

Дорошенко Ю.М., канд. техн. наук, Дорошенко О.Ю., канд. техн. наук

ВПЛИВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ЦЕМЕНТОБЕТОННЕ ПОКРИТТЯ ДОРІГ

Анотація. В статті розглядаються фактори, що впливають на експлуатаційні властивості цементобетонних покриттів доріг. Показано що застосування суперпластифікаторів, дисперсного армування та покращення якості вихідних матеріалів дозволяють підвищити якість цементобетонного покриття доріг.

Ключові слова: цементобетонне покриття доріг, експлуатаційні властивості, дисперсне армування, пластифікатори.

Аннотация. В статье рассматриваются факторы, влияющие на эксплуатационные свойства цементобетонных покрытий дорог. Показано что применение суперпластификаторов, дисперсного армирования и улучшения качества исходных материалов позволяют повысить качество цементобетонного покрытия дорог.

Ключевые слова: цементобетонное покрытие дорог, эксплуатационные свойства, дисперсное армирование, пластификаторы.

Annotation. The article deals with factors affecting the performance properties of concrete pavement of roads. Shown that the use of superplasticizer, disperse reinforcement and improvement of the quality of the source materials allow to increase the quality of cement concrete pavements.

Key words: cement concrete pavements, performance characteristics, dispersed reinforcement, plasticizers.

Цементобетонне покриття доріг працює в несприятливих навколишніх умовах, так як піддається механічному впливу транспортних засобів, та дії атмосферних опадів, що приводить к багаторазовому зволоженню й висушуванню, заморожуванню й відтаюванню). Таким чином, для

перешкоджання даному типу впливів і підвищенню довговічності бетону необхідно підвищувати його водонепроникність (W) та морозостійкість (F). Основною причиною проникності бетону є наявність у його структурі капілярної пористості. Бетон мав би досить високу водонепроникність і морозостійкість. На практиці в суміш вводять більше води, чим потрібно для гідратації цементу. Цей надлишок води при випаровуванні створює порожнечі й пори, які можуть з'єднуватися між собою й створювати капілярні канали. А.М. Невиль вважав, що основну роль у проникності бетону грає проникність цементного каменю та контактний шар між цементним каменем і поверхні заповнювача.

На дорожній бетон впливає також волога, що проникає в бетон за рахунок капілярного підсмоктування. Основною причиною капілярного підсмоктування є наявність у бетоні системи найтонших капілярів, що сприяють переносу вологи.

Як окремий вид впливу, який має загальну природу з капілярним підсмоктуванням, є безнапірна фільтрація. У роботах досліджувалася безнапірна водонепроникність бетону і цементного каменю. На мінімізацію деформативності й проникності впливають: застосування суперпластифікаторів, оптимального співвідношення кристалогідратів і гелю, В/Ц и коефіцієнтів розсунення зерен.

Зволоження матеріалу викликає його набрякання, а висушування – усадку. Обидва процеси характеризуються відповідними об'ємними деформаціями, які створюють у бетоні внутрішні напруження. Усадка бетону виникає під впливом фізико-хімічних й капілярних явищ, що відбуваються в гелієвій складовій цементного каменю й обумовлені зміною вологовмісту в бетоні. Висихання зволжених конструкцій відбувається за рахунок градієнтів температури й вологості між конструкцією й середовищем експлуатації. У міру проходження циклів зволоження й висушування відзначаються нарощування залишкових деформацій, які можуть бути визначені як втома.

Усадка й усадочні напруги в бетоні найнебезпечніші в ранньому віці. Свіжеукладений бетон під дією сухого повітря, сонця й вітру інтенсивно випаровує вологу, що викликає зменшення його обсягу й ускладнює процес твердіння й формування структури. Виникають внутрішні усадочні напруги, які

погано компенсуються маломіцним бетоном. У цей період на поверхні бетону з'являються усадочні тріщини.

Зовнішні знакозмінні деформації від зволоження й висушування викликають пошкодження бетону в подальшій експлуатації конструкції.

Усадка матеріалів, як капілярно-пористих тіл, пов'язана з тиском меніска рідини в капілярі, тобто в тріщині меніск рідини давить на береги тріщин, викликаючи збільшення ширини її розкриття. В тріщині, яка заповнена водою, реалізується «ефект Ребіндера», пов'язаний з адсорбційним зниженням міцності, що веде до збільшення обсягу капілярно-пористих тіл при їхньому насиченні водою.

Дія багаторазового заморожування й відтавання впливає на верхній шар цементобетонного покриття. На бетони дорожнього покриття зимою діє:

- багаторазові заморожування й відтавання в насиченому стані; причому бетон може насичуватися як чистою водою, так і розчинами хлористих солей;
- багаторазове замерзання під шаром води з утворенням на поверхні бетону шару льоду;
- багаторазове глибоке висушування (виморожуванів) бетону, насиченого розчином хлористих солей.

Важливу роль у забезпеченні необхідної морозостійкості бетону відіграє наявність нормальних умов твердіння в початковий період. Порушення таких умов твердіння приводить до інтенсивного проходження масообмінних процесів, викликаних градієнтами температури й вологості, а також їхньою спільною дією. Рідка фаза піднімається до поверхні, утворюючи в його розчинній частині пори й капіляри відкритого типу або розширюючи вже існуючі. Важливу роль грає водно-тепловий режим конструкції дорожнього одягу в цілому. При близькому розташуванні ґрунтових вод може відбуватися інфільтрація вологи знизу, що приведе до того, що бетон постійно зволожується і перебуває в стані часткового водонасичення і його руйнування під дією негативних температур може відбуватися швидше. При цьому утвориться велика кількість відкритих макропор.

Морозне руйнування бетону пов'язано з значним розширенням води при її переході в лід у порах матеріалу. Тиск замерзаючої води в незамкнених порах може досягати сотень атмосфер.

Вважалося, що відбувається вплив льоду, який кристалізується, на стінки пор, що викликає місцеві напруження. Пізніше дослідники прийшли до висновку, що причиною руйнування при заморожуванні й відтаванні є гідравлічний тиск, що виникає у вологому бетони при замерзанні води.

Було запропоновано близько 20 гіпотез морозного руйнування: гідравлічний тиск некрижаної води, що обтискується льодом, який утворюється в порах; кристалізаційний тиск льоду; утворення «льодових лінз»; осмотичний тиск; міграція води через пористе середовище в зону контакту між льодом і пористою основою; сегрегація льоду в мікропорах і ін. Процес деструкції бетону при заморожуванні й відтаванні варто розглядати як розвиток і нагромадження тріщин у гетерогенному матеріалі. При замерзанні рідини тиск від збільшення її обсягу передається на береги тріщини й на воду в плівковому стані, що не змінила свій агрегатний стан. Крім того, у полі високих напруг у вершині тріщини може відбуватися зрушення. Це приводить до розсунення сторін тріщини та збільшення її довжини з подальшим зниженням міцності в процесі експлуатації.

В тонких порах і капілярах з розмірами $10^{-5} \dots 10^{-7}$ см вода перебуває в структурованому виді з температурою її замерзання - 50°C .

Процес корозії бетону в агресивних середовищах – це комплекс гетерогенних хімічних процесів взаємодії бетону з компонентами агресивного середовища. Корозійні процеси в бетоні і залізобетоні під впливом агресивних середовищ дуже різняться між собою. Це пов'язане як з різноманітністю властивостей бетону (його станом), так і з властивостями агресивного середовища.

Корозія першого виду можлива, коли під дією однобічного напору виникає фільтрація води крізь товщу бетону. Наслідком корозії першого виду є розчинення і винесення із структури бетону продуктів гідратації цементу, що істотно знижує показники фізико-механічних властивостей бетону і поступово руйнує його. Найбільш розчинною речовиною є утворюваний при гідролізі гідроксид кальцію.

Суть корозії другого виду полягає у розвитку обмінних реакцій між

кислотами чи солями навколишнього середовища і складовими елементами цементного каменю. Внаслідок таких реакцій у поверхневих шарах бетону, які стикаються з агресивним середовищем, виникають новоутворення без в'язучих властивостей і достатньої щільності. Ці речовини розчиняються або вимиваються механічно, при цьому оголюються нові шари бетону; так процес продовжується до повного руйнування бетону.

Найнебезпечнішим видом хімічних впливів можна вважати сульфоалюмінатну корозію – під дією сульфатних вод у цементному камені утворюється еtringіт, і як показали останні дослідження, таумасит.

У результаті впливу сульфатів бетон поступово руйнується й переходить у пухкий стан, що легко виявляється візуально.

Основною ознакою корозії третього виду є нагромадження в порах-капілярах і інших порожнечах цементного каменю, розчину або бетону, кристалів солей, що утворилися за рахунок хімічних реакцій взаємодії агресивного середовища й складових частин новостворів цементного каменю. Кристали солей, розширюючись, руйнують стінки пор цементного каменю.

Особливо великий вплив робить утворення на поверхні бетону шару льоду й дія солей відтаювання. При замерзанні під шаром льоду підвищується ступінь водонасичення бетону, особливо в поверхневому шарі, що стикається з льодом. Танення льоду при негативній температурі під дією хлористого натрію є ендотермічним процесом і тому у поверхневому шарі бетону відбувається різке зниження температури.

Відзначається також прискорене руйнування бетону при заморожуванні в розчинах електrolітів, зокрема хлоридів. Існує думка, що це відбувається через інтенсифікацію хімічної корозії, пов'язаної з підвищенням концентрації солей у розчині в міру виморожуваного з нього прісного льоду.

У процесі руйнування бетону, насиченого розчинами хлоридів, при його заморожуванні важливу роль грає гідравлічний тиск, що виникає, коли концентрація розчину становить близько 4%.

При висушуванні бетонів, насичених розчинами хлористих і інших солей відбувається кристалізація цих солей у порах бетонів. Деякі із цих солей при зміні вологості переходять із безводної форми в кристалогідрати зі значним збільшенням об'єму. Такі перетворення солей викликають значні додаткові

напруги в бетоні. Є дані про негативний вплив на міцність бетону концентрованого розчину NaCl, навіть при короткочасному впливі .

Важливими властивостями дорожнього цементного бетону є його міцність утоми – здатність зберігати міцність при багаторазовому механічному навантаженні, а також його деформативність. Під деформативністю дорожнього цементного бетону мається на увазі його здатність змінювати форму й розміри не руйнуючись. Щільність, морозостійкість і водонепроникність дорожнього цементного бетону визначають його довговічність. Необхідна щільність забезпечується оптимальним змістом води в цементобетонній суміші ($V/C < 0,5$). Морозостійкість же цементного бетону залежить як від морозостійкості складових матеріалів так і щільності бетону.

Фізичний і хімічний вплив навколишнього середовища проявляється одночасно з механічними впливами транспорту й засобів експлуатації (стирання, вдавнення й удари).

Останній час спостерігається стійка тенденція збільшення кількості, вантажопідйомності й швидкості руху транспортних засобів. З урахуванням існуючого стану дорожніх покриттів по показниках рівності дані тенденції приводять до істотного збільшення динамічної складової тиску на покриття.

В умовах постійного недоремонту мережі автомобільних доріг, при погіршенні показника рівності покриття, дорожні одяги починають працювати в умовах динамічних перевантажень, що приводить до їхнього прискореного руйнування. Динамічні перевантаження на нерівних ділянках у середньому становлять 50 - 90 %, при припустимих - 30 %.

Характерна риса роботи цементобетонних покриттів полягає в тім, що всі впливи сприймаються, у першу чергу, поверхневим шаром. При цьому руйнування бетону відбувається, в основному, у поверхневому шарі. У початковий період руйнується поверхневий шар бетону шляхом відшарування товщиною 0,1-1 см. Потім відбувається поступове руйнування розчину в глибину. Крупний заповнювач оголюється й під впливом динамічних впливів коліс автотранспорту викришується з бетону.

Механічні впливи автомобільного транспорту викликають у цементобетонному покритті вертикальні й горизонтальні зусилля. Під впливом вертикальних навантажень відбувається вигин, наприклад, плит, що лежать на пружній основі, що викликає появу в бетоні напруг розтягання при вигині.

Горизонтальні зусилля в покритті виникають (особливо при гальмуванні) при руху транспорту зі змінною швидкістю. Ці зусилля викликають напружений стан, як правило, у поверхневих шарах покриття й спричиняються додаткове абразивне зношування дорожнього бетону.

Довговічність конструкцій багато в чому залежить від того, наскільки правильно при їхньому зведенні були враховані особливості поведження бетону при динамічному навантаженні.

Позитивним моментом для протидії динамічним впливам бетонів можна вважати факт більшої стійкості дрібнозернистих бетонів у порівнянні з бетонами на великому заповнювачі. У роботі показано, що при ударних навантаженнях руйнування бетону відбувається через розвиток внутрішніх поверхонь розділу. Стійкість бетонів як грубогетерогенних матеріалів до ударних навантажень може бути підвищена за рахунок керування макроструктурними параметрами в процесі самоорганізації матеріалу.

Відповідно до напруженого стану до цементного бетону дорожніх покриттів пред'являються вимоги по міцності на стиск і розтягання при вигині, які викладені в ДБН В.2.3-4:2007 «Автомобільні дороги». Відзначимо, що для дорожнього цементного бетону міцність на розтягнення при вигині має більше важливу роль .

У результаті різкого збільшення інтенсивності транспортних потоків, погіршення навколишнього середовища (автомобільні вихлопи, пально-мастильні й антигололедні реагенти й т.п.), істотно зросли навантаження на дорожні одяги, у тому числі й із цементобетонними покриттями. Актуальним є пошук рішень, спрямованих на збільшення термінів служби дорожніх одягів із цементобетонними покриттями, що працюють в тяжких умовах експлуатації. В цей час при будівництві й реконструкції автомобільних доріг однією з основних умов є підвищення довговічності й експлуатаційної стійкості дорожніх покриттів.

Для підвищення довговічності дорожнього бетону необхідно знизити рівень його внутрішнього напруженого стану до величини, що забезпечує його тривалу роботу (збереження розрахункової міцності) з урахуванням транспортних, кліматичних і експлуатаційних (боротьба з ожеледдю) і інших впливів.

Одним із перспективних конструкційних матеріалів для цементобетонну покриття доріг є дисперсно-армовані бетони. Дисперсне армування

здійснюється волокнами-фібрами, рівномірно розповсюдженими в об'ємі бетонної матриці.

Для отримання більш міцних композицій необхідно виконувати ряд вимог:

- волокна потрібно рівномірно розподіляти по всьому об'єму матриці, але вони не повинні безпосередньо дотикатися одна до одної;
- матриця повинна бути хімічно інертною по відношенню до дії волокон;
- волокна повинні мати більш високий, порівняно з матрицею, модуль пружності;
- бажано, щоб матриця мала достатньо високу міцність при зсуві, при можливості слід прагнути до орієнтованого розподілу волокон в матриці (в бетоні, розчині).

Дослідження показали, що при відносній довжині фібр $l/d = 100$ граничний склад їх, який вдається ввести в бетонну суміш при звичайних способах перемішування, складає 2–3% по об'єму. Зі зменшенням довжини фібри їх кількість, яка може бути введена в бетонну суміш без погіршення при цьому її однорідності, збільшується і навпаки, при збільшенні довжини фібри знижуються можливості технологічного процесу.

Важливою проблемою, яка виникає при армуванні волокнами бетонних матеріалів, є також зниження легкоукладаємості бетонної суміші по мірі збільшення в ній складу волокнистого заповнювача. Встановлено, що як із збільшенням довжини волокна, так із зменшенням його діаметра – зниження легкоукладальності бетону при інших рівних умовах виявляється більш помітним. Збільшення рівня легкоукладальності звичайно досягається за рахунок збільшення водоцементного відношення і об'єму розчинної частини матеріалу, а також завдяки використанню різних пластифікуючих добавок.

Типовий армований фібрами бетон повинен відрізнятися від звичайного більш високим вмістом цементу, витрати якого в залежності від наявності в бетоні крупного заповнювача і геометричних параметрів фібрової арматури – 350 – 550 кг/ куб. м. При цьому водоцементне відношення – 0,35 – 0,55. Витрати цементу можуть бути знижені за рахунок добавок золи –виносу.

Неабияке значення з технологічної точки зору мають різного роду добавки, які вводять в бетонну суміш для покращення її якості. Для оптимізації технологічного процесу доречно використовувати добавки пластифікаторів або суперпластифікаторів, уповільнювачі та прискорювачі тужавіння, добавки, які знижують вологовміст і водопотребу. Волокна, як правило, не спричиняють якого-небудь впливу на дію добавок.

Особливий інтерес представляє використання при виготовленні дисперсно-армованих бетонів і конструкцій на їх основі спеціальних технологічних заходів, які дозволяють покращити якість готової продукції. Тут перш за все необхідно вказати на великі можливості вібропрокату і вібропресування в поєднанні з вакуумуванням, центрифугуванням, формуванням під тиском (з навантаженням).

Технологічні процеси пов'язані з укладкою, ущільненням і оздобленням армованих волокнами бетонних матеріалів практично не відрізняються від традиційних.

Отже, в результаті дослідження міцнісних властивостей фібробетону можна зробити висновки:

- збільшення міцності бетонної суміші на стиск, на розтяг при згині, на розтяг при розколі, на осьовий розтяг залежить від збільшення величини діаметру і об'ємного вмісту волокон.

- при збільшенні діаметру і об'ємного вмісту волокон збільшується і жорсткість бетонної суміші, що негативно впливає на її легкоукладальність.

- оптимальний діаметр 0,8 – 1,0 мм і об'ємний вміст волокон 2-3 % об'єму бетонної суміші.

Література

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Высшая школа, 2002. – 415 с.
2. Баженов Ю.М. Бетон при динамическом нагружении / Ю.М. Баженов. – М.: Стойиздат, 1970. – 272 с.
3. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика –2-е изд. / В.Г. Батраков. – М.: Технопроект, 1998. – 768 с.
4. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. – М.: Госстройиздат, 1962. – 96 с.

5. Бунин М.В., Грушко И.М., Ильин А.Г. Структура и механические свойства дорожного цементного бетона. – Харьков: изд-во универ., 1968. – 199 с.
6. Глыбин В.С. Технология дорожного цементобетона. – М.: Высшая Школа, 1972. – 272 с.
7. Гоц В.І. Бетони і будівельні розчини. Підручник. – К.: ТОВ УВПК „Екс об”, 2003. – 472 с.
8. ДБН В.2.3-4:2007 «Автомобільні дороги». Мінрегіонбуд України – К., 2007. – 91 с.
9. Дворкин Л.И. Основы бетоноведения / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Спб., Строй-Бетон, 2006. – 692 с.
10. Демьянова В.С. Модифицированные высококачественные бетоны / В.С. Демьянова, Ю.М. Баженов, В.И. Калашников – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 368 с.
11. Добавки в бетон: Справ.пособие / В.С.Рамачандран, Р.Ф.Фельдман, М.Коллепарди и др. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.
12. Дорошенко Ю.М. Добавки, повышающие прочность и водонепроницаемость цементных бетонов / Ю.М. Дорошенко, В.Б. Вишневский, В.В. Чистяков // Повышение долговечности конструкций водохозяйственного назначения. Тезисы докладов всесоюзной конференции. – Ростов-на-Дону, 1981. – С.133-135.
13. Дорошенко Ю.М., Дорошенко О.Ю., Гуріна Л.Г., Борковський П.П. Вплив хімічної добавки-прискорювача твердіння на процеси гідратації, структуроутворення та властивості портландцементу // Вісник ТАУ та УТУ. – 2000. – №4. – С.122 – 127.
14. Дорошенко О.Ю., Возненко А.Д. Кремнійорганічні домішки – ефективні модифікатори цементного бетону/ Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту, серія “Транспортні системи і технології” 2003 р. – Випуск 3, – С. 72 – 79.
15. Дорошенко О.Ю., Дорошенко Ю.М. Цементний бетон, армований сталевую дисперсною арматурою // Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту, серія “Транспортні системи і технології”. – 2006. – Вип. 10. – С. 66 – 74.

16. Дорошенко О.Ю., Дорошенко Ю.М. та ін. Стан і перспективи розвитку дорожньої мережі України // Збірник наукових праць ДЕУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – 2010. – Вип. 17. – С. 55 – 60.
 17. Дорошенко О.Ю., Дорошенко Ю.М. Експлуатаційні впливи на бетони в цементобетонних покриттях доріг / Збірник наукових праць ДЕУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – 2011. – Вип.18. – С. 38 – 44.
 18. Жёсткие покрытия аэродромов и автомобильных дорог: Учеб. пособие для вузов / Г.И.Глушков, В.Ф.Бабков, В.Е.Тригопи и др.; Под ред. Г.И.Глушкова. – М.: Транспорт, 1994. – 349 с.
 19. Мишутин А.В. Повышение долговечности бетонов тонкостенных плавучих и портовых гидротехнических сооружений / А.В. Мишутин, Н.В. Мишутин. – Одесса: Одесский центр научно-технической и экономической информации, 2003 – 192 с.
 20. Опыт строительства дорожных покрытий из жёстких укатываемых смесей / И.В.Басурманова, В.И.Коршунов, А.И.Суворов, Р.А.Коган. – М., 1990. – 64 с. – (Автомоб. дороги: Обзорн. информ. / Ин-формавтодор; Вып. 2).
 21. Пушкарёва К.К., Дорошенко О.Ю. та інші. Особливості отримання лужного шлакопортландцементного бетону та перспективи його використання для влаштування дорожнього покриття // Автошляховик України. – 2008. – № 5 (211). – С. 40 – 45.
 22. Рабинович Ф.Н. Дисперсно-армированные бетоны / Ф.Н. Рабинович. – М.: Стройиздат, 1989. – 176 с.
 23. Ребиндер П.А. Процессы структурообразования в дисперсных системах. Физико-химическая механика строительных материалов / П.А. Ребиндер. – Ташкент: Изд. «Фан», 1966. – 348 с.
 24. Строительство цементобетонных покрытий автомобильных дорог: Учеб. для вузов / Э.Р.Пинус, С.В.Коновалов, А.М.Радин. – М.: Высшая школа, 1975. – 303 с.
 25. Транспортна стратегія України на період до 2020 р.
 26. Ферронская А.В. Долговечность конструкций из бетона и железобетона / А.В. Ферронская. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 336 с.
- Чистяков В.В. Интенсификация твердения бетона / В.В.Чистяков, Ю.М.Дорошенко, И.Г.Гранковський – К.: Будівельник, 1988. – 49 с.