

ВІДНОВЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОНСТРУКЦІЙ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД

У статті визначені основні групи факторів, що чинять негативний вплив на стійкість структури бетону транспортних споруд й знижують їх довговічність. Сюди відносяться деструкція основних конструкційних матеріалів, екстремальні навантаження та впливи на конструкції споруди, а також експлуатаційні порушення. У реальних умовах ці фактори перебувають у складній взаємодії, що характеризується випадковістю й невизначеністю. При цьому взаємодія одних факторів може призвести до різкого загострення впливу інших факторів. Розроблена технологія бетону, призначеного для ремонтно-відновлювальних робіт на транспортних спорудах, дозволяє нівелювати вплив визначених груп факторів на експлуатаційні властивості конструкцій.

В статье определены основные группы факторов, оказывающих отрицательное влияние на стойкость структуры бетона транспортных сооружений и снижающих их долговечность. Сюда относятся деструкция основных конструкционных материалов, экстремальные нагрузки и влияние на конструкции сооружения, а также эксплуатационные нарушения. В реальных условиях эти факторы находятся в сложном взаимодействии, которое носит случайный и неопределенный характер. При этом взаимодействие одних факторов может привести к существенному усилению влияния других факторов. Разработанная технология бетона, предназначенного для ремонтно-восстановительных работ на транспортных сооружениях, позволяет нивелировать влияние определенных групп факторов на эксплуатационные свойства конструкций.

The basic groups of factors affecting negatively the of concrete structure in transport structures and decreasing their longevity are determined in the article. They are the destruction of basic construction materials, the extreme loadings and influence on constructions of the structures, as well as operational violations. In real conditions these factors are in interaction, which is casual and indefinite in character. In this context the interaction of some factors can result in substantial strengthening of influence of other factors. The developed technology of concrete aimed at repair-restoration works on transport structures allows leveling the influence of certain groups of factors on operational properties of constructions.

Розширення вимог, що висуваються до матеріалів для відновлення експлуатаційних характеристик транспортних споруд з урахуванням зростаючих динамічних навантажень на конструкції, призводить до того, що, незважаючи на різноманіття композицій, які застосовуються для ремонтних робіт, ускладнюється вибір таких матеріалів, що повністю задовольнятимуть необхідному комплексу властивостей. З цієї причини виникає необхідність створення бетонів із заданими технологічними, конструкційними й іншими властивостями. Такі завдання не можуть бути вирішені в повному обсязі за рахунок синтезу нових видів модифікаторів, тому що це пов'язано зі значними витратами. У зв'язку з цим виникає необхідність пошуку економічних шляхів оптимізації властивостей бетонів.

Одним з таких шляхів є розробка бетонів з заданими експлуатаційними властивостями з використанням наявних загальнодоступних сполук, модифікаторів, наповнювачів за рахунок оптимізації їх складів.

Актуальність проведених досліджень полягає у розробці технології бетону, призначеного для ремонтно-відновлювальних робіт для масивних та таких, що експлуатуватимуться в умовах дії агресивного середовища, споруд.

Підвищення експлуатаційних характеристик бетону забезпечується застосуванням фізико-хімічної активації в'язучої речовини, що дозволяє істотно заощаджувати енергоресурси і найдорожчий компонент бетону – цемент – за рахунок збільшення його в'язучого потенціалу з наступною оптимізацією з комплексу заданих критеріїв: економічності, мінімальних термінів перекриття руху по споруді, що ремонтується, забезпеченню заданого рівня несучої здатності споруди для пропуску великовантажного рухомого складу.

При відновленні й ремонті транспортних споруд основна увага приділяється способу нанесення бетонної суміші або цементного розчину, який виключає істотну зміну їхнього складу і забезпечує комплекс заданих властивостей ремонтного шару. Реалізація цього принципу значною мірою досягається належ-

ним проектуванням складу бетону і розчину з урахуванням специфічних вимог, які висуваються до таких сумішей: підвищена міцність, висока водонепроникність, однорідність, стійкість в агресивних середовищах, надійне зчеплення нового бетону зі старим, висока зв'язність бетонної суміші при підвищеній рухливості (пластичності), нерозшаровуваність, повільне тужавіння, але швидке тверднення. Основною вимогою до технології ремонту та відновлення несучої здатності елементів транспортних споруд є організація безперервного провадження робіт зі скороченням їхньої тривалості.

Забезпечення стійкості опор мостів, оброблення тунелів і інших транспортних споруд є найважливішою умовою ефективної й безпечної експлуатації. Причини утворення деформацій у конструкціях можуть полягати в наявності поверхонь ослаблення, що викликається фільтраційною нестійкістю матеріалу конструкцій [1]. Виникаючі деформації звичайно пов'язані з обводненими ділянками, тому усунення обводненості створює передумови для підвищення стійкості штучних транспортних споруд. Однак протифільтраційне зміцнення ґрунтів, у яких розташовуються елементи транспортних споруд, не знайшло поширення через високу вартість робіт, складність визначення зон ослаблення й недосконалу технологію. Недосконалість технології полягає також у неможливості використання для таких робіт звичайних цементних розчинів, оскільки останні не мають високого ступеня протифільтраційного захисту. Тому улаштування водонепроникних екранів розглядається як одна зі складових частин комплексу робіт зі збільшення терміну служби транспортних і гідротехнічних споруд, заглиблених у водонасичені ґрунти.

У цьому зв'язку очевидно, що слід розглядати споруди, які підлягають відновленню, як єдину систему, що містить взаємозалежні конструктивні елементи. При цьому виявлення причинно-наслідкових зв'язків між впливами експлуатаційного середовища й видами руйнувань, а також вирішення наведених вище завдань розглядаються на трьох рівнях: перший – окремий елемент; другий – окрема конструкція, тобто сукупність окремих елементів, здатних до єдиного сприйняття функціонального навантаження, наприклад, опора мосту, оброблення тунелю; третій – функціональний об'єкт, сукупність конструктивних елементів, об'єднаних в єдину структуру, що визначає форму й функціональне призначення всієї споруди [2].

Просторові відносини елементів виділених рівнів системи визначають структуру об'єкта. Довговічність споруди спеціального призначення багато в чому визначається цілісністю її структури, що зберігається й функціонує до певного рівня впливу різних факторів зовнішнього середовища, що не перевищує деякого критичного значення. При перевищенні такого рівня відбувається адаптація структури споруди до умов зовнішнього середовища, що змінилися. При цьому первісна цілісна структура за рахунок перерозподілу виникаючих напружень в елементах споруди переходить за правилом слабкої ланки у нову дискретну структуру. Для споруд, основними структурними елементами яких є бетонні й залізобетонні конструкції, процес такої трансформації пов'язаний з порушенням суцільності (монолітності) бетону. У всіх випадках трансформація структури споруди є першопричиною або наслідком змін, що відбуваються на різних її рівнях [3].

У результаті аналізу причинно-наслідкових зв'язків змін структури споруд встановлена можливість виділення трьох основних груп факторів, що чинять негативний вплив на стійкість структури споруди й знижують її довговічність. Сюди відносяться деструкція основних конструкційних матеріалів, екстремальні навантаження й впливи на конструкції споруди, а також експлуатаційні порушення. У реальних умовах ці фактори перебувають у складній взаємодії, що характеризується випадковістю й невизначеністю. При цьому взаємодія одних факторів може привести до різкого загострення впливу інших факторів.

При дії факторів першої групи процес трансформації структури споруди й втрати її працездатності походить від першого рівня структури до третього. При цьому первісні зміни структури споруди пов'язані зі зміною фізичних властивостей бетону й обумовлені корозійними процесами, що відбуваються в матеріалі при різних видах фізичних, хімічних і біологічних впливів [4].

Зміни, що відбуваються на першому рівні й пов'язані з деструкцією конструкційного матеріалу, приводять до виникнення неприпустимих напружень у конструкціях споруди (другий рівень), а потім до порушення цілісності структури всієї споруди (третьій рівень) за рахунок появи тріщин і руйнування окремих елементів або втрати системоутворюючих зв'язків між окремими елементами й конструкціями з виключенням їх із загальної структури споруди. Такий процес пошкодження бетону й залізобе-

тону носить, як правило, тривалий характер і може бути зупинений проведенням заходів щодо консервації матеріалу від руйнуючих факторів.

Інший вид трансформації цілісної структури споруди в дискретну визначається другою групою факторів – екстремальними впливами й навантаженнями на конструкції споруди. Цей процес характеризується раптовою зміною умов середовища й може бути викликаний фізичними явищами – осіданням ґрунту, виходом ґрунтових вод на поверхню, механічними ударами. У цьому випадку пошкодження й деформації з'являються на другому рівні структури споруди – у конструкціях і елементах жорсткості – і одночасно призводять до втрати суцільності бетону (перший рівень) і цілісності структури всієї споруди (третій рівень). Такі зміни структури споруди сприяють доступу агресивного середовища усередину структури матеріалу, що визначає подальші зміни в структурі споруди за першим видом трансформації.

Третя група факторів, що негативно впливають на довговічність конструкційного матеріалу й провокують пошкодження структури споруди відразу за двома видами трансформації, пов'язана з порушеннями режимів експлуатації. При цьому відбувається руйнування основних несучих елементів споруди й знижується стійкість їх до різного роду силових впливів [5].

У результаті систематизації й статистичного аналізу визначені п'ять основних видів порушення суцільності бетону штучних транспортних споруд: одиночні тріщини; розвинені тріщини, що перетинаються; численні розвинені сітчасті тріщини; зминання, руйнування й викрашування бетону; оголення арматури з руйнуванням бетону.

Як витікає з проведеного аналізу, довговічність транспортних споруд залежить від ряду факторів, характер яких обумовлений звичайним або передчасним зношуванням, а також зниженням несучої здатності елементів споруди, пов'язаним з порушеннями умов експлуатації й проявами екстремальних силових впливів. У результаті дії й взаємного впливу цих факторів відбувається адаптація споруди до нових умов за рахунок трансформації цілісної твердої структури у дискретну, менш жорстку. Така трансформація може відбуватися за рахунок руйнування загальних системоутворюючих зв'язків і елементів або ж внаслідок порушення суцільності основних конструкційних матеріалів.

Деформації елементів споруд, що призводять до порушення їхньої стійкості, викликаються наступними причинами [6]: гідростатичним тиском води, що створюється внаслідок низького коефіцієнта фільтрації ґрунтів; підвищеною кількістю атмосферних опадів і витоків побутових і технічних стоків, що викликають підйом рівня підземних вод; незадовільним станом дренажної системи; незначним зчепленням по контактах між шарами ґрунту, що взаємозалежно з виносом піщаних і пилуватих часток (суфозією); тривалим застоєм води, здатної інфільтруватись; збільшенням динамічних навантажень при проходженні транспортних засобів і роботі механізмів; наявністю ослаблених ділянок у масиві споруди.

Найчастіше експлуатація транспортних споруд здійснюється в умовах корозійного впливу навколишнього середовища, тому проведено дослідження корозійної стійкості шару нового бетону на активованій в'язучій речовині. Визначався вплив різних агресивних середовищ на бетон. Зразки-балочки розмірами 4x4x16 см витримувались у дніпровській воді, а також у розчині з концентрацією сульфатів 10 г/л. Зразки формувались в один шар.

Встановлено, що цементна матриця нанесеного ремонтного шару бетону на активованій в'язучій речовині як повністю зануреного у воду, так і при змінному рівні води, представлений наступними гідратними новоутвореннями: CSH(B) з дифракційними максимумами 3,02; 2,80; $1,81 \cdot 10^{-10}$ м; тоберморитоподібними з дифракційними максимумами 3,52; 3,33; 3,02; 2,83; 2,50; 2,42; 2,27; 2,25; 2,14; 2,07; 2,00; 1,84; 1,67; $1,62 \cdot 10^{-10}$ м; ксонотлітом з дифракційними максимумами 7,02; 4,30; 3,62; 3,25; 2,83; 2,70; 2,50; 2,36; 2,25; 2,04; 1,95; 1,84; $1,70 \cdot 10^{-10}$ м; C₂SH(C) з дифракційними максимумами 5,42; 3,80; 3,02; 2,79; 2,70; 2,56; 2,50; 1,91; $1,81 \cdot 10^{-10}$ м; C₂SH(B) з дифракційними максимумами 4,87; 4,09; 3,55; 3,02; 2,83; 2,79; 2,40; 2,27; 2,07; 1,97; 1,87; 1,81; $1,77 \cdot 10^{-10}$ м; гідрогранатами з дифракційними максимумами 5,20; 4,50; 3,36; 2,29; 2,04; 1,73; 1,71; 1,67; $1,59 \cdot 10^{-10}$ м.

Дифрактограми зразків бетону на активованій в'язучій речовині в різному віці, повністю занурених у дніпровську воду, у віці 28 днів і більше демонструють істотне зменшення дифракційних максимумів вихідних клінкерних мінералів. Відзначено інтенсифікацію ліній низькоосновних гідросилікатів кальцію.

На термограмах зразків бетону на активованій в'язучій речовині ендоефект при темпера-

турах 137 і 538 °С свідчить про наявність C_2SH_2 . Ендоефект при температурі 250 °С відповідає дисоціації тоберморитоподібних новоутворень, а при температурі 481 °С – розкладанню гідрогранатів. При температурі 538 °С спостерігається дегідратація $C_2SH(B)$, а при температурі 543 °С – $C_2SH(C)$ і C_2SH_2 . Ендоефект із максимумом 820 °С відповідає дисоціації ксонотліту. Екзоєфекти $CSH(B)$ незначні й перебиваються ендоефектами інших гідросилікатів кальцію.

В активованій цементній матриці бетону із часом зростає кількість низькоосновних гідросилікатних фаз, спостерігається перекристалізація гідрогранатів у низькоосновні гідросилікати кальцію. У новоутвореннях цементної матриці бетону на активованій в'язучій речовині вміст вільного гідроксиду кальцію не перевищує 3...4 %, що є необхідною умовою для одержання корозійностійкого матеріалу.

Проведено дослідження стійкості бетонних зразків при витримуванні в сульфатному середовищі з концентрацією SO_4^{2-} 10 г/л. Визначалися зміна міцності при стиску зразків різної тривалості витримування в агресивному середовищі, а також вміст у них сульфатів. При цьому визначався фазовий склад продуктів гідратації.

При витримуванні зразків звичайного бетону в сульфатному середовищі спостерігається зниження міцності при стиску на 12...23 % залежно від тривалості витримування й марки використовуваного портландцементу. Починаючи з 38 діб для зразків на портландцементі М 400, а з 52 діб – на портландцементі М 500 на поверхні спостерігалася тріщиноутворення, змінювався колір зразків у зоні сильної сульфатизації. При проведенні хімічного аналізу в зразках звичайного бетону відзначений високий вміст сульфатів, що вказує на інтенсивне протікання сульфатної корозії. Вміст сульфатів у бетоні на активованій в'язучій речовині в 1,4...2,3 рази нижчий. Це обумовлює підвищену стійкість бетону на активованій в'язучій речовині в умовах сульфатної агресії.

Випробування зразків бетону, що зберігалися в концентрованому розчині сульфату натрію, показали наступні результати. У початковий період (90...180 діб) у зразках звичайного бето-

ну спостерігалася інтенсивне підвищення модуля пружності. Після 180 діб зазначені характеристики стали змінюватися, тобто почався період деструктивних явищ у бетоні за рахунок кристалізації гідросульфалоюмінату кальцію. Деструктивні явища в цей період в бетоні на активованій в'язучій речовині не спостерігалися.

Висновки

1. Встановлено, що при відновленні конструкцій бетоном на активованій в'язучій речовині у зоні контакту ремонтного шару бетону спостерігається зменшення кількості гідроксиду кальцію, що обумовлено зв'язуванням його іонами SiO_4^{4-} , які перебувають у рідкій фазі активованої цементної системи, що підтвердилося при проведенні мікроскопічного аналізу, при якому встановлена наявність гелевидної гідросилікатної маси.

2. Коефіцієнт сульфатостійкості розробленого бетону $K_c = 0,91...0,93$. Стабілізація міцності бетону на активованій в'язучій речовині в часі свідчить про перевагу конструктивних процесів над деструктивними.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Батраков, В. Г. Комплексные модификаторы свойств бетона [Текст] / В. Г. Батраков // Бетон и железобетон. – 1997. – № 7. – С. 5-7.
2. Ахвердов, И. Н. Основы физики бетона [Текст] / И. Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
3. Воробьев, В. А. Применение физико-математических методов исследования свойств бетона [Текст] / В. А. Воробьев, В. К. Кивран, В. П. Корякин. – М.: Высш. шк., 1987. – 212 с.
4. Масатэру, Т. Сверхпрочный бетон [Текст] / Т. Масатэру // Сементо Конкурито. – 1976. – № 355. – С. 53-59 / Перевод ЦНИИС № 28737. – М., 1979.
5. Bernsted, J. Further Aspect of Setting of Portland Cement [Текст] / J. Bernsted // Silicat ind. – 1983. – V. 48, No. 9. – P. 167-170.
6. Миронов, С. А. Теория и методы зимнего бетонирования [Текст] / С. А. Миронов. – М.: Стройиздат, 1975. – 700 с.

Надійшла до редколегії 25.03.2009.