zhang, D., Dai, J., Fang, M. & Jin, W. (2020). Determining the service life extension of silane treated concrete structures: A probabilistic approach, *Construction and Building Materials*, 249, 118802, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118802>

15. Horiun, O. O. (2019). Analytical study of the condition of existing asphalt and cement concrete airfield pavements. *Modern technologies, materials and structures in construction*, 26(1), 38-42. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-1-38-42>
16. Zaidan, O. A. (2026). Enhancing airport concrete pavement performance and sustainability in the United Arab Emirates (*Doctoral thesis, Heriot-Watt University*). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32832.90883>
17. Greer, W., Kuchikulla, S., & Drinkard, J. (2025). Pavement Management: Key to Sustainable Concrete Pavement at the World's Busiest Airport. *Proceedings of the International Conference on Concrete Pavements*, 364-377 <https://doi.org/10.33593/iccp.v10i1.386>
18. Shumakov, I., Miroshnikov, V., Younis, B., Buhaievskiy, S., & Bratishko, S. (2024). Improvement of concrete parameters by the method of Sodium Silicates impregnation by internal vacuum tamping. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 012031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1376/1/012031>
19. Pires de Paula, P., Silva, R., & Silva, F. (2025). The effect of different impregnation materials on the performance and application of carbon textile reinforced concrete (TRC). In *66° Congresso Brasileiro do Concreto (CBC2025), Curitiba, Paraná*.
20. Lukpanov, R., Kabdyrova, L., Dyusseminov, D., & Tsigulyov, D. (2026). Ice-Phobic Keratin-Polymer Impregnation for Concrete Pavements: Performance, Adhesion, and Durability Assessment. *Infrastructures*, 11(4), 113. <https://doi.org/10.3390/infrastructures11040113>
21. Isakulov, B., Abdullaev, H., Tukashev, Z., Issakulov, A., & Sundetova, A. (2025). Increasing the performance of lightweight concrete by impregnation with sulfur waste. *EUREKA: Physics and Engineering*, (3), 183-191. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2025.003809>
22. Li, Z., Kitada, T. (2024). Performance Recovery of Fire-damaged Concrete by Impregnation of NaOH-added Lithium Silicate. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 22(12), 751-768, <https://doi.org/10.3151/jact.22.751>

Література

1. Thissen, P., Bogner, A., & Dehn, F. (2024). Surface treatments on concrete: An overview on organic, inorganic and nano-based coatings and an outlook about surface modification by rare-earth oxides. *RSC Sustainability*, 2(8), 2092-2124. <https://doi.org/10.1039/d3su00482a>
2. Huang, K., Cheng, A., Tseng, Y. T., Lin, Y., Zhang, Y., & Cheng, P. C. (2025). Effect of Concrete Deep Penetration Sealer on Durability of Concrete. *Materials Science Forum*, 1163, 131-135. <https://doi.org/10.4028/p-5cnqx6>
3. Kumar, R. & Narayanan, R. (2020). A review on polymer impregnated concrete using steel wire mesh. *Materials Today: Proceedings*, 33(1), 338-344, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.118>
4. Mostofinejad, D., Bahmani, H., Khorshidifar, A., & Afsharpour, R. (2024) Enhancing concrete durability with polymer impregnation: A comparative study of corrosion and freeze-thaw resistance. *Developments in the Built Environment*, 18, 100414, <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100414>
5. Zhang, P., Shang, H., Hou, D., Guo, S., & Zhao, T. (2017). The effect of water repellent surface impregnation on durability of cement-based materials. *Advances in*

6. Sohawon, H. & Beushausen, H. (2019). The effect of hydrophobic impregnation on chloride ingress into cracked concrete. *IABSE Congress: The Evolving Metropolis, New York, NY, USA, 4-6 September 2019, published in The Evolving Metropolis, 1963-1970* <https://doi.org/10.2749/newyork.2019.1963>

7. Jaskulski, R., Reiterman, P., Kubissa, W., & Yakymchko, Y. (2021). Influence of Impregnation of Recycled Concrete Aggregate on the Selected Properties of Concrete. *Materials*, 14, 4611. <https://doi.org/10.3390/ma14164611>

8. Jaskulski, R., Kubissa, W., & Yakymchko, Y. (2023) Influence of Citric Acid-Assisted Impregnation of Recycled Aggregate on the Properties of the Resultant Concrete. *Materials*, 16, 2986. <https://doi.org/10.3390/ma16082986>

9. Wang, J., Wu, M., Zhou, H., Juan Du, R. M., et al. (2024). Nano-modified recycled aggregates via vacuum impregnation: Towards stronger and durable recycled concrete, *Journal of Building Engineering*, 94, 110006, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110006>

10. Горюн, О. О. (2024). Модифікація будівельних виробів із бетону з використанням технології та устаткування для імпульсного імпрегнування: дис. ... д-ра філософії. Вінниця: Вінницький національний технічний університет. https://ida.vntu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/11/dis_Horiun-O.O.-2.pdf

11. Горюн, О. О. (2024). Гідрофобізація будівельних виробів з використанням устаткування для циклічного гідротермічного насичення. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, 36(1), 58-63. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-1-58-63>

12. Li, K., Han, J., Wang, S., Lian, H., Xiong, J., et. al. (2023). Long-term performance of structural concretes in China southeast coastal environments exposed to atmosphere and chlorides, *Cement and Concrete Research*, 164, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2022.107064>

13. Zewei, D., Xiaodong, W., & Ming, Z. (2024). Research progress of silane impregnation and its effectiveness in coastal concrete structures: A review, *Journal of Building Engineering*, 91, 109550, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109550>

14. Zeng, Y., Zhang, D., Dai, J., Fang, M. & Jin, W. (2020). Determining the service life extension of silane treated concrete structures: A probabilistic approach, *Construction and Building Materials*, 249, 118802, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118802>

15. Горюн, О. О. (2019). Аналітичне дослідження стану існуючих асфальто-та цементобетонних аеродромних покриттів. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, 26(1), 38-42. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-1-38-42>

16. Zaidan, O. A. (2026). Enhancing airport concrete pavement performance and sustainability in the United Arab Emirates (*Doctoral thesis, Heriot-Watt University*). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32832.90883>

17. Greer, W., Kuchikulla, S., & Drinkard, J. (2025). Pavement Management: Key to Sustainable Concrete Pavement at the World's Busiest Airport. *Proceedings of the International Conference on Concrete Pavements*, 364-377 <https://doi.org/10.33593/iccp.v10i1.386>

18. Shumakov, I., Miroshnikov, V., Younis, B., Buhaievskiy, S., & Bratishko, S. (2024). Improvement of concrete parameters by the method of Sodium Silicates impregnation by internal vacuum tamping. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 012031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1376/1/012031>

19. Pires de Paula, P., Silva, R., & Silva, F. (2025). The effect of different impregnation materials on the performance and application of carbon textile reinforced concrete (TRC). In *66^o Congresso Brasileiro do Concreto (CBC2025)*, Curitiba, Paraná.

20. Lukpanov, R., Kabdyrova, L., Dyusseminov, D., & Tsigulyov, D. (2026). Ice-Phobic Keratin-Polymer Impregnation for Concrete Pavements: Performance, Adhesion, and Durability Assessment. *Infrastructures*, 11(4), 113. <https://doi.org/10.3390/infrastructures11040113>

21. Isakulov, B., Abdullaev, H., Tukashev, Z., Issakulov, A., & Sundetova, A. (2025). Increasing the performance of lightweight concrete by impregnation with sulfur waste. *EUREKA: Physics and Engineering*, (3), 183-191. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2025.003809>

22. Li, Z., Kitada, T. (2024). Performance Recovery of Fire-damaged Concrete by Impregnation of NaOH-added Lithium Silicate. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 22(12), 751-768, <https://doi.org/10.3151/jact.22.751>

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 10.05.2026	Received 10.05.2026
Отримано у доопрацьованому вигляді 14.05.2025	Received in revised form 14.05.2026
Прийнято 27.05.2026	Accepted 27.05.2026
Опубліковано 29.05.2026	Published 29.05.2026

O. O. Horium

Ph.D., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5678-835X>

Department of Engineering Systems in Construction

Vinnitsia National Technical University, 95 Khmelnytskyi Highway, Vinnitsia, Ukraine, 21000

*corresponding author, e-mail: oleggorium@vntu.edu.ua

Prospects for the application of impulse technology for the modification of concrete and cement products

How to Cite:

Horium O. O. (2026). Prospects for the application of impulse technology for the modification of concrete and cement products. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 25, 386-400. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15\(25\)-29](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15(25)-29)

Abstract. The article examines the prospects for the application of impulse technology in the modification of cement-based building materials and products in order to improve their operational reliability, durability, and long-term performance under various service conditions. The relevance of the study is determined by the growing need for advanced methods of enhancing the durability of concrete and reinforced concrete products exposed to moisture, cyclic temperature changes, aggressive chemical environments, and mechanical loading.

An analytical review of modern approaches to both surface and volumetric modification of concrete and cement-based composites is carried out, with particular attention focused on reducing water absorption, increasing frost resistance, wear resistance, corrosion resistance, and resistance to aggressive environmental factors. Special emphasis is placed on impulse impregnation technology as a promising method for intensifying the penetration of modifying liquids into the capillary-porous structure of cement stone and concrete products. In contrast to conventional methods of surface treatment and traditional bulk impregnation, the impulse mode provides cyclic variation of excess pressure, which significantly improves the depth and uniformity of the distribution of impregnating agents within the material structure.

The operating principle of the technology is considered based on the creation of short-term pressure impulses, which ensure deeper and more uniform impregnation of the surface and near-surface layers of concrete products compared to conventional methods. Due to the intensified penetration of hydrophobic, polymeric, silicate, or other modifying compositions, the technology contributes to the reduction of open porosity, capillary suction, and overall permeability of the material. As a result, improved resistance to moisture ingress, chloride penetration, freeze–thaw cycles, and surface degradation can be achieved.

The main directions of possible practical application of the technology are identified and systematized. These include the production of paving slabs, curbstones, road construction elements, airport pavement slabs, railway concrete products, hydraulic and water-management structures, façade and architectural decorative elements, industrial floors, foundation and basement components, as well as enclosing concrete structures. Particular attention is also paid to the prospects of applying the technology in the repair, reconstruction, and restoration of existing concrete and reinforced concrete structures that exhibit signs of degradation, including surface layer destruction, moisture damage, cracking, chloride-induced corrosion, and freeze–thaw deterioration.

The article also highlights the prospects for the use of impulse impregnation in specialized and innovative areas, including textile-reinforced concrete, lightweight concrete modified with industrial by-products, and the restoration of fire-damaged concrete structures. The analysis demonstrates that the implementation of impulse technology may significantly extend the service life of concrete products operating in severe environmental conditions.

Based on the analysis of scientific publications and the author's previous studies, the expediency of further development of this research area is substantiated, particularly in terms of optimizing impulse exposure parameters, selecting the most effective compositions of impregnating liquids, determining the depth of penetration, and assessing the long-term effectiveness of modification under real operating conditions. The results of the analytical study can be used as a theoretical and methodological basis for further experimental research and for the practical implementation of the technology in the industrial production of concrete and cement-based building products.

Keywords: impulse impregnation, concrete modification, building materials, frost resistance, durability, surface impregnation.