

Олег Олегович Горюн

доктор філософії, асистент кафедри інженерних систем у будівництві

Вінницький національний технічний університет (Вінниця, Україна)

E-mail: oleggoriun@vntu.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5678-835X>**ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ПРОСОЧУВАЛЬНИХ РІДИН У ПРОЦЕСІ ІМПУЛЬСНОГО ІМПРЕГНУВАННЯ БЕТОНУ**

У статті досліджено особливості розповсюдження просочувальних рідин у процесі імпульсного імпрегнування бетону. Проаналізовано вплив імпульсного тиску на проникнення рідини в капілярно-пористу структуру бетону. Встановлено залежність між втратами тиску, капілярним тиском та ударним (імпульсним) тиском просочувальної рідини. Визначено переваги імпульсного методу порівняно зі статичним імпрегнуванням. Отримані результати можуть бути використані для покращення технологій імпрегнування бетону, побудови математичної моделі імпульсного імпрегнування бетону з врахуванням впливу частоти повторювання імпульсів тиску рідини.

Ключові слова: бетон; капілярно-пориста структура; імпрегнування; просочування; математична модель; імпульси тиску рідини; рух рідини в пористому тілі; будівельні матеріали та вироби; модифікація бетону.

Рис.: 3. Бібл.: 13.

Актуальність теми дослідження. Імпрегнування бетону просочувальними рідинами є ефективним методом підвищення його довговічності, водостійкості та хімічної стійкості. Особливо актуальним є вдосконалення технологій імпрегнування, оскільки традиційні методи, пов'язані із застосуванням тиску, зануренні або нанесенні просочувальних складів на поверхню бетону, часто не забезпечують достатньої глибини проникнення просочувальних складів. Одним із перспективних напрямів є використання імпульсного імпрегнування, яке базується на застосуванні імпульсів тиску для покращення розповсюдження просочувальної рідини в капілярно-пористій структурі бетону. Однак процес розповсюдження просочувальних рідин у бетоні за таких умов досліджений недостатньо, що ускладнює оптимізацію технологічних параметрів та розробку ефективних моделей для прогнозування процесу. Дослідження механізмів проникнення рідин у бетон під дією імпульсного тиску дозволить розширити сферу застосування цього способу в будівництві та підвищити якість будівельних виробів.

Постановка проблеми. У дослідженні виявлено особливості поширення просочувальних рідин у бетоні у процесі імпульсного імпрегнування, визначено фактори, що впливають на ефективність імпрегнування, та окреслено шляхи оптимізації цього процесу. Знання про закономірності розповсюдження рідини в капілярно-пористій структурі (КПС) бетону відкривають можливість моделювання процесів імпрегнування та прогнозування результатів обробки матеріалів залежно від обраних технологічних параметрів імпрегнування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема проникнення просочувальних рідин у бетон та покращення його експлуатаційних характеристик шляхом імпрегнування є предметом численних досліджень. У роботах [1-3] досліджували будову КПС бетону, розміри та розподіл пор, а також їхній вплив на процеси фільтрації та просочування рідин. Наукові праці [4; 5] присвячені опису процесів, що виникають під час ультразвукового імпрегнування, що може супроводжуватися кавітаційними явищами, які підвищують ефективність обробки бетону. У роботах [6-8] було досліджено механізм капілярного просочування і технологію вакуумного імпрегнування, яка покращує проникнення складу в товщу бетонів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Попри наявні дослідження, що стосуються розповсюдження рідин у капілярно-пористій структурі бетону та методів імпрегнування, залишаються проблеми, які не отримали вичерпного наукового обґрунтування. Зокрема, недостатньо досліджено зв'язок між втратами тиску в капілярі, капілярним тиском і ударним тиском, який зумовлений імпульсами рідини.

Мета дослідження. Визначення особливостей розповсюдження просочувальних рідин у бетоні під впливом імпульсного імпрегнування, встановлення основних закономірностей процесу, зокрема, зв'язок між втратами тиску в капілярі, капілярним і ударним (імпульсним) тиском для обґрунтування ефективності використання імпульсного методу обробки бетону.

Виклад основного матеріалу. Ключовими параметрами, які характеризують процес імпрегнування будівельних матеріалів є тривалість процесу, яку визначає швидкість імпрегнування, глибина заповнення КПС або зміна об'єму просочувальної рідини в порах бетону (залежно від їхньої геометричної будови, методу імпрегнування, а також властивостей просочувальної рідини). На процес імпрегнування бетону, як капілярно-пористого тіла, впливає сукупність перебігу таких фізичних явищ [9]: рух просочувальної рідини в бетоні під дією капілярного тиску; рух просочувальної рідини в бетоні внаслідок виникнення різниці тисків у попередньо вакуумованому пористому просторі зумовлений дією прикладеного надлишкового тиску; дифузійне переміщення молекул та іонів просочувальної рідини у КПС бетону. Вказаний надлишковий тиск є сумою двох складових рідинного тиску: статичної складової та імпульсної складової тиску. Переміщення рідини у КПС у процесі імпрегнування із застосуванням надлишкового тиску, що відбувається під час реалізації способу вакуум-тиск-вакуум [10; 11], включає лише статичну складову, оскільки імпульси тиску рідини відсутні. Водночас рух просочувальної рідини в КПС бетону під час імпульсного імпрегнування [12; 13] виникає внаслідок поєднання статичної складової з імпульсною (пульсуючою, ударною) складовою рідинного тиску.

Просочувальна рідина заповнює КПС зразка, зануреного в неї, під дією капілярних сил всмоктування та під дію тиску рідинного середовища, таким чином:

$$\Delta p = p_p + p_k - p_{втр}, \quad (1)$$

де Δp – різниця тисків, що зумовлює переміщення рідини;

p_p – тиск рідинного середовища;

p_k – капілярний тиск;

$p_{втр}$ – втрати тиску в КПС матеріалу.

Відомо, що капілярний тиск виникає під впливом сил поверхневого натягу

$$p_k = \frac{2\sigma \cos \theta}{r}, \quad (2)$$

де σ – сила поверхневого натягу;

θ – крайовий кут змочування;

r – радіус капіляра.

Рівняння (2) демонструє важливість вибору типу просочувальної рідини за критерієм в'язкості, оскільки рідини з низькою в'язкістю характеризуються меншим кутом змочування, що призводить до зростання капілярного тиску.

Дифузійне імпрегнування пояснюється проникненням молекул чи іонів солі з просочувального розчину, які дифундують у рідину, що міститься в товщі бетону. Дифузія відбувається внаслідок різниці концентрацій складових просочувального розчину та складових, розчинених у рідині, яка міститься в КПС зразка. Механізм дифузійного імпрегнування описується першим законом Фіка:

$$j = -D \frac{dC}{dx}, \quad (3)$$

де j – дифузійний потік;

D – коефіцієнт дифузії;

$\frac{dC}{dx}$ – градієнт концентрації.

Імпульсний спосіб імпрегнування [12; 13], передбачає циклічну зміну величини надлишкового тиску, тобто ударні пульсації тиску рідини із заданою періодичністю (частою пульсацій або частотою імпульсів). За таких умов більш доцільним буде використання терміну «ударного» або «імпульсного» тиску на зміну «надлишковому».

При моделюванні процесу проникнення рідини внаслідок імпрегнування із застосуванням імпульсів тиску виникає потреба враховувати зміну складових в'язкості просочувального складу [9]. У такому випадку може застосовуватись поняття вібраційної в'язкості, тобто ефективної в'язкості рідини під дією коливань або імпульсів тиску, яка значно впливає на проникність рідини у КПС бетону. Ця властивість може змінюватися залежно від режиму нагнітання рідини в об'єм тіла бетону. Імпульсний режим передбачає періодичну зміну тиску, що може тимчасово знижувати в'язкість просочувальної рідини. Зниження в'язкості сприяє глибшому та рівномірнішому проникненню рідини в пористу структуру бетону. Частота імпульсів має вплив на динаміку руху просочувальної рідини. Застосування більших значень частоти може призводити до зниження вібраційної в'язкості завдяки ефекту вібраційного розрідження. Це сприяє збільшенню проникності просочувального складу і дозволяє ефективніше долати гідравлічний опір тіла бетону. Амплітуда тиску також має вплив на проникність просочувальної рідини. При вищій амплітуді в'язкість рідини в системі може значно знижуватись, що сприяє глибшому проникненню просочувальної рідини в бетон.

Для опису процесу імпрегнування рідини у КПС можна використовувати фільтраційні рівняння, однак виникають складнощі при визначенні коефіцієнта фільтрації для різних типів бетонів, що значно обмежує застосування фільтраційних рівнянь для практичних розрахунків у контексті просочування бетонів.

Мікроструктура бетону є досить складною і передбачає наявність пор, капілярів та інших пустот. Моделювання процесу імпрегнування бетону ускладнюється й тим, що даний матеріал відзначається неоднорідністю своїх геометричних характеристик. Крім широкого діапазону розмірів, пори мають також різну геометричну форму. При цьому капілярна система матеріалу включає можливість сполучення пор бетонного зразка через численні капілярні канали (рис. 1).

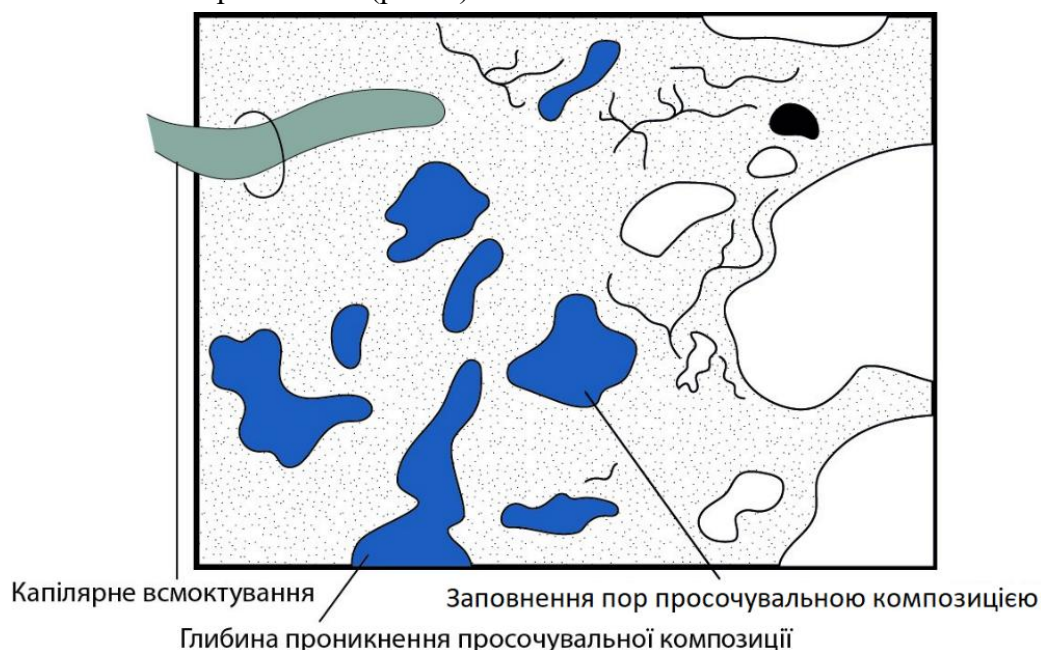


Рис. 1. Проникнення просочувальної рідини в КПС бетону

Джерело: розроблено автором.

Для моделювання проникнення просочувальної рідини в КПС за геометричну модель пори бетонного зразка було обрано сферичну фігуру, в той час як циліндрична фігура відповідає моделі капіляра (рис. 2).

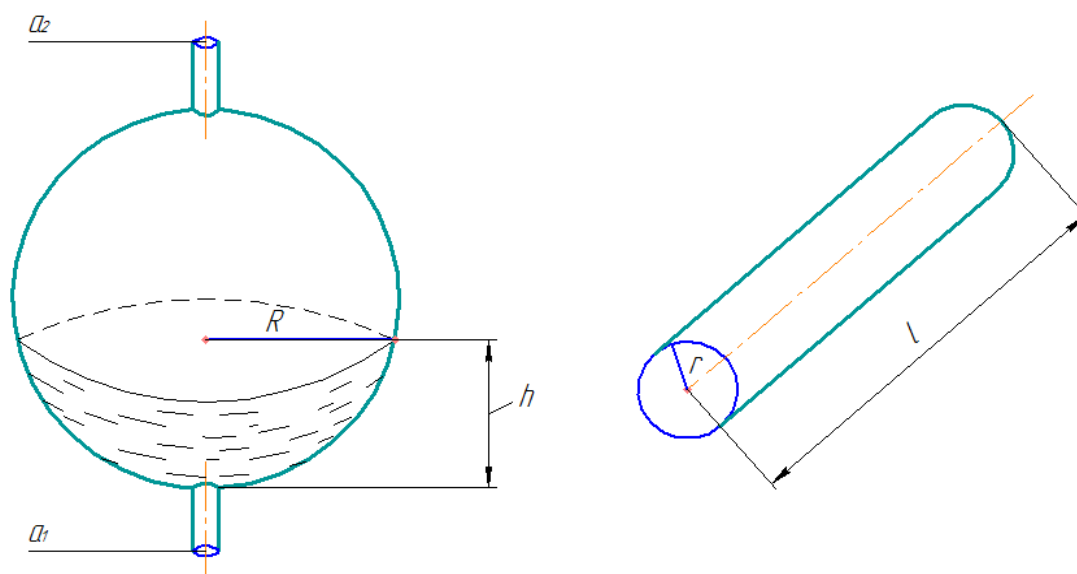


Рис. 2. Схематичне зображення геометричних моделей пори та капіляра
Джерело: розроблено автором.

Ефективність імпрегнування часто визначається глибиною проникнення та розподіленням просочувальної рідини в об'ємі бетону. У випадку, якщо модель пори бетонного тіла матиме площу перерізу $S = S(h)$, тоді h — рівень проникнення рідини у сферичну пору або іншими словами глибина проникнення просочувального складу. З огляду на капілярну систему, яка сполучає, передбачаємо наявність входного та вихідного отвору в порі, що служить для входу і виходу просочувальної рідини, а також уособлюють у собі всі можливі капілярні під'єднання до пори. Причому площі даних отворів a_1 і a_2 відповідно.

Заповнення пори просочувальною рідиною передбачає зміну об'єму цієї рідини протягом тривалості імпрегнування Δt . Для опису цього процесу використаємо залежність

$$\Delta V = (a_1 v_1 - a_2 v_2) \cdot \Delta t, \quad (4)$$

де ΔV — зміна об'єму рідини в порі;

a_1, a_2 — площі входного та вихідного отвору в порі;

v_1 — швидкість переміщення рідини у входному каналі;

v_2 — швидкість переміщення рідини у вихідному каналі.

Зміну об'єму рідини у сферичній порі:

$$\Delta V = \pi \Delta h^2 \cdot \left(R - \frac{1}{3} \Delta h\right), \quad (5)$$

де Δh — зміна рівня довжини (глибини) проникнення рідини в порі;

R — радіус пори.

Враховуючи залежності (4) і (5), отримаємо рівняння, що описує зміну об'єму рідини в порі з врахуванням швидкостей переміщення рідини на входному та вихідному каналі протягом деякої тривалості імпрегнування

$$\pi \Delta h^2 \cdot \left(R - \frac{1}{3} \Delta h\right) = (a_1 v_1 - a_2 v_2) \cdot \Delta t. \quad (6)$$

Швидкості руху на вході та виході з капіляра

$$v_{1,2} = \sqrt{\frac{2\Delta p_{1,2}}{\rho}}, \quad (7)$$

де $\Delta p_{1,2}$ – різниця тисків або повний тиск на вході та виході з капіляра (або у вхідному та вихідному капілярах) відповідно;

ρ – густина просочувального складу.

Імпульсне імпрегнування бетону передбачає створення додаткового динамічного (імпульсного) тиску, який накладається на стаціонарний надлишковий тиск просочувальної рідини. Спрощений графік коливань імпульсів тиску просочувальної композиції за синусоїдальним законом протягом періоду часу (рис. 3).

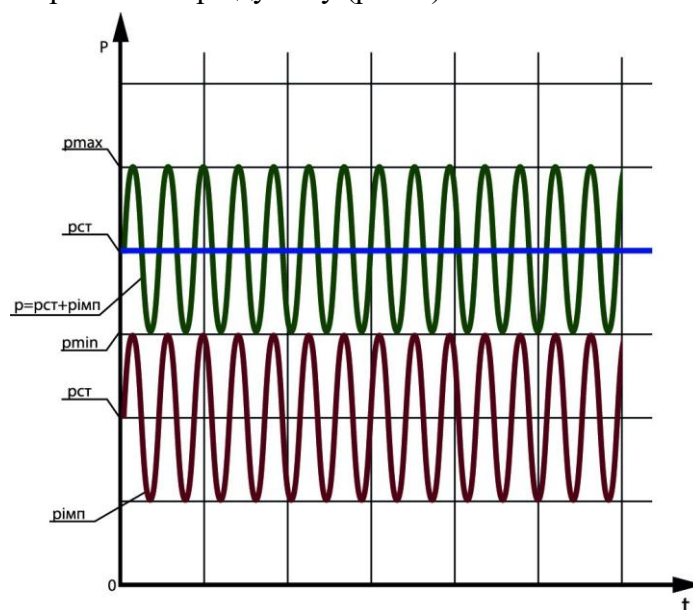


Рис. 3. Графік залежності тиску рідини від тривалості імпрегнування
Джерело: розроблено автором.

У такому випадку повний тиск просочувальної рідини визначатися рівнянням

$$P_p = P_{имн} + P_{ст}, \quad (8)$$

де $P_{имн}$ – імпульсна складова імпульсів тиску просочувальної рідини;

$P_{ст}$ – статичний надлишковий тиск просочувальної рідини.

Тиск у капілярі за використання гідроімпульсного пристрою для генерування гармонічних коливань, для яких величина імпульсного тиску буде змінюватись за синусоїдальним законом протягом інтервалу часу t , описується такою залежністю

$$P_{имн}(t) = P_{max} \cdot \sin(2\pi\omega t + \psi), \quad (9)$$

де P_{max} – амплітуда тиску в при застосуванні імпульсів тиску рідини;

ω – частота зміни тиску за період часу;

t – тривалість імпульсів тиску рідини;

ψ – початкова фаза.

З урахуванням залежності (1), отримаємо рівняння для визначення різниці тисків, яка зумовлює заповнення пористої структури бетонного зразка

$$\Delta p = p_k + p_{imn} + p_{cm} - p_{vmp}, \quad (10)$$

де p_{vmp} – втрати тиску в капілярі.

Відповідно до рівнянь (1) та (10), для пори з одним отвором для підведення капілярного каналу отримаємо:

$$\Delta p = p_k + p_{imn} + p_{cm} - p_{vmp} - p_n, \quad (11)$$

де p_n – тиск повітря (та залишків води), затиснутого всередині пори.

Виходячи із залежностей (9), (10) та (11), отримуємо рівняння, які описують різницю тисків, внаслідок застосування імпульсної зміни тиску за синусоїдальним законом, що зумовлює рух просочувальної в структурі бетону. Рівняння для розімкнутої пори або капіляра матиме вигляд:

$$\Delta p = p_k + p_{\max} \cdot \sin(2\pi\omega t + \psi) + p_{cm} - p_{vmp}. \quad (12)$$

Рівняння для замкненої пори

$$\Delta p = p_k + p_{\max} \cdot \sin(2\pi\omega t + \psi) + p_{cm} - p_{vmp} - p_n. \quad (13)$$

Статична складова тиску просочувальної рідини визначатиметься рівнянням

$$p_{cm} = 0,5(p_{\max} + p_{\min}) \quad (14)$$

Підставляючи (14) в (13) та (12), а також нехтуючи тиском капілярного всмоктування через його малу величину відносно повного надлишкового тиску рідини, отримаємо рівняння різниці тисків для розімкнутої пори або капіляра

$$\Delta p = p_{\max}(\sin(2\pi\omega t + \psi) + 0,5) + 0,5p_{\min} - p_{vmp}. \quad (15)$$

Для замкненої пори

$$\Delta p = p_{\max}(\sin(2\pi\omega t + \psi) + 0,5) + 0,5p_{\min} - p_{vmp} - p_n. \quad (16)$$

Знаючи радіус капіляра r , можна розрахувати довжину (глибину) проникнення просочувального складу у капіляр, враховуючи (2):

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g r}, \quad (17)$$

де h – відстань на яку проникає просочувальна рідина по довжині капіляру.

Втрати тиску в капілярі визначаються параметрами швидкості та характером руху просочувального складу. Для розрахунку втрат тиску, що виникають унаслідок тертя під час переміщення рідини по довжині капіляра l , можна використовувати формулу Дарсі-Вейсбаха

$$p_{vmp} = \lambda \frac{\rho v^2}{4r}, \quad (18)$$

де ρ – густина просочувального складу;

v – швидкість руху просочувального складу в капілярі або порі;

λ – коефіцієнт гідравлічного тертя, який визначається режимом руху просочувального складу, геометричної будови стінок пор і капілярів, які характеризуються шорсткістю k_e , і визначається формулою Альтшуля.

$$\lambda = 0,11\left(\frac{k_e}{2r} + \frac{68}{Re}\right)^{0,25}, \quad (19)$$

де Re – число Рейнольдса, яке враховує режим руху рідини в капілярі або порі.

Встановлені закономірності дають можливість визначити основні технологічні параметри процесу імпрегнування бетонних зразків.

Висновки. Найбільш важливими показниками процесу імпульсного імпрегнування бетону є глибина проникнення просочувальної рідини, рівномірність її розповсюдження у капілярно-пористій структурі, швидкість руху просочувального складу.

Врахування геометричної будови пори, що представлена моделлю у вигляді сферичної фігури, а також розмірів капілярів КПТ дозволяє встановити їхній зв'язок зі швидкістю руху просочувальної рідини, який відбувається під дією надлишкового статичного та імпульсного тиску. Отримані рівняння (12) і (13) для капіляра (розімкненої пори), а також для замкненої пори із затиснутим залишковим повітрям всередині відображають перепад тиску, спричинений застосуванням імпульсів тиску за прийнятим синусоїдальним законом, що зумовлює рух просочувальної композиції в структурі бетону. Встановлений зв'язок між перепадом тиску, втратою тиску в капілярах та імпульсним впливом тиску рідини дає змогу прогнозувати поведінку різних просочувальних композицій, що дозволяє адаптувати технологію імпрегнування та підвищити її ефективність для бетонів із різною щільністю і пористістю.

Потребують подальшого детального дослідження процеси, що виникають у капілярно-пористій структурі бетонів при імпульсному імпрегнуванні залежно від зміни частоти повторювання імпульсів тиску. Крім того, перспективним є дослідження впливу вібраційної в'язкості на зменшення сил гідравлічного опору тіла бетону під час імпульсного імпрегнування.

Список використаних джерел

1. Guan, D., Pan, T., Guo, R., Wei, Y., Qi, R., Fu, C., Zhang, Z., & Zhu, Y. (2024). Fractal and Multifractal Analysis of Microscopic Pore Structure of UHPC Matrix Modified with Nano Silica. *Fractal and Fractional*, 8(6), 360. <https://doi.org/10.3390/fractalfract8060360>.
2. Mehta, P.K. and Monteiro, P.J. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. <https://doi.org/10.1036/0071462899>.
3. Панасюк, В. А., Вировой, В. М., Сільченко, С. В. (2011). Аналіз зміни властивостей мікроструктури бетону у часі. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, 22, 120-124.
4. Вітковський, Ю. А. (2012). Відновлення бетону методом поверхневого просочування полімерними композиціями із застосуванням ультразвукових коливань. *Будівельні матеріали, виробництва та санітарна техніка*, 43, 181-184.
5. Колосов, О. Є., Сівецький, В. І., Панов, Є. М., Мікульонок, І. О. (2012) Математичне моделювання базових процесів виготовлення полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвукової модифікації. *ВД «Едельвейс»*, 268.
6. Сопов, В. П., Казімагомедов, І. Е., Наливайко, Т. Т. (2019). Інтенсифікація процесу просочення фібробетонних облицювальних виробів. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal)*, 48, 55-60.
7. 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*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1376/1/012031>.
8. Balakrishna, M. N. (2017). Fundamental characterisation of impregnation on concrete structures [Doctoral dissertation, Nottingham Trent University]. Nottingham Trent University. <https://irep.ntu.ac.uk/id/eprint/33238/1/Balakrishna%20Muniswamappa%20Thesis.pdf>.
9. Коц І. В., Горюн О. О. (2019). Математичне моделювання процесів насичення бетонних зразків під дією гідроімпульсного навантаження. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, 27(2), 123–129. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-2-123-129>.

10. Перетятко, Б. М. (2019). Технологічні схеми автоклавного просочення. *Вісник Національного університету Львівська політехніка. Теорія і практика будівництва*, 912, 139-145.
11. Sidhu J., Kumar P. (2023). Comprehensive review on hydrophobic modification of concrete: progress and perspectives. *Advances in Civil and Architectural Engineering*, 14(26), 155-180. <https://doi.org/10.13167/2023.26.10>.
12. Коц, І. В., Горюн, О. О. (2020). Спосіб виготовлення бетонополімерних виробів: (Патент України на корисну модель № 142720). Державна служба інтелектуальної власності України.
13. 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>

References

1. Guan, D., Pan, T., Guo, R., Wei, Y., Qi, R., Fu, C., Zhang, Z., & Zhu, Y. (2024). Fractal and Multifractal Analysis of Microscopic Pore Structure of UHPC Matrix Modified with Nano Silica. *Fractal and Fractional*, 8(6), 360.
2. Mehta, P.K. and Monteiro, P.J. (2014) Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. <https://doi.org/10.1036/0071462899>.
3. Panasiuk V. A., Vyrovoy V.M., Silchenko S. V. (2011). Analiz zminy vlastyivostei mikrostruktury betonu u chasi. [Analysis of changes in concrete microstructure properties over time.] *Resursoekonomni materialy, konstruktzii, budivli ta sporudy - Resource-efficient materials, structures, buildings and facilities*, 22, 120-124.
4. Vitkovskiy Yu. A. (2012). Vidnovlennia betonu metodom poverkhnevoho prosochuvannia polimernymy kompozytsiiamy iz zastosuvanniam ultrazvukovykh kolyvan.[Concrete restoration by surface impregnation with polymeric compositions using ultrasonic vibrations.] *Budivelni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika - Construction materials, products and sanitary equipment*, 43, 181-184.
5. Kolosov, O.Ie., Sivetskyi, V.I., Panov, Ye.M., Mikulonok, I.O. (2012). Matematychni modeliuvannia bazovykh protsesiv vyhotovlennia polimernykh kompozytsiinykh materialiv iz zastosuvanniam ultrazvukovoi modifykatsii [Mathematical modelling of the basic processes of manufacturing polymer composite materials using ultrasonic modification]. *VD «Edelveis» – VD “Edelveis”*, 268.
6. Sopov, V.P., Kazimahomedov, I.E., Nalyvaiko, T.T. (2019). Intensyfikatsiia protsesu prosochennia fibrobetonnykh oblytsiuvalnykh vyrobiv. [Intensification of the impregnation process of fibre-reinforced concrete facing products]. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal)*, 48, 55-60.
7. Shumakov, I., Miroshnikov, V., Younis, B., Buhaiievskiy, 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*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1376/1/012031>.
8. Balakrishna, M.N. (2017). Fundamental characterisation of impregnation on concrete structures [Doctoral dissertation, Nottingham Trent University]. Nottingham Trent University. <https://irep.ntu.ac.uk/id/eprint/33238/1/Balakrishna%20Muniswamappa%20Thesis.pdf>.
9. Kots, I.V., Horiun, O.O. (2019). Matematychni modeliuvannia protsesiv nasychennia betonnykh zrazkiv pid diieiu hidroimpulsnoho navantazhennia [Mathematical modelling of saturation processes of concrete specimens under the action of hydraulic pulse loading]. *Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruktzii v budivnytstvi – Modern technologies, materials and structures in construction*, 27(2), 123–129. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-2-123-129>.
10. Peretiatko B. M. (2019). Tekhnolohichni skhemy avtoklavnoho prosochennia [Technological schemes of autoclave impregnation]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu Lvivska politekhnika. Teoriia i praktyka budivnytstva – Journal of the National University “Lviv Polytechnic”. Theory and practice of construction*, 912, 139-145.
11. Sidhu, J., Kumar, P. (2023). Comprehensive review on hydrophobic modification of concrete: progress and perspectives. *Advances in Civil and Architectural Engineering*, 14(26), 155-180. <https://doi.org/10.13167/2023.26.10>.
12. Kots I. V., Horiun O. O. (2020). Sposib vyhotovlennia betonopolimernykh vyrobiv: (Patent Ukrainy na korysnu model № 142720). Derzhavna sluzhba intelektualnoi vlasnosti Ukrainy [Method for manufacturing concrete polymer products: (Utility model patent of Ukraine No. 142720). State Intellectual Property Service of Ukraine].

13. Horiun, O.O. (2024). Hidrofobizatsiia budivelnikh vyrobiv z vykorystanniam ustatkuvannia dlia tsyklichnoho hidrotermichnoho nasychennia [Hydrophobic treatment of construction products using equipment for cyclic hydrothermal saturation]. *Suchasni tekhnologii, materialy i konstruktsii v budivnytstvi - Modern technologies, materials and structures in construction*, 36(1), 58–63. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2024-1-58-63>.

Отримано 20.03.2025

UDC 691.32:532.546

Oleh Horiun

Doctor of Philosophy, Assistant, Department of Engineering Systems in Construction
Vinnytsia National Technical University (Vinnytsia, Ukraine)

E-mail: oleggoriun@vntu.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5678-835X>

FEATURES OF DISTRIBUTION OF IMPREGNATING LIQUIDS IN THE PROCESS OF IMPULSE IMPREGNATION OF CONCRETE

One of the promising areas of concrete modification is using pulsed impregnation, which is based on application of pressure pulses to improve distribution of the impregnating liquid in the capillary-porous structure of concrete. However, despite the existing studies on distribution of liquids in the capillary-porous structure of concrete and impregnation methods, there remain problems that have not received comprehensive scientific justification. In particular, the relationship between capillary pressure losses, capillary pressure and shock pressure, which is caused by fluid pulses, has not been sufficiently studied.

The purpose of the study is to determine the features of distribution of impregnating liquids in concrete under the influence of pulsed impregnation, to establish the main regularities of the process, in particular, the relationship between capillary pressure losses, capillary and pulsed pressure to justify effective use of the pulsed method of concrete treatment.

In the paper, the effect of pulse pressure on the penetration of liquid into the capillary-porous structure of the material is analysed, in particular on the depth of impregnation, the uniformity of the distribution of the impregnating liquid in the volume of concrete and the efficiency of processing. The relationship between pressure losses, capillary pressure and pulse pressure, which determine the dynamics of the movement of the impregnating composition, is established. The mechanisms of liquid penetration into closed and open pores of concrete under the action of pulse loading are considered. Taking into account the geometric structure of the pore, which is represented by the model in the form of a spherical figure, as well as the size of the capillaries of concrete, allows us to establish their relationship with the speed of movement of the impregnating liquid under the action of excess static and pulse pressure. The obtained equations for both the open pore and the closed pore with trapped residual air inside reflect the pressure drop caused by the application of pressure pulses according to the adopted sinusoidal law, which determines the movement of the impregnating composition in the concrete structure. The established relationship between the pressure drop, pressure loss in the capillaries and the pulse effect of the liquid pressure makes it possible to predict the behavior of various impregnating compositions, which allows adapting the impregnation technology and increasing its efficiency for concretes with different densities and porosity.

Practical significance of the work lies in possible application of the obtained results to develop technological solutions for improving protective and strengthening methods of concrete processing in the construction industry.

Keywords: concrete; capillary-porous structure; impregnation; saturation; mathematical model; fluid pressure pulses movement of fluid in a porous body; building materials and products; concrete modification.

Fig.: 3. References: 13.