

5. Супонев В.М., Кравець С.В., Посмітюха О.П., Балесний С.П. Наукові основи та практика створення мінімально енергоємних робочих органів для формування комунікаційних порожнин в ґрунті Монографія. Харків, ХНАДУ, 2021. 304 с.

6. Супонев В.М. Створення обладнання для розробки горизонтальних свердловин комбінованими способами статичної дії. Монографія. Харків, ХНАДУ, 2018. 196 с.

УДК 691.32

## **КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЯКІСТЬ ТОРКРЕТ-БЕТОНУ, ТА НАПРЯМИ ЇХ ОПТИМІЗАЦІЇ**

В.В. Блашко, О.Б. Григорків, Є.В. Шугай

*Харківський національний університет міського господарства*

*імені О.М. Бекетова*

*blazhko.vladimir@kname.edu.ua*

У сучасному будівництві технологія торкретування бетону широко застосовується під час реконструкції, підсилення та ремонту будівельних конструкцій, а також при спорудженні підземних об'єктів, тунелів, гідротехнічних споруд і транспортної інфраструктури [1]. Основною перевагою цього методу є можливість нанесення бетонної суміші на поверхні складної геометрії без використання традиційної опалубки, що дозволяє значно скоротити трудомісткість робіт і підвищити їх ефективність.

Разом із тим якість сформованого торкрет-бетонного шару значною мірою залежить від великої кількості технологічних, матеріалознавчих та організаційних факторів. Недостатній контроль цих параметрів може призводити до зниження міцності, підвищеної пористості, нерівномірної структури та інших дефектів покриття [2].

У зв'язку з цим актуальним завданням є проведення комплексного аналізу факторів, що визначають властивості торкрет-бетону, а також формування підходів до їх оптимізації. Це дозволить підвищити ефективність технології торкретування та забезпечити стабільну якість бетонного покриття при різних умовах виконання робіт.

Метою даного дослідження є систематизація основних факторів, що впливають на формування структури та властивостей торкрет-бетону, а також визначення напрямів удосконалення технологічних параметрів процесу його нанесення.

Торкрет-бетон являє собою бетонну суміш, яка наноситься на поверхню конструкції під дією потоку стисненого повітря. У процесі транспортування та нанесення суміші відбувається її інтенсивне ущільнення, що сприяє формуванню щільної структури матеріалу [3].

Залежно від способу приготування і подачі суміші розрізняють два основні методи торкретування **сухий метод**, при якому цементно-піщана суміш транспортується у сухому стані, а вода додається безпосередньо у соплі апарата та **мокрый метод**, що передбачає подачу готової бетонної суміші до місця її нанесення або укладання.

Кожен із зазначених способів має свої переваги та обмеження. Сухий метод характеризується можливістю транспортування суміші на значні відстані та забезпечує високу швидкість нанесення. Водночас він супроводжується підвищеним рівнем пиловиділення і потребує ретельного регулювання подачі води [4]. Мокрий метод, у свою чергу, забезпечує більш стабільні параметри суміші та знижує втрати матеріалу, але вимагає використання складнішого обладнання

У практиці будівництва якість торкрет-бетонного покриття часто визначається не лише характеристиками вихідної суміші, але й умовами виконання робіт, зокрема технічним станом обладнання, кваліфікацією персоналу та параметрами навколишнього середовища [3].

Аналіз технологічного процесу торкретування дозволяє виділити декілька груп факторів, які визначають експлуатаційні властивості отриманого матеріалу.

До першої групи факторів слід віднести характеристики компонентів бетонної суміші, зокрема тип і активність цементу, гранулометричний склад заповнювачів, співвідношення компонентів суміші, водоцементне відношення, використання мінеральних та хімічних добавок.

Зерновий склад заповнювачів має суттєвий вплив на щільність структури бетону та його механічні властивості [1]. Надлишок дрібних частинок може призводити до підвищення водопотреби суміші, тоді як велика кількість крупних фракцій ускладнює процес транспортування і нанесення.

Водоцементне відношення визначає рухливість суміші та швидкість гідратації цементу. Збільшення кількості води полегшує нанесення суміші, однак може спричинити зниження міцності та підвищення пористості бетону [2].

Важливу роль відіграють також сучасні хімічні добавки - пластифікатори, прискорювачі тужавіння та стабілізатори структури. Їх використання дозволяє покращити технологічні властивості суміші та підвищити якість готового покриття.

До технологічних факторів належать параметри процесу транспортування та нанесення суміші, тиск стисненого повітря, швидкість подачі суміші, відстань між соплом і поверхнею, кут нанесення матеріалу, товщина шару, що формується за один прохід.

Одним із найбільш важливих параметрів є швидкість вильоту суміші з сопла. Вона визначає ступінь ущільнення матеріалу під час удару об поверхню конструкції [3]. Недостатня швидкість призводить до формування

пористої структури, тоді як надмірна швидкість може викликати підвищені втрати матеріалу у вигляді відскоку [4].

Кут нанесення також має суттєве значення. Найбільш рівномірне формування шару відбувається при перпендикулярному напрямку потоку до поверхні конструкції.

Товщина шару, який наноситься за один цикл, повинна відповідати технологічним можливостям суміші та обладнання. Надмірна товщина може призводити до сповзання матеріалу та утворення внутрішніх дефектів.

Окрім властивостей суміші та параметрів обладнання, на якість торкрет-бетону впливають організаційні аспекти виконання робіт.

До них належать підготовка поверхні перед нанесенням суміші, умови зберігання матеріалів, контроль вологості та температури, кваліфікація оператора торкрет-установки.

Недостатня підготовка поверхні може призвести до погіршення адгезії між новим шаром бетону та основою. Для забезпечення надійного зчеплення поверхня повинна бути очищена від пилу, забруднень і слабких шарів матеріалу.

Температурно-вологісні умови виконання робіт також впливають на процес тужавіння цементу. При низьких температурах гідратаційні процеси сповільнюються, що може негативно позначитися на міцності матеріалу.

Для забезпечення стабільної якості торкрет-бетону доцільно застосовувати комплексний підхід до оптимізації технологічного процесу.

Першим напрямом удосконалення є раціональний підбір складу бетонної суміші. Використання оптимального гранулометричного складу заповнювачів та сучасних хімічних добавок дозволяє покращити рухливість суміші, зменшити втрати матеріалу та підвищити міцність бетону.

Другим важливим напрямом є оптимізація параметрів роботи торкрет-обладнання. Підтримання стабільного тиску повітря та рівномірної подачі суміші забезпечує формування однорідної структури матеріалу.

Третім напрямом є удосконалення організації технологічного процесу, що включає стандартизацію процедур підготовки поверхні, контроль умов виконання робіт, використання сучасних систем моніторингу параметрів процесу.

Також важливим є підвищення кваліфікації персоналу, оскільки ефективність застосування торкрет-технології значною мірою залежить від досвіду оператора.

Подальший розвиток технології торкретування пов'язаний із впровадженням нових матеріалів та автоматизованих систем управління процесом.

Одним із перспективних напрямів є використання високоміцних та фіброармованих бетонів, які забезпечують підвищену тріщиностійкість і довговічність конструкцій.

Іншим напрямом є застосування роботизованих комплексів для нанесення торкрет-бетону, що дозволяє підвищити точність виконання робіт і зменшити вплив людського фактору.

Також перспективним є використання цифрових систем контролю параметрів технологічного процесу, що дозволяє оперативно коригувати режими роботи обладнання.

Проведений аналіз показує, що якість торкрет-бетону формується під впливом сукупності матеріалознавчих, технологічних та організаційних факторів.

Найбільш суттєвий вплив на властивості матеріалу мають склад бетонної суміші, параметри подачі та нанесення матеріалу, умови виконання робіт і підготовка поверхні.

Для забезпечення високої якості торкрет-бетонного покриття необхідно застосовувати комплексний підхід до оптимізації технології, що передбачає раціональний підбір компонентів суміші, регулювання режимів роботи обладнання та вдосконалення організації будівельного процесу.

Реалізація зазначених заходів дозволить підвищити ефективність використання торкрет-бетону в будівництві та забезпечити довговічність відновлюваних і нових конструкцій.

## Література

1. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л. Бетони і будівельні розчини : навч. посіб. Київ : Основа, 2017. 448 с. Доступно: [https://library.knuba.edu.ua/books/betony\\_i\\_budivelni\\_rozchyny](https://library.knuba.edu.ua/books/betony_i_budivelni_rozchyny)
2. Neville A. M. Properties of Concrete. 5th ed. Harlow : Pearson Education Limited, 2011. 872 p. Доступно: <https://civilnode.com/download-book/10281119123962/properties-of-concrete>
3. Mindess S., Young J. F., Darwin D. Concrete. 2nd ed. Upper Saddle River : Prentice Hall, 2003. 644 p. Доступно: <https://archive.org/details/concrete0000mind>
4. ACI Committee 506. Guide to Shotcrete (ACI 506R-16). Farmington Hills : American Concrete Institute, 2016. 44 p. Доступно: <https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=50616>