

УДК 624.05

**ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТОРКРЕТУВАННЯ ДЛЯ РЕМОНТУ  
І РЕКОНСТРУКЦІЇ ПІДЗЕМНИХ СПОРУД**

Кандидати техн. наук А. О. Атинян, М. Н. Джалалов, Р. Б. Ткаченко,  
О. М. Пустовойтова, Є. Ф. Орел

**APPLICATION OF SHOTCRETE TECHNOLOGY IN THE REPAIR  
AND RECONSTRUCTION OF UNDERGROUND STRUCTURES**

PhD (Tech.) A. Atynian, PhD (Tech.) M. Dzhalalov, PhD (Tech.) R. Tkachenko,  
PhD (Tech.) O. Pustovoitova, PhD (Tech.) Y. Orel

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.212.2025.336325>



*Анотація.* У статті всебічно досліджено особливості застосування технології торкретування для ремонту і реконструкції підземних споруд. Проаналізовано сучасні матеріали, методи нанесення торкрет-бетону, їхні технічні характеристики, переваги та недоліки. Розглянуто практичний досвід використання торкретування в умовах різного ґрунтового середовища та гідрогеологічних факторів. Особливу увагу приділено ефективності технології для зміцнення конструкцій і продовження строку їхньої експлуатації.

**Ключові слова:** торкретування, підземні споруди, реконструкція, ремонт, торкрет-бетон.

**Abstract.** *The article explores shotcrete technology as one of the leading methods for restoration, reinforcement, and waterproofing of underground structures with various purposes. Special attention is paid to the analysis of this method's application features during the repair and reconstruction of structures exposed to moisture, aggressive environments, or significant damage. The physical-mechanical properties of shotcrete, including its adhesion to the substrate, crack resistance, and durability under challenging operational conditions, are examined.*

*The study provides a detailed analysis of modern materials used in shotcreting, such as dry and wet mixtures, polymer-modified compositions, reinforcing fibers, and admixtures that enhance wear resistance and coating strength. A comparative evaluation of shotcrete application methods—dry and wet processes—is presented, highlighting their structural differences, efficiency, optimal use cases, advantages, and limitations. Emphasis is placed on surface preparation requirements, the technological sequence of mixture application, safety measures during work, and the impact of human factors on the final coating quality.*

*A dedicated section of the article showcases practical applications of shotcreting in underground infrastructure projects, including tunnels, mines, utility conduits, pedestrian underpasses, and subway stations. Specific case studies from domestic and international practice demonstrate the technology's effectiveness in real-world conditions. Challenges encountered during shotcrete-based projects and potential solutions are analyzed. In conclusion, the article underscores the promising prospects for further development and refinement of shotcrete technology in modern underground construction and engineering structure rehabilitation.*

**Keywords:** shotcreting, underground structures, reconstruction, repair, shotcrete or sprayed concrete.

**Вступ.** Забезпечення тривалої експлуатаційної надійності підземних споруд є актуальною науково-технічною проблемою в умовах зростаючих вимог до інфраструктурних об'єктів. Значна частина тунелів, колекторів та інших підземних конструкцій в Україні була збудована в минулому столітті й потребує суттєвого оновлення. Процеси корозії, вилугування, руйнування бетону та інші деградаційні явища призводять до зниження несучої здатності та зростання ризиків аварійних ситуацій. За таких умов технологія торкретування стає одним із найефективніших методів відновлення та підсилення підземних споруд, за допомогою якої можна створювати міцне, водонепроникне покриття, що здатне витримувати значні навантаження, у тому числі в складних гідрогеологічних умовах.

У світовій практиці підземного будівництва торкретування активно

використовують понад 100 років, проте в Україні ця технологія набула поширення лише в останнє десятиліття, особливо з початком реалізації масштабних інфраструктурних проєктів. Незважаючи на очевидні переваги, застосування торкрет-бетону супроводжується рядом технологічних викликів, пов'язаних із забезпеченням якості робіт, правильним вибором складу суміші та врахуванням специфіки підземних умов. Тому дослідження сучасних підходів для використання цієї технології для ремонту та реконструкції підземних об'єктів є важливим науково-практичним завданням [1, с. 24].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми застосування торкрет-бетону для будівництва та ремонту підземних споруд досліджували багато вітчизняних і зарубіжних учених. Значний внесок у розвиток технології торкретування

зробили українські науковці, зокрема Гайко Г. І., який у своїх працях детально розглянув питання конструкцій кріплення підземних споруд із використанням торкрет-бетону [2, с. 67]. Важливі аспекти технології нанесення торкрет-бетону в тунелях висвітлено в методичних розробках компанії «Інтербудтехніка» [1, с. 31].

Значну увагу в сучасних дослідженнях приділяють удосконаленню складів торкрет-бетону з метою підвищення їхніх міцнісних характеристик, довговічності та технологічності. Зокрема, розробки концерну BASF, що були використані для будівництва Бескидського тунелю в Україні, демонструють ефективність застосування сучасних хімічних добавок у складі торкрет-сумішей [4, с. 3].

Аналіз спеціальної літератури показав, що наявні дослідження здебільшого зосереджені на технічних аспектах виконання торкретування, проте питання комплексного підходу для вибору технології залежно від стану підземної споруди та умов її експлуатації залишаються недостатньо вивченими. Крім того, потребує систематизації досвід застосування торкретування для ремонту специфічних типів підземних об'єктів, зокрема шахтних стволів, колекторів і комунікаційних тунелів [3, с. 15].

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою дослідження є аналіз сучасних підходів для застосування технології торкретування для ремонту і реконструкції різних типів підземних споруд і розроблення рекомендацій щодо вибору оптимальних матеріалів і методів виконання робіт залежно від типу конструкції та умов експлуатації.

**Основна частина дослідження.** Торкретування є процесом нанесення на поверхню бетонної або розчинної суміші під тиском стисненого повітря. За допомогою цієї технології можна створювати монолітні конструкції складної форми на сучасній основі, забезпечуючи високу адгезію до неї. Для ремонту підземних споруд торкрет-

бетон виконує різні функції: відновлення геометричних розмірів конструкції, підвищення несучої здатності, забезпечення водонепроникності, захист від корозії тощо. Аналізуючи практику застосування торкретування, можна виділити два основних методи нанесення суміші: сухий і мокрий, кожен із яких має свої особливості.

За сухого методу суху суміш подають по шлангу за допомогою стисненого повітря до сопла, де вона змішується з водою безпосередньо перед нанесенням на поверхню (рис. 1). Основною перевагою цього методу є можливість транспортування суміші на значні відстані (до 300 м по горизонталі та 100 м по вертикалі), що особливо важливо в умовах складної конфігурації підземних споруд. Окрім того, за сухого методу забезпечена висока щільність і міцність покриття, а обладнання можна легко очистити після закінчення робіт. До недоліків слід віднести значний відскок матеріалу (до 25-30 %), високе пилоутворення та складність контролю водоцементного співвідношення [2, с. 73].

Мокрий метод передбачає подавання по шлангу вже готової бетонної суміші, що забезпечує більш точне дозування компонентів і зниження відскоку до 5-10 %, за допомогою чого можна досягати вищої продуктивності (до 20 м<sup>3</sup>/год) порівняно з сухим (4-6 м<sup>3</sup>/год), а також забезпечує кращі умови праці через нижче пилоутворення (рис. 2). Проте мокрий метод має обмеження щодо дальності транспортування суміші (до 100 м по горизонталі), потрібне більш складне обладнання та ретельне його очищення після використання [1, с. 42].

Вибір методу торкретування залежить від конкретних умов виконання робіт. Для ремонту локальних пошкоджень у важкодоступних місцях раціональнішим є сухий метод, тоді як для масштабних робіт із підсилення конструкцій доцільно застосовувати мокрий метод, який забезпечує вищу однорідність покриття і продуктивність.

Важливим аспектом технології є склад торкрет-бетону, який має забезпечувати необхідні експлуатаційні характеристики покриття. Для підземних споруд, експлуатованих в умовах постійного впливу вологи та агресивних середовищ, особливе значення має водонепроникність і корозійна

стійкість торкрет-бетону. Досягнення цих властивостей можливе за рахунок використання спеціальних добавок: пластифікаторів, прискорювачів тужавлення, добавок, що ущільнюють структуру бетону, тощо [4, с. 5].

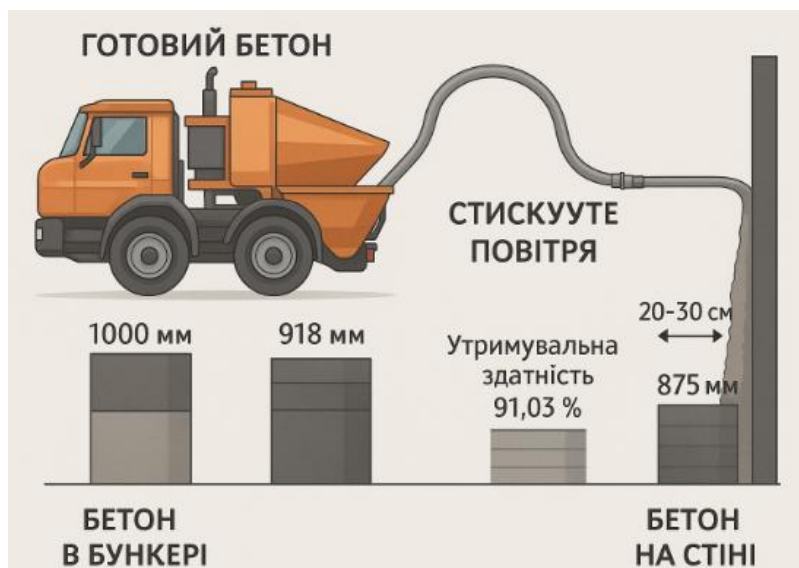


Рис. 1. Схема процесу торкретування сухим методом



Рис 2. Торкретування тунелю установкою АС-1 Компанії «ТОРНАДО»

Сучасні склади торкрет-бетону, застосовувані для ремонту тунелів та інших підземних споруд, часто включають мікрокремнезем (5-10 % маси цементу), який суттєво підвищує міцність і водонепроникність матеріалу. Для запобігання утворенню тріщин і підвищення

ударної в'язкості в торкрет-бетон вводять сталеві або поліпропіленові фібри в кількості 30-70 кг/м<sup>3</sup>. Таке армування дає змогу відмовитися від встановлення металеві сітки або суттєво зменшити її діаметр, що спрощує технологію виконання робіт у стиснених умовах підземних споруд

[2, с. 89]. В Україні поширене використання торкрет-сумішей і добавок компанії Sika, які містять надзвичайно дисперсний (близько 0,1 мкм) аморфний, латентно гідралічно активний діоксид кремнію. Введення цієї добавки сприяє істотному підвищенню внутрішньої когезії та водоутримувальної здатності бетонної суміші, що зумовлено високою питомою поверхнею та здатністю до інтенсивної взаємодії з гідратними фазами цементу.

На особливу увагу заслуговує досвід застосування торкретування для ремонту транспортних тунелів, де важливим фактором є мінімізація часу виведення споруди з експлуатації. У таких випадках ефективним рішенням є використання швидкотверднучих сумішей із прискорювачами тужавлення, що дає змогу досягти міцності 15-20 МПа вже через 3-6 год після нанесення і відновити рух транспорту в найкоротші терміни [4, с. 8].

У разі реконструкції гідротехнічних тунелів і колекторів, де основною проблемою є забезпечення водонепроникності, застосовують двошарове торкретування: спочатку наносять вирівнюючий шар товщиною 30-50 мм, а після його тужавлення – гідроізоляційний шар із підвищеним вмістом гідрофобних добавок. За такої технології можна забезпечити надійний захист конструкції від фільтрації ґрунтових вод [3, 5].

Важливим етапом торкретування є підготовка поверхні, яка включає очищення від слабкого бетону, продуктів корозії, мастил та інших забруднень. За значних нерівностей виконують вирівнювання поверхні шляхом нанесення додаткового шару торкрет-бетону (рис. 3). Для забезпечення високої адгезії між основою і торкрет-бетоном поверхню зволожують, але не допускають утворення водяної плівки [1, 6].



Рис. 3. Етапи підготовки поверхні для торкретування

Для ремонту підземних споруд із найменшим перерізом (колектори, каналізаційні труби) ефективним є застосування торкрет-роботів, що дає змогу механізувати процес нанесення суміші та забезпечити рівномірну товщину покриття. Такі системи обладнані лазерними датчиками, що контролюють відстань до

поверхні та корегують подавання матеріалу, що особливо важливо для відновлення складних криволінійних поверхонь [4, 7].

Ремонтуючи відповідальні підземні споруди, для контролю якості торкрет-бетону застосовують комплекс випробувань, що включає визначення міцності на стиск, адгезії до основи,

водонепроникності та морозостійкості. Крім того, важливим показником є відсутність тріщин і відшарувань, що перевіряють візуально та простукуванням поверхні [2, 8].

Досвід застосування технології торкретування для реконструкції Бескидського тунелю в Україні демонструє високу ефективність цього методу. Для нанесення торкрет-бетону були використані сучасні матеріали концерну BASF, що дало змогу створити водонепроникне покриття з високою міцністю і стійкістю до впливу агресивних середовищ. Загальний об'єм виконаних робіт склав понад 5000 м<sup>3</sup> торкрет-бетону, що було нанесено на площу близько 43000 м<sup>2</sup> [4, 9].

Аналогічний підхід був застосований для ремонту колекторних тунелів у Києві, де основною проблемою була корозія бетону

внаслідок впливу агресивних газів, утворених у результаті гниття органічних речовин. Для відновлення несучої здатності конструкцій був використаний сульфатостійкий торкрет-бетон із додаванням інгібіторів корозії, що дало змогу суттєво продовжити термін експлуатації споруд [3, 10].

Цікавим прикладом є застосування торкретування для ремонту шахтних стволів, де роботи виконують в умовах обмеженого простору та складного доступу (рис. 4). У таких випадках ефективним є використання легких мобільних торкрет-установок, що можуть бути розміщені на підвісних полках. Для забезпечення безпеки робіт торкрет-бетон наносять зверху вниз із послідовним нарощуванням товщини покриття [2, 11].



Рис. 4. Торкретування вертикальної поверхні шахтного ствола

Реконструюючи старі тунелі, збудовані з цегли або природного каменю, торкретуванням можна не тільки відновити несучу здатність конструкції, але й захистити її від подальшого руйнування. У таких випадках перед нанесенням торкрет-бетону виконують ін'єктування тріщин і порожнин спеціальними розчинами на основі цементу або епоксидних смол, що забезпечує монолітність конструкції [1, 12].

Значний прогрес у технології торкретування пов'язаний із розробленням

нових типів прискорювачів тужавлення на основі алюмінатів, що не містять лугів. З такими добавками можна досягти високої ранньої міцності без негативного впливу на кінцеву міцність торкрет-бетону, що особливо важливо для ремонту тунелів із високими динамічними навантаженнями [4, 13].

Для підвищення довговічності підземних споруд, експлуатованих в умовах підвищеної вологості та температурних коливань, ефективним є використання

полімерцементних торкрет-бетонів, модифікованих акриловими або стирол-бутадієновими добавками. Такі матеріали мають підвищену еластичність, що запобігає утворенню тріщин за деформацій основи [3, 14].

**Висновки.** На основі проведеного дослідження можна зробити такі висновки:

1. Технологія торкретування є ефективним методом ремонту і реконструкції підземних споруд різного призначення, що забезпечує відновлення несучої здатності, водонепроникності та довговічності конструкцій.

2. Вибір методу торкретування (сухого чи мокрого) залежить від конкретних умов виконання робіт, обсягу ремонту і доступності об'єкта. Сухий метод більш універсальний щодо логістики, проте мокрий забезпечує вищу якість покриття і меншу кількість відходів.

3. Для підвищення експлуатаційних характеристик торкрет-бетону доцільно використовувати модифікуючі добавки

(мікрокремнезем, полімери, фібру), щоб забезпечити необхідні властивості матеріалу залежно від умов експлуатації підземної споруди.

4. Якість торкретування суттєво залежить від підготовки поверхні, правильного вибору складу суміші та дотримання технології нанесення, що потребує високої кваліфікації персоналу та застосування сучасного обладнання.

5. Перспективним напрямом розвитку технології є створення автоматизованих систем нанесення торкрет-бетону, що дасть змогу підвищити якість робіт і розширити сферу застосування методу для ремонту підземних споруд зі складною конфігурацією.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення нових складів торкрет-бетону з підвищеною стійкістю до агресивних середовищ і удосконалення методів контролю якості покриття в умовах обмеженого доступу до конструкцій підземних споруд.

### Список використаних джерел

1. Тренінг з технології нанесення торкрет-бетону в тунелі. URL: <https://interbudtechnica.com.ua/treniing-z-tehnologiiyi-nanesennya-torkret-betonu-v-tunelii.html> (дата звернення: 05.04.2023).
2. Гайко Г. І. Будівельні матеріали і конструкції підземних споруд: Конструкції кріплення: навч. посіб. для студ. спец. 184 «Гірництво». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 134 с.
3. Торкретування. URL: <https://www.alpdnepr.com.ua/torkretuvannya.php> (дата звернення: 05.04.2023).
4. Інноваційні розробки концерну BASF, використані при будівництві Бескидського тунелю. Прес-реліз. URL: <http://surl.li/gixsz> (дата звернення: 05.04.2023).
5. DBN B.2.3-6: 2009. Transport facilities. Bridges and pipes. Inspection and testing.
6. Atynian Armen, Makhmudzhan Dzhahalov, Svitlana Butnik, Roman Tkachenko, Inna Novorukha. Improvement of technology of production of crushed stone-mastic asphalt concrete mixture by adding reinforcing additives. *Veda a perpektivy*. 2024. № 6 (37). Czech Republic.2.
7. Ana Cuesta, SciProfiles, Alejandro Morales, Angeles G. De la Torre and Miguel A. G. Aranda. Recent Advances in C-S-H Nucleation Seeding for Improving Cement Performances. *Journal: Materials*. 2023. Vol. 16. No 1462. P. 24-34.
8. Sharma M., Bishnoi S., Martirena F., Scrivener K. Limestone calcined clay cement and concrete: A state-of-the-art review. *Cem. Concr. Res*. 2021. 149. 106564.
9. Accelerators. In Science and Technology of Concrete Admixtures / Aitcin P. C., Flatt R. J. eds. *Elsevier: Amsterdam, The Netherlands*. 2016. P. 405–413.

10. Methodical instructions for practical classes and independent work of students 'Fundamentals of flow organisation of construction' for students of training direction 6.060101 'Industrial and civil engineering' full-time and part-time / Compiled by: V. V. Saviovskiy, S. V. Butnik, M. I. Kotlyar. Kharkiv: KNUBA, 2014. 24 p.

11. Атинян А. О. Досвід використання ПрАТ «Альпсервіс» новітніх матеріалів на прикладі відновлювального ремонту опорних конструкцій мосту через ріку Лопань. *І Міжн. наук.-практ. конф. ім. П. М. Коваля «Актуальні питання мостового господарства та шляхи його покращення»*. Запоріжжя, 2021. С. 91-93.

12. Armen Atynian, Svitlana Bratishko, Svitlana Butnik, Anna Zhyhlo, Volodymyr Buhaevskiy. Use of carbon composites in repair of overpasses and bridges. DOI: [https://doi.org/10.52058/2695-1592-2024-8\(39\)-213-22511a4/16/3X100=23](https://doi.org/10.52058/2695-1592-2024-8(39)-213-22511a4/16/3X100=23).

13. Atynyan A., Baranov P., Kotlyar I. (2020) Photography as an effective means of field inspection of abandoned buildings. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Trends and tendencies in the development of the construction industry»*. Kharkiv. P. 92-93.

14. Grigorovsky P. Organisational and technological principles of determining the parameters of buildings, structures and territories of development by instrumental methods: thesis of Doctor of Technical Sciences: 05.23.08, Kharkiv, 2015. 45 p.

---

Атинян Армен Овікович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технології та організації будівельного виробництва, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова.

ORCID iD: 0000-0002-6667-6869. Тел.: +380993584440. E-mail: Armen.Atynyan@kname.edu.ua.

Джалалов Махмуджан Нажимович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технології та організації будівельного виробництва, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова.

ORCID iD: 0000-0002-6636-8700. Тел.: +380993584440. E-mail: makhmudzhan.dzhalalov@kname.edu.ua.

Ткаченко Роман Борисович, кандидат технічних наук, доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова. ORCID iD: 0000-0003-3899-1826. Тел.: +380993584440. E-mail: Roman.Tkachenko@kname.edu.ua.

Пустовойтова Оксана Михайлівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерної графіки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет. ORCID iD: 0009-0003-4774-6686.

Тел.: +38 (096) 417-89-48. E-mail: : oksana\_pustov@ukr.net.

Орел Євген Федорович, кандидат технічних наук, доцент кафедри вишукувань та проектування шляхів сполучення, геодезії та землеустрою, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. ORCID iD: 0000-0002-6261-1558. Тел.: +38 (057) 730-19-21. E-mail: orel\_fisherman@ukr.net.

Atynian Armen, PhD (Tech). Associate Professor, department of Technology and Organisation of Construction Production, O. M. Beketov National University of Urban Economy. ORCID iD: 0000-0002-6667-6869.

Тел.: +380993584440. E-mail: Armen.Atynyan@kname.edu.ua.

Dzhalalov Makhmudzhan, PhD (Tech). Associate Professor, department of Technology and Organisation of Construction Production, O. M. Beketov National University of Urban Economy. ORCID iD: 0000-0002-6667-6869.

Тел.: +380993584440. E-mail: makhmudzhan.dzhalalov@kname.edu.ua.

Roman Tkachenko, PhD (Tech). Associate Professor, Department of Heat and gas supply and ventilation.

O. M. Beketov National University of Urban Economy. ORCID iD: 0000-0003-3899-1826. Тел.: +380993584440.

E-mail: Roman.Tkachenko@kname.edu.ua.

Pustovoitova Oksana, Department of Computer Graphics, Kharkov National Automobile and Highway University.

ORCID iD: 0009-0003-4774-6686. Тел.: +38 (096) 417-89-48. E-mail: oksana\_pustov@ukr.net.

Orel Yevhen, PhD (Tech). Associate Professor, Department of Research and designing of communication, geodesy and land management, Ukrainian State University of Railway Transport in Kharkiv, Feuerbach square 7, 61001, Kharkiv, Ukraine. Тел.: (057) 730-19-21. E-mail: orel\_fisherman@ukr.net. ORCID ID: 0000-0002-6261-1558.

Статтю прийнято 24.05.2025 р.