УДК 691.32

АНАЛІЗ ПЕРШИХ ПОВНОМАСШТАБНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ САМОВІДНОВЛЮВАНОГО БІОБЕТОНУ

Д. О. Тарасюк
студентка 3 курсу, група АМ-31, навчально-науковий інститут будівництва та архітектури
Науковий керівник – ст. викладач В. А. Зданевич

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

Проаналізовано ряд наукових досліджень щодо доцільності використання самовідновлюваного біобетону, визначено найбільш сприятливі умови застосування, принцип роботи, переваги та недоліки біобетону. Досліджено застосування біобетону в промислових умовах, окреслено перспективу подальших досліджень.
Ключові слова: самовідновлюваний бетон, біобетон, сучасний матеріал, будівельний матеріал, тріщини, бактерії.

Проанализирован ряд научных исследований о целесообразности использования самовосстанавливающегося биобетона, определены наиболее благоприятные условия применения, принцип работы, преимущества и недостатки. Исследовано применение биобетона в промышленных условиях, очерчены перспективы дальнейших исследований.
Ключевые слова: самовосстанавливающийся бетон, биобетон, современный материал, строительный материал, трещины, бактерии.

A number of scientific studies on the feasibility of using self-healing bioconcrete, the most favorable conditions for use, the principle of operation, advantages and disadvantages were analyzed by authors. The application of bioconcrete in industrial conditions has been investigated. This report has shown a vision for the future researches of bioconcrete.
Keywords: self-healing concrete, bioconcrete, modern material, building material, cracks, bacteria.

Бетон – один з найбільш поширених будівельних матеріалів в світі за рахунок своєї міцності і економічності виробництва. У міру затвердіння бетон стає крихким і під дією навантажень в ньому виникають тріщини, які є відкритим каналом для переміщення вологи. Після рядів циклів замерзання і відтавання надломи розширюються, а потім вода доходить до арматури і запускає процес корозії. Іржа займає більший обсяг, ніж армуючий матеріал (арматура) і бетон починає тріскатися. Тріщини різних розмірів доводиться усувати вручну, що є трудомістким і дорогим процесом. А також не завжди вдається своєчасно усунути цю проблему. Самовідновлюваний бетон – революційний будівельний матеріал, що вирішує всі ці проблеми, безумовно, це будівельний матеріал майбутнього.

Властивості бетонів з поліпшеними фізико-технічними властивостями розглядалися в роботі [1], проте властивості біобетону не досліджувалися.

В роботі поставлено мету – дослідити і проаналізувати принцип роботи біобетону, визначити його переваги та недоліки, з’ясувати в яких випадках він доцільний.

Створення самовідновлюваного біобетону стало можливим завдяки виявленню бактерій, що продукують мінерали, які можуть допомогти усунути мікротріщини в

бетоні. Доктор Хенк Йонкерс, мікробіолог з Делфтського університету (Нідерланди), став основоположником наукових розробок в області виробництва біоконструкцій, які можуть принести користь для проектів цивільного будівництва. Самовідновлюваний бетон міг би вирішити проблему руйнування бетонних конструкцій задовго до закінчення терміну їх служби. Спеціально підібрані види бактерій роду Bacillus, поряд з кальцієвою живильною речовиною, відомою як лактат кальцію, а також азотом і фосфором, додаються до інгредієнтів бетону при його змішуванні. Ці самовідтворювані біоагенти можуть спати в бетоні до 200 років [2]. Однак, коли бетонна конструкція пошкоджена і вода починає просочуватися через тріщини, які з'являються в бетоні, спори бактерій проростають при контакті з водою і поживними речовинами. Активувавшись, бактерії починають харчуватися лактатом кальцію. У міру того як бактерії харчуються киснем, він витрачається, а розчинний лактат кальцію перетворюється в нерозчинний вапняк (рис. 1). Вапняк твердне на потрісканій поверхні, тим самим зміцнюючи її. Він імітує процес, за допомогою якого переломи кісток в людському тілі природним чином відновлюються клітинами остеобластів, які мінералізуються, щоб переформувати кістку [3]. Споживання кисню при бактеріальному перетворенні лактату кальцію в вапняк має додаткову перевагу. Кисень є важливим елементом в процесі корозії сталі, і коли бактеріальна активність витратила його повністю, це збільшує довговічність.

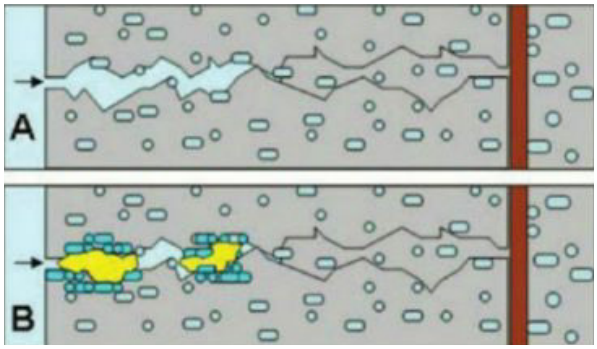

Рис. 1. Процес відновлення біобетону
а) утворення тріщини; б) потрапляння води, заповнення тріщини

В минулому році на початку літа було анонсовано будівництво підводного тунелю в м. Антверпені (Бельгія). Частину однієї з конструкцій цього грандіозного проекту було вирішено виконати з біобетону, а саме плиту даху випробувального майданчика. Це перше повноцінне самостійне застосування нової розробки. Плита даху буде розташована на 3,9 м нижче рівня землі, але залишатиметься доступною через люк (рис. 2).

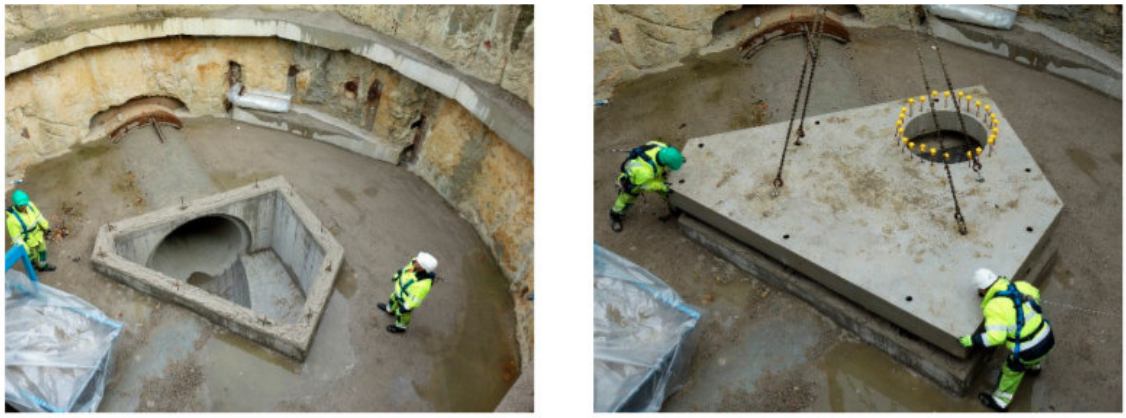

Рис. 2. Монтаж плити даху

В ході створення плити враховано натурні умови. Суміш замішується в промисловій бетономішалці так само, як це роблять зі звичайним бетоном. Паралельно було створено лабораторні зразки біобетону ідентичного тому, що використаний для плити даху, щоб можна було порівняти його в лабораторних та реальних умовах.

Даний досвід дав можливість отримати нові та корисні висновки щодо застосування біобетону. Самовідновлювані біоагенти (бактерії) разом з нутрієнтами було успішно додано до бетонної суміші в промисловий бетонний міксер. Цей бактеріальний бетон було доставлено на будмайданчик за допомогою бетономішалки та був використаний для відливання плити даху оглядового майданчика. Бетон на майданчику показав себе так само добре як і лабораторні зразки. А саме:

- потреба у воді для запуску дії $CaCO_3$ (карбонат кальцію, вапняк) бактерій;
- найкраще закриття візуальної тріщини для зразків, що перебувають у волого-сухих умовах, порівняно з вологими умови (> 95% вологості) або у постійному насиченні;
- незначне поліпшення капілярного поглинання води після загоєння для тріщин, більших ніж 300 мкм, що можна пояснити неповним заповненням тріщини на поверхні;
- великий вплив кривизни тріщини на початкову водопроникність різних зразків, коли ширина тріщини близька сталій;
- майже ідеальне відновлення герметичності рідини, перевірене на водопроникність (> 90%, для трьох із п’яти зразків > 98,5%), що можна пояснити меншою шириною тріщини в місці розташування введення води в зразки ніж на поверхню зразків (> 300 мкм);
- огляд на місці, більше ніж через 1 рік після відливання, не виявив ознак тріщин на дні плити даху. Швидше за все, проєктне навантаження на розтріскування не було отримано. Однак перевірка показала сприятливі умови для загоєння, якщо плита у майбутньому трісне [4].

Цей масштабний дослід щодо самовідновлюваного бетону висвітлив деякі важливі аспекти, що будуть враховані у майбутніх дослідженнях. Не всі елементи можна зробити з самовідновлюваного бетону, адже бажано, щоб вони були створені в легкодоступному місці для перевірки та нагляду за станом конструкції.

В статті досліджено і проаналізовано принцип самовідновлення біобетону та його практичне застосування. З’ясовано, що ручне додавання самовідновлюваного біоагента у промисловий бетонний змішувач не є ідеальним рішенням, оскільки час перемішування буде збільшений, що може призвести до збільшення вмісту повітря та зменшення міцності біобетону. Найкращі властивості цей матеріал проявляє в середовищі з високим рівнем вологості. Для з’ясування характеристик біобетону необхідні подальші дослідження в натурних умовах за максимальних навантажень. Промислове застосування самовідновлюваного бетону стало важливим кроком на шляху отримання довіри дизайнерів, підрядників, а також інженерів на бетонозмішувальних заводах, що дає перспективу самовідновлюваному бетону застосовуватись для складних рішень.

1. Ткач Є. В., Семенов В. С., Ткач С. А. Високоефективні модифіковані гідрофобізовані бетони з поліпшеними фізико-технічними властивостями. *Бетон і залізобетон – погляд в майбутнє* : наукові праці III Всеросійської (II Міжнар.) конф. по бетону і залізобетону. Москва, 12–16 травня 2014 р . : в 7 т. Т. 5. С. 113–123. **2.** Кодзоев М.-Б. Х., Исаченко С. Л. Самовосстанавливающийся бетон. *Бюллетень науки и практики*. 2018. Т. 4. № 4. С. 287–290. **3.** Jonkers H. Bacteria-based self-healing concrete. 2011. HERON 56(1), Pp. 1–12. **4.** Tim Van Mullem, Elke Gruyaer, Robby Caspeele and Nele De Belie. First Large Scale Application with Self-Healing Concrete in Belgium : Analysis of the Laboratory Control Tests. Magnel-Vandepitte Laboratory, Department of Structural Engineering and Building Materials, Faculty of Engineering and Architecture, Ghent University 23 February 2020y. P. 1–21.