

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО РОЗРАХУНКУ ЖОРСТКИХ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ З УРАХУВАННЯМ КРИТЕРІЇВ МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ БЕТОНУ

© Солодкий С.Й., 2007

Проаналізовано стан питання з розрахунку бетонних конструкцій за критеріями механіки руйнування. Висунуто пропозиції щодо розрахунку жорстких дорожніх одягів з урахуванням фактора часу, в'язкості руйнування та енергетичного критерію руйнування бетону.

This article deals with the suggestions for design of concrete road pavements according to criteria of fracture mechanics. In order to carry out the effective application of new materials and their durability prediction it is necessary to estimate the fracture toughness characteristics from the point of view and taking into account the criteria of time and fracture mechanics.

Вступ. Прогрес у використанні досягнень бетонознавства на сучасному етапі значною мірою пов'язується з розвитком уявлень в галузі механіки руйнування бетону. Завдання цього напрямку досліджень полягає у формулюванні найбільш загальних критеріїв опору бетону як за гранично високої механічної дії (міцність), так і за комплексної дії внутрішніх і зовнішніх напружень сумісно з факторами довкілля протягом всього терміну експлуатації матеріалу (довговічність). Для розв'язання цього завдання необхідно здійснити перехід від міцнісної до кінетичної концепції руйнування, в основу якої покладено інваріантні константи цементного каменю і бетону – в'язкість руйнування (критичні коефіцієнти інтенсивності напружень) та енергія руйнування [1]. Ці силові та енергетичні критерії дають змогу оцінити кінетику розвитку тріщин за силових і несилових впливів до критичного рівня, тобто визначити довговічність бетонної конструкції.

Постановка проблеми. Розрахунок монолітних бетонних покриттів згідно з ВБН В.2.3-218-008 [2] полягає у порівнянні розрахункової міцності бетону на розтяг при згині з максимальним напруженням, що виникає в дорожній плиті на пружній основі від дії навантаження і перепаду температур за товщиною плити. Розрахункова міцність бетону дорівнює значенню класу міцності бетону на розтяг при згині з урахуванням двох емпіричних коефіцієнтів – втоми бетону і умов набору міцності.

Розрахунок за граничним станом міцності на розтяг при згині розглядає дорожню плиту під час її роботи тільки в двох станах: вихідному і зруйнованому. Руйнуванням бетонної плити вважають момент сприйняття нею навантаження, що відповідає максимальній несучій здатності. Проте після настання такого моменту бетонна плита здатна опиратися меншому за величиною зовнішньому навантаженню. Повне руйнування на фрагменти може наступити за навантаження, значно меншого, ніж максимальне, внаслідок досягнення тріщинами своїх критичних значень. Тому недостатньо розглядати тільки два стани дорожньої плити: генерація тріщин відбувається в часі і є кінетичним процесом. Цей процес можна охарактеризувати як деградацію бетону, що закінчується його руйнуванням, коли відбувається лавиноподібне нестійке збільшення параметрів макротріщин на критичній стадії деформування.

З огляду на це, на нашу думку, необхідно під час розрахунку жорстких дорожніх одягів враховувати фактор часу і критерії механіки руйнування бетону. Особливої актуальності це завдання набуває під час впровадження бетонів на нових видах цементів, зокрема, модифікованих.

Аналіз останніх досліджень. Сьогодні запропоновано методики розрахунку бетонних і залізобетонних конструкцій, які використовують характеристики тріщиностійкості бетонів, отримані методами механіки руйнування. Наприклад, розрахунок довговічності бетону за узагальненим концентраційним критерієм з урахуванням факторів часу і температури Гузєєва Є.А. і співробітників [10] ґрунтується на гіпотезі про структурні капілярно-порові дефекти як тріщини, в вершинах яких виникають максимально високі напруження внаслідок зміни зовнішніх впливів. Розрахунок бетонних і залізобетонних елементів при згині за методикою К.О. Пирадова [3], масивних гідротехнічних бетонних споруд за методикою Л.П. Трапезнікова [4], залізобетонних мостів Р.А. Мамахонова [5], розрахунок нормальних перерізів залізобетонних елементів з використанням енергетичних критеріїв С.М. Леоновича [6] вимагають знання силових K_{Ic} і K_{IIc} та енергетичних характеристик тріщиностійкості, а також їх нормування залежно від класу міцності бетону.

Леоновичем С.М. [6] запропоновано нормування критичного коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН) залежно від класу міцності бетону для трьох категорій довговічності – А (25–50 років), В (50–65 років), С (65–75 років). Ознаками вичерпності границі довговічності бетону і бетонних елементів за часовими категоріями А, В, С є значення критичного КІН, нижчі за нормовані значення.

У нормах ЕКБ [11] зроблено спробу класифікувати бетони за енергією руйнування. Ця класифікація побудована для діапазонів строго нормованої міцності бетону і пов'язана з одним параметром структури бетону – максимальним розміром крупного заповнювача. В межах одного класу бетону за міцністю існує декілька його класів за тріщиностійкістю. Їх кількість залежить від різноманітних технологічних чинників, фізико-механічних характеристик компонентів бетонної суміші, особливостей капілярно-порової структури бетону тощо. Ступінь впливу цих чинників на тріщиностійкість бетону за силових і несилових дій різний, що є складною, невирішеною проблемою.

Зайцев Ю.В. припускає, що міцність бетону не повинна бути параметром для розрахунку характеристик тріщиностійкості [7, 8]. Кожному класу бетону за міцністю повинно відповідати щонайменше три класи за в'язкістю руйнування (тріщиностійкістю). Бетон певної міцності може бути високої, середньої і низької тріщиностійкості. Інтегральний показник, що поєднує міцність і тріщиностійкість бетону, на думку Зайцева Ю.В., повинен бути характеристикою якості бетону.

Мета роботи – сформулювати нові підходи до розрахунку жорстких дорожніх одягів, які враховують чинник часу і критерії механіки руйнування.

Результати досліджень та їх обговорення. З огляду на вищезазначені положення довговічність бетонних конструкцій необхідно оцінювати на стадіях проектування і виготовлення залежно від умов експлуатації з різноманітними силовими, тепловологісними і корозійними впливами.

ДБН В.2.3.-4-2000 «Автомобільні дороги» пропонує для капітальних жорстких дорожніх одягів приймати перспективний (розрахунковий) період експлуатації не менше 25 років. Закордонний і вітчизняний досвід будівництва цементобетонних покриттів, а також досягнутий прогрес в технології монолітного бетонування дає змогу пролонгувати цей період до 35–40 і більше років. Тому, на нашу думку, під час влаштування цементобетонних покриттів за його прогнозованої довговічності 30–35 років повинен застосовуватися бетон високого класу тріщиностійкості, за довговічності 25–30 років – середнього, 20–25 років – пониженого.

Основним критерієм під час підбору складу бетону сьогодні є міцність. Вважається, що правильно підібраний склад бетону за міцністю за дотримання системи певних обмежень за

витратою цементу, води, об'ємного вмісту піску і щебеню забезпечує нормативний термін безвідмовної експлуатації конструкції.

Проведені нами дослідження [9] показали залежність характеристик тріщиностійкості бетонів від рецептурно-технологічних чинників в межах приблизно рівної міцності, а саме: виду цементу, коефіцієнта розсунення зерен крупного заповнювача, умов тверднення бетону тощо. Це дає підстави прийняти під час нормування підхід, сформульований Зайцевим Ю.В.

Оскільки дорожня плита працює в умовах згинальних навантажень, очевидно необхідно пов'язати характеристики тріщиностійкості бетону з його класом міцності на розтяг при згині. Нами досліджені бетони в діапазоні міцностей на розтяг при згині 7,5–8,0 МПа і на стиск – 39,5–66,5 Мпа [9]. Тому пропозиції щодо нормування висунуті для бетонів класів міцності B_{tb} 5,6 і 6,0 і наведені в таблиці.

Нормативні характеристики тріщиностійкості бетонів

№ з/п	Клас бетону за міцністю на розтяг при згині, B_{tb}	Середня міцність бетону, МПа	Найближча марка бетону за міцністю, R_{tb}	Нормативні характеристики тріщиностійкості					
				критичний КІН, K_{IC} , МПа/м ^{1/2}			джей-інтеграл, Дж/м ²		
				високий клас	середній клас	понижений клас	високий клас	середній клас	понижений клас
1	5,6	7,34	75	0,79-0,82	0,76-0,79	0,73-0,76	35-40	30-35	25-30
2	6,0	7,86	80	0,82-0,86	0,79-0,82	0,76-0,79	40-45	35-40	30-35

Розроблення і впровадження рекомендацій з підбору складу бетону за характеристиками тріщиностійкості, які враховують види впливів під час експлуатації конструкції, уможливить за рахунок спрямованого формування структури отримувати бетони з заданими властивостями, що відповідають умовам їх експлуатації. Це, своєю чергою, дасть поштовх для розроблення методів розрахунку конструкцій за критеріями механіки руйнування з урахуванням чинника часу.

Згідно з сучасними уявленнями визначальний вплив на несучу здатність дорожніх плит при згині мають тріщини в структурі бетону, які розвиваються за механізмом нормального відриву. Процес розвитку тріщин має стійкий характер, що супроводжується поступовим накопиченням локальних руйнувань. Коли накопичення мікро- і макродефектів в структурі бетону сягає певної критичної межі, утворення нових тріщин і розвиток вже існуючих відбувається лавиноподібно – бетон руйнується. Якщо бетон працює в межах прогнозованих експлуатаційних навантажень, цей процес може тривати десятки років. Прискорення руйнування відбувається за перевищення розрахункових навантажень і посилення агресивної дії тепловологісних і корозійних чинників.

Отже, довговічність бетонної плити при згині визначається часом або кількістю циклів сумарної дії навантаження і зовнішніх чинників від моменту зародження тріщини до початку її нестійкого розповсюдження.

Із накопиченням експериментальних даних характеристик тріщиностійкості бетонів і уточненням їх нормування залежно від класу міцності бетону на розтяг при згині доцільно включити до розрахунку бетонних дорожніх покриттів такі критерії руйнування бетону, як в'язкість руйнування (критичний КІН) і загальні енерговитрати на деформування і статичне руйнування бетону, які визначають енергетичну зарядженість повністю рівноважної діаграми деформування бетону при згині з наперед створеною тріщиною і дорівнюють площі діаграми. Розрахунок пропонується здійснювати за критерієм довговічності, що кількісно описується параметром D .

З урахуванням вищенаведених положень ресурс довговічності бетону дорожнього покриття можна описати функцією виразу

$$D = f(B_{tb}; K_{IC}; W; \tau), \quad (1)$$

де D – ресурс довговічності бетону покриття; V_{tb} – клас міцності бетону на розтяг при згині; K_{Ic} – критичний коефіцієнт інтенсивності напружень; W – загальні енерговитрати на деформування і статичне руйнування бетону; τ – розрахунковий термін експлуатації покриття в роках за певного рівня надійності безвідмовної роботи; f – функція, що описує ресурс довговічності бетону залежно від інтенсивності розрахункового навантаження, терміну експлуатації покриття та ключових характеристик якості дорожнього бетону – міцності на розтяг при згині і вищезазначених критеріїв механіки руйнування.

За умови перевищення розрахункового значення ресурсу довговічності нуля забезпечується безвідмовна експлуатація дорожнього покриття протягом розрахункового періоду з певним рівнем надійності.

Висновки: 1. Зроблено огляд методик з розрахунку бетонних конструкцій з використанням критеріїв механіки руйнування. Під час розрахунку монолітних бетонних покриттів ці критерії і чинник часу не використовують, що, на нашу думку, вимагає розробки нових підходів до розрахунку.

2. Обґрунтовано необхідність нового підходу до розрахунку жорстких дорожніх одягів, особливо, з впровадженням в практику дорожнього будівництва бетонів на нових видах в'язучих, реалізація якого вимагає накопичення та узагальнення експериментальних даних характеристик тріщиностійкості бетонів, а також розробки математичного апарата розрахунку.

3. Запропоновано нормування характеристик тріщиностійкості – критичного КІН і джей-інтеграла для бетонів класів міцності на розтяг при згині V_{tb} 5,6 і 6,0. Нормування здійснюється на трьох рівнях тріщиностійкості – високому, середньому і пониженому. Дослідження продовжуються для бетонів нижчих класів міцності.

4. Запропоновано інтегральну енергетичну характеристику тріщиностійкості бетону, яка відповідає площі повністю рівноважної діаграми деформування бетону при згині з наперед створеною тріщиною

1. Гузев Е.А., Леонович С.Н., Пирадов К.А. *Механика разрушения бетона: вопросы теории и практики.* – Брест, БПИ, 1999. – 218 с. 2. ВБН В.2.3-218-008-97. *Проективання і будівництво жорстких та з жорсткими прошарками дорожніх одягів.* 3. *Расчет бетонных и железобетонных конструкций на основе методов механики разрушения / К.А. Пирадов, А.Б. Пирадов, Г.З. Иосебашивили, Л.А. Кахиани / Под ред. К.А. Пирадова.* – Тбилиси: Мецниереба, 1999. – 250 с. 4. Трапезников Л.П. *Температурная трещиностойкость массивных бетонных сооружений.* – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 272 с. 5. Мамахонов Р. *Основы теории прогнозирования ресурса железобетонных мостов для Средней Азии: Автореф. дис... д-ра технических наук.* – М., 2000. 6. Леонович С.Н. *Трещиностойкость и долговечность бетонных и железобетонных элементов в терминах силовых и энергетических критериев механики разрушения.* – Минск: Редакция журнала “Тыдзень”, 1999. – 265 с. 7. Зайцев Ю.В., Сахи Д.М., Пирадов К.А. *Механика разрушения бетонов различной макроструктуры.* – М.: МГОУ, 2002. – 225 с. 8. Зайцев Ю.В., Казацкий М.Б., Цаава Г.Ф. *К нормированию значений K_{Ic} для мелкозернистых бетонов // Бетон и железобетон.* – 1984. – №6. – С. 23–24. 9. Солодкий С.Й., Русин Р.М., Гайванович Р.В., Поваляшко М.В. *Оцінка тріщиностійкості дорожніх бетонів за критеріями механіки руйнування: Зб. наук. статей «Дороги і мости».* – К.: ДерждорНДІ. – 2006. – Вип. 6. – С. 289–303. 10. *Разрушение бетона и его долговечность / Е.А. Гузев, С.Н. Леонович, А.Ф. Милованов, К.А. Пирадов, Л.А. Сейланов / Под ред. Е.А. Гузеева.* – Минск: Редакция журнала «Тыдзень», 1997. – 170 с. 11. *CEB-FIP Model code 1990, Final Draft, Bulletin d'information №0 203, 204 and 205, CEB Lausanne.* – 199. – 6 p.