

С.Й. Солодкий

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автомобільних шляхів
79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12

РОЛЬ ФАКТОРА СКЛАДУ У ПІДВИЩЕННІ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ БЕТОНІВ ЗА КРИТЕРІЯМИ МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ (ОГЛЯД)

© Солодкий С.Й., 2007

Не претендуючи на вичерпну повноту, огляд містить аналіз праць за останні 25 років, присвячених дослідженню тріщиностійкості бетонів за критеріями механіки руйнування з позицій активної ролі фактора складу. Сформульовано основні закономірності впливу рецептурно-технологічних факторів на характеристики тріщиностійкості бетонів, а також перспективні напрямки продовження досліджень.

Having no claim on the exhaustive coverage, the review contains the analysis of the works for 25 etars past which were dedicated to the investigation of the concrete crack resistance by the fracture mechanic criteria from the position of the active role of the composition factor. The main regularities of the effect of recipe-technological factors on the characteristics of the concrete crack resistance as well as perspective trends for the further investigation in this field are shown.

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 найзагальніших критеріїв опору бетону як за гранично високої механічної дії (міцність), так і за комплексної дії внутрішніх і зовнішніх напружень разом з факторами довкілля протягом усього 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. 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’ємним вмістом піску і щебеню забезпечує нормативний термін безвідмовної експлуатації конструкції. Зайцевим Ю.В. із співробітниками на основі проведених експериментально-теоретичних досліджень зроблено висновок, що кожному класу бетону за міцністю повинно відповідати, як мінімум, три класи за в’язкістю руйнування, тобто бетон певної міцності може бути високої, середньої і низької тріщиностійкості [2]. З огляду на це для забезпечення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій за підбору складу бетону необхідно прогнозувати і забезпечувати певний рівень характеристик його тріщиностійкості.

Мета роботи. На основі аналізу робіт, присвячених дослідженню тріщиностійкості бетонів за критеріями механіки руйнування за останні 25 років, виявити основні закономірності впливу рецептурно-технологічних факторів на силові та енергетичні характеристики тріщиностійкості бетонів, сформулювати перспективні напрямки продовження досліджень.

Аналіз проведених досліджень. Найповніше вплив рецептурно-технологічних чинників на характеристики тріщиностійкості бетонів досліджено науковими школами під керівництвом

Зайцева Ю.В., Пака А.М., Гузеєва Є.А., Пірадова К.О., Панасюка В.В., Вирового В.М. та ін. Колективом авторів під керівництвом Гузеєва Є.А. на основі проведених експериментально-теоретичних досліджень сформульовано підхід до регулювання тріщиностійкості бетонів шляхом здійснення підбору складу бетону не за критерієм міцності, а за критеріями тріщиностійкості [1, 3–6]. Дослідження проведені на трьох видах бетону: звичайному віброваному, високоміцному віброваному і центрифугованому. Встановлено, що такі фактори складу бетону, як кількість цементу та його активність, водоцементне відношення (В/Ц), хімічні добавки-пластифікатори в певній закономірності впливають на формування активних зв'язків в цементному камені та бетоні, а також на відповідну структуру порожнин з їх реактивними внутрішніми силами, а відтак і на величину силових та енергетичних характеристик тріщиностійкості.

Сформульовано основні закономірності впливу рецептурно-технологічних факторів на величину критичного коефіцієнта інтенсивності напружень (ККІН):

- збільшення міцності заповнювача спричиняє зростання ККІН;
- збільшення водоцементного відношення негативно впливає на ККІН;
- збільшення об'єму важкого заповнювача в бетоні спричиняє зростання, а легкого – падіння значення ККІН;
- зростання максимального розміру зерен крупного заповнювача збільшує значення ККІН;
- застосування шлакопортландцементу за гідротермальної обробки бетону забезпечило йому перевагу у параметрах тріщиностійкості перед бетоном на портландцементі активністю 50 МПа.

Модифікація структури суперпластифікаторами спричиняє зміну розподілу пор на користь гелевих, що позитивно впливає на тріщиностійкість бетону. Дослідження підтверджують важливу роль гелевих пор в процесах старту і руху мікротріщин під час формування зони перед руйнуванням. Чим вищий вміст гелевих пор в об'ємі цементного каменю, тим більше потрібно витратити енергії на ініціювання і початок руху магістральної тріщини. Тому гелеві пори можна розглядати як структурні компоненти, що гальмують просування тріщин, як об'єми, що поглинають пружну енергію і вимагають витрат на їх подолання.

Експериментальними дослідженнями встановлено істотний вплив адгезійних сил, що виникають в контактній зоні цементно-піщаної матриці та зерен заповнювачів із різною щільністю і шорсткістю поверхні на кінетику опору структури бетону, розвитку тріщиноподібних дефектів і руйнування. Так, наприклад, чим більше зерен крупного заповнювача з розвинутою поверхнею зустрічається на шляху руху тріщини, тим вищою є в'язкість руйнування та енерговитрати. Слабке зчеплення цементно-піщаної матриці з порівняно гладкою поверхнею зерен щебеню дає зворотний ефект – зменшуються витрати енергії на старті магістральної тріщини. У зв'язку з цим збільшення об'ємного вмісту гранітного щебеню від 10 до 70 % спричиняє зростання ККІН і загальних енерговитрат, у разі застосування гравію – падіння характеристик тріщиностійкості [6].

Комплексною оцінкою здатності бетону опиратися утворенню тріщин (докритична стадія деформування) та їх розвитку (закритична стадія) встановлено, що тріщиностійкість високоміцних бетонів у 1,5–2 рази вища порівняно із звичайними бетонами.

На основі результатів досліджень запропонована залежність характеристик тріщиностійкості бетонів від міцності цементно-піщаної матриці та об'ємної концентрації крупного заповнювача у вигляді об'ємних діаграм, які дають змогу визначати розрахункові параметри для бетону щодо забезпечення відповідного рівня значень характеристик тріщиностійкості [1, 6]. Водночас, як зазначено в [6], результати багаточисленних досліджень впливу технологічних параметрів на характеристики тріщиностійкості бетону, в яких здебільшого вивчався вплив поодиноких факторів і була відсутня комплексність досліджень, не є незаперечними. Подальшу роботу в галузі застосування методів механіки руйнування рекомендовано проводити для бетонів на спеціальних в'язучих і високоміцних бетонах із структурами, модифікованими на мікрорівні добавками, що хімічно взаємодіють в системі цементної матриці.

Об'ємний вміст цементного каменю і крупного заповнювача – визначальні рецептурні чинники, які прийняті в дослідженнях характеристик тріщиностійкості бетонів під керівництвом Зайцева Ю.В. [2, 7–10]. Аналіз результатів вимірювання опору бетонів із різною структурою

зрушуванню і розвитку тріщин свідчить, що силові, енергетичні, деформаційні характеристики тріщиностійкості по-різному залежать від об'ємного вмісту цементного каменю. Це підтверджує їх незалежність і самостійну роль [2]. Тріщиностійкість досліджених звичайних важких бетонів не залежить від виду цементно-піщаної матриці, а визначається лише відносним вмістом щебеню. Наголошується на двоякій ролі крупного заповнювача в бетоні: він спочатку збільшує її, коли переважає тенденція затримки зернами заповнювача матричних тріщин, потім зменшує, коли переважає тенденція утворення тріщин по контакту „матриця – заповнювач”. Існує така концентрація зерен крупного заповнювача, за перевищення якої тріщиностійкість бетону буде меншою, ніж розчину. У важких бетонах, де міцність заповнювача значно перевищує міцність матриці, стійкий розвиток тріщини відбувається в обхід заповнювача, внаслідок чого сумарна площа руйнування, а відтак і витрати енергії зростають зі збільшенням кількості заповнювача. Автори наводять значення ККІН для цементного каменю, дрібнозернистого бетону і важкого бетону залежно від складу, які знаходяться в межах $0,129...0,316 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ [4].

На основі узагальнення даних багатьох досліджень зроблено висновок про вплив водоцементного відношення для цементного каменю, дрібнозернистого і, частково, важкого бетонів – зменшення В/Ц сприяє зміцненню структури, підвищенню міцності і опору руху тріщини, що чисельно характеризується значенням в'язкості руйнування і величиною питомої густини поверхневої енергії [10]. Спостерігається значне зростання усіх характеристик за значення $\text{В/Ц} < 0,5$.

Пірадовим К.О. і співробітниками [11–15] внаслідок реалізації факторного експерименту отримано рівняння у вигляді поліномів 2-го порядку, які описують залежності значень ККІН, міцностей на стиск, розтяг при згині, модуля пружності від факторів складу бетону, а саме: міцності заповнювача, цементно-водного відношення, кількості цементного тіста в бетонній суміші, максимальної крупності заповнювача, активності цементу, кількості крупного заповнювача в одиниці об'єму бетону, вологості бетону. На підставі аналізу отриманих поліномів авторами зроблено такі висновки:

- збільшення кількості пор, мікро- і макротріщин обумовлює зниження параметрів тріщиностійкості, а збільшення заокруглення пор, – навпаки, їх зростання, показники міцності менш чутливі до зміни кількості пор в структурі;
- тріщиностійкість бетону за відриву і зсуву збільшується за збільшення міцності заповнювача, активності цементу і цементноводного відношення і зменшується із зростанням кількості заповнювача і вологості бетону;
- характеристики міцності і показники тріщиностійкості бетону завжди корелюють між собою;
- міцний бетон може мати низьку тріщиностійкість, тому для об'єктивної оцінки якості бетону необхідно контролювати його за ККІН при відриві і зсуві.

Для оцінкового розрахунку рекомендуються графічні залежності між ККІН і витратою цементу, В/Ц та іншими чинниками.

Автори висловлюють припущення, що шляхом введення структурокоригуючих органічних додатків можна отримати замкнені пори з заданими розмірами і відстанню між ними, що покращує структуру бетону і підвищує його морозостійкість [11].

Отже, зроблено висновок, що надійність підбору складу бетону може бути забезпечена лише за використання критеріїв механіки руйнування. Це твердження викликає закономірне питання: на якому рівні мають бути забезпечені значення критеріїв механіки руйнування для бетону певної міцності та детермінованого терміну експлуатації конструкцій?

Звертає на себе факт прямо протилежного трактування ролі окремих рецептурних факторів у забезпеченні тріщиностійкості бетону. Зокрема, за Пірадовим К.О. значення ККІН обернено пропорційні до кількості крупного заповнювача в одиниці об'єму важкого бетону, що суперечить висновкам Зайцева Ю.В. і Леонівича С.М. Відрізняються висновки дослідників і за тріщиностійкістю високоміцних бетонів. Так, Зайцев Ю.В і Пірадов К.О. на противагу [6] стверджують, що бетон високої міцності може характеризуватися низькою тріщиностійкістю. Це узгоджується з тезою [16] про значно повільніше зростання в'язкості руйнування цементного

каменю порівняно з міцністю на стиск зі збільшенням активності цементу. Ця тенденція характерна і для металів, коли зі зростанням міцності збільшується чутливість матеріалу до тріщин.

Шевченко В.І. [17] на основі кількісного і якісного аналізу повністю рівноважних діаграм деформування матеріалів встановив, що зі збільшенням кількості тонкомеленого додатка шамоту в цементному камені, а також під час введення піску і щебеню в цементну матрицю тривалість процесу руйнування в закритичній стадії зростає. Збільшення кількості і крупності заповнювача також підвищує критичну довжину рівноважної тріщини і локальну деформацію. Як наслідок, автор робить висновок, що бетон є менш крихким матеріалом порівняно з цементно-піщаною матрицею і характеризується значно вищою тріщиностійкістю.

Пак А.П. і Трапезніков Л.П. експериментально дослідили процеси розвитку тріщин в бетоні, змінюючи такі фактори: тип цементу, вид заповнювачів, розмір зразків, схему випробувань [18–20]. Авторами отримано значення ККІН як функцію вказаних факторів.

Метою досліджень, проведених В.І. Соломатовим, В.М. Вировим, Дорофєєвим В.С. та іншими [21–24], було цілеспрямоване керування структурно-механічними властивостями змішаних цементів, фізико-механічними особливостями структуроутворення бетонів (власними об'ємними деформаціями, кінетикою і значенням пластичної міцності), зниженням ушкодженості мікроструктури бетонів спадковими дефектами і підвищенням механічних властивостей і тріщиностійкості цементного каменю за рахунок введення в нього наповнювачів оптимальної кількості, дисперсності та поверхневої активності. Експериментально встановлено вплив якісного і кількісного складу змішаних в'язучих на фізико-механічні властивості цементних композицій. Доведена можливість зниження їх матеріаловмістності на 15–21 % за рахунок застосування наповнювачів (кварцових, карбонатних) оптимальних за видом і якісним складом.

На думку авторів, на рівні макроструктури бетону характер тріщиноутворення цементної матриці залежить від рівня її взаємодії з поверхнею заповнювачів і від кількості заповнювачів. Зміна характеру тріщиноутворення макроструктури за рахунок зміни рівня адгезії розчину до поверхні заповнювачів дає змогу регулювати деформативні характеристики бетонів. Спосіб укладання і кількість заповнювачів, а також співвідношення адгезійної і когезійної міцності матричного матеріалу значною мірою впливають на формування залишкового поля технологічних деформацій, яке, своєю чергою, визначає тріщиностійкість і поведінку бетону під навантаженням. Це відкриває технологічні можливості для зміни рівня міжструктурних взаємодій в необхідному напрямку [25, 26]. Змінювати характер тріщиноутворення, а отже, і деформативні характеристики бетонів запропоновано обробкою поверхні мінеральних заповнювачів гідрофобними ПАР (кремнійорганічна емульсія типу ГКЖ 95) [27]. При цьому зменшується змочуваність, водопоглинання та адгезія розчину до поверхні заповнювачів, підвищуються механічні та деформативні характеристики.

На основі літературного огляду з проблеми тріщиностійкості цементних матеріалів [28, 29] автори роблять висновок, що опір розвитку тріщини у менш міцних матеріалів є більшим, ніж у міцних. Це пояснюється тим, що зі збільшенням води затворення матеріал набуває більшої пористості та має розвинутішу порову поверхню. Пори у цьому випадку виконують роль пастки. За їх поверхнею розподіляється енергія вістря тріщини, і необхідне нове її накопичення для подальшого росту локальної тріщини.

На основі аналізу особливостей руйнування керамзитобетону Первушин Г.М. робить висновок, що модифікування структури легкого бетону комплексним додатком суперпластифікатора С-3 і ГКЖ-94 дає змогу істотно покращати якість структури бетону за рахунок зменшення діаметра пор та їх рівномірного розподілу за об'ємом матеріалу [29]. Підвищення однорідності структури уможливило збільшити опір розвитку тріщин, а відтак і довговічність бетону, зокрема, його морозостійкість з F 125...150 до F 250.

Про взаємозв'язок пористості бетону та його тріщиностійкості наголошується в [30]. Автори на основі проведеного кореляційного аналізу встановили лінійну залежність між відкритою пористістю матеріалу, середнім розміром капілярів і тріщиностійкістю бетону (рівнем ККІН) в сухому і рівноважному станах. При насиченні бетону водою такий взаємозв'язок не підтверджується, що

пояснюється здатністю капілярної води працювати під час короткочасних навантажень як тверде тіло та ефектом капілярного стиснення, що сприяє гальмуванню розвитку тріщин.

Для підвищення тріщиностійкості бетону до його складу можна вводити включення певної форми [16] і додатки, що демпфують [31]. Такі додатки або елементи фаз у структурі бетону – це область режимів деформації, коли в наборі активаційних енергій переважають компоненти, що пов'язані з поверхневими бар'єрами, здатними поглинати і розсіювати енергію, створювати поля напружень для розгалуження тріщин, руху дислокацій, мікротріщин і капілярних пор. З огляду на таку роль включень пропонується вводити в цементну матрицю порожні скляні мікросфери, які мають пуцоланічну, структуруючу і геометричну активність [32]. Поверхневі сили мікросфер, які забезпечують ці прояви активності, очевидно, будуть впливати на тріщиностійкість цементного каменю і опір росту локальної тріщини. Водночас за даними [10] введення в цементний камінь пустотілих полімерних частинок в кількості 8 % об. призвело до зниження в'язкості руйнування на 17 %.

Автори [33] стверджують, що показник міцності бетону на стиск не є достатнім для забезпечення довговічності бетону. Серед його найвагоміших властивостей з точки зору довговічності – тріщиностійкість за термічних, вологісних, механічних і динамічних навантажень. На думку авторів, висока довговічність, а отже, і тріщиностійкість бетону забезпечується завдяки таким заходам: підбору відповідної крупності заповнювачів, інтенсивним перемішуванням і ущільненням бетонної суміші, застосуванням пластифікаторів і додатків, що покращують легковкладальність бетонної суміші, відповідним доглядом за бетоном. Довговічність зовнішніх бетонних виробів і конструкцій досягається за дотримання таких обмежень: максимального водоцементного відношення, мінімального вмісту цементу, мінімальної товщини бетонних покриттів, максимально допустимого об'єму пор, максимально допустимих розмірів тріщин, максимального вмісту породотворювальних додатків.

Одним із напрямків підвищення тріщиностійкості бетону є застосування дисперсного армування металеву [34] і полімерною [35] фіброю. У першому випадку за об'ємного вмісту фібр 1–2,3 % тріщиностійкість і в'язкість бетону в умовах згину зросла відповідно у 2–3,3 і 1,5–3,3 рази. Висока в'язкість фібробетону істотно змінює картину останньої – руйнуючої стадії, яка відбувається не стрімко, як в чистому бетоні, а плавно з поступовим розкриттям однієї – трьох тріщин в зоні чистого згину. Збільшення вмісту полімерної фібри від 0,5 до 1,5 % спричиняє зростання критичного коефіцієнта інтенсивності напружень на 40 % для низькоміцних бетонів і в два рази – для високоміцних.

У нормах ЕКБ [36] на основі узагальнення досвіду європейських дослідників зроблено спробу класифікувати бетони за енергією руйнування. Ця класифікація побудована для діапазонів строго внормованої 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 факторів, фізико-механічних характеристик компонентів бетонної суміші, особливостей капілярно-порової структури бетону тощо. Ступінь впливу цих факторів на тріщиностійкість бетону за силових і несилових діянь різний, що є складною невіршеною проблемою.

Висновки. 1. Підвищення тріщиностійкості бетону досягається шляхом модифікування його структури хімічними додатками поліфункціональної дії і пластифікаторами, насамперед за рахунок формування відповідної порової структури. Збільшення сферичних, замкнених, рівномірно розподілених пор, особливо гелевих, спричиняє зростання в'язкості руйнування та енергетичних характеристик тріщиностійкості.

2. Тип, активність і кількість цементу, вміст мінеральних наповнювачів в певній закономірності впливають на характеристики тріщиностійкості бетону, що можна пояснити особливостями генезису, стану і складу новоутворень цементного каменю.

3. Роль крупного заповнювача та його розміру у забезпеченні тріщиностійкості бетону трактується неоднозначно, проте усі дослідники наголошують на позитивній ролі адгезійних сил між цементно-піщаною матрицею і заповнювачами.

4. Дисперсне армування бетону як металевою, так і полімерною фіброю підвищує тріщиностійкість бетону.

5. Введення в бетон додатків (елементів фаз), здатних поглинати і розсіювати енергію, спричиняє підвищення тріщиностійкості.

6. Інтенсифікація процесів переміщування і ущільнення бетонної суміші, забезпечення необхідного догляду за бетоном сприяє підвищенню тріщиностійкості бетону.

7. Переважна більшість дослідників як критерій тріщиностійкості за оцінки впливу рецептурно-технологічних чинників приймала в'язкість руйнування (значення ККІН). З огляду на це, можна стверджувати, що сьогодні взаємозв'язок рецептурно-технологічних факторів бетону та його енергетичних характеристик тріщиностійкості досліджено недостатньо.

8. У зв'язку з розширенням сировинної бази цементу, збільшенням обсягів використання цементів з пониженим вмістом портландцементного клінкеру, використанням комплексних хімічних додатків особливої актуальності набувають дослідження тріщиностійкості бетонів на модифікованих композиційних цементах.

9. Урахування інтегральної енергетичної характеристики тріщиностійкості бетону, яка залежить від рецептурно-технологічних факторів і чисельно визначається площею повністю рівноважної діаграми деформування, дасть можливість удосконалити і підвищити достовірність розрахунку бетонних і залізобетонних конструкцій.

1. Разрушение бетона и его долговечность / Е.А. Гузеев, С.Н. Леонович, А.Ф. Милованов, К.А. Пирадов, Л.А. Сейланов / Под ред. Е.А. Гузеева. – Минск: Редакция журнала “Тыдзень”, 1997. – 170 с. 2. Зайцев Ю.В., Сахи Д.М., Пирадов К.А. Механика разрушения бетонов различной макроструктуры / М.: МГОУ, 2002. – 225 с. 3. Пирадов К.А., Гузеев Е.А. Механика разрушения железобетона. – М.: “Новый век”, 1998. – 190 с. 4. Гузеев Е.А., Леонович С.Н. К проблеме расчета состава бетона по трещиностойкости // Проблемы технологии при производстве строительных материалов, изделий и конструкций: Сб. тр. / Под ред Н.П. Блецика. – Брест: БПИ, 1998. – С.47–49. 5. Гузеев Е.А., Леонович С.Н., Пирадов К.А. Механика разрушения бетона: вопросы теории и практики. – Брест: БПИ, 1999. – 215 с. 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. Моделирование деформаций и прочности бетона методами механики разрушения. – М.: Стройиздат, 1981. – 196 с. 8. Зайцев Ю.В., Казацкий М.Б., Цаава Г.Ф. К нормированию значений K_{1c} для мелкозернистых бетонов // Бетон и железобетон. – 1984. – № 6. – С. 23–24. 9. Зайцев Ю.В., Красновский Р.О., Ковлер К.Л., Тахер А. Трещиностойкость бетонов с различной степенью неоднородности структуры // Бетон и ж/бетон. – 1989. – № 11. – С. 10–12. 10. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей: Учеб. пособие для строит. вузов. – М.: Высш. шк., 1991. – 288 с. 11. Пирадов К.А. Теоретические и экспериментальные основы механики разрушения бетона и железобетона. – Тбилиси: „Энергия”, 1998. – 318 с. 12. Пирадов К.А., Бисенов К.А., Абдуллаев К.У. Механика разрушения бетона и железобетона: Учебник для строительных вузов. – Алматы. – 2000. – 306 с. 13. Пирадов К.А., Гузеев Е.А., Мамаев Т.Л. Фундаментальные принципы определения морозостойкости бетона по параметрам механики разрушения // Бетон и железобетон. – 1999. – №4. – С. 14–17. 14. Пирадов К.А., Мамаев Т.Л., Кожсабеков Т.А., Марченко С.М. Физико-механические, энергетические и структуроформирующие параметры бетона // Бетон и железобетон. – 2002. – №2. – С. 10–12. 15. Пирадов К.А., Мамаев Т.Л., Кожсабеков Т.А., Марченко С.М. Подбор состава бетона по параметрам механики разрушения // Бетон и железобетон. – 2003. – №6. – С. 16–17. 16. Панасюк В.В., Бережницкий Л.Т., Чубриков В.М. Оценка трещиностойкости бетона по вязкости разрушения // Бетон и железобетон. – 1981. – №2. – С. 19–20. 17. Шевченко В.И. Энергетический подход к оценке вязкости разрушения цементного

камня и бетона // Бетон и железобетон, 1985. – № 1. – С. 35–36. 18. Пак А.П. и др. Зависимость критического значения коэффициента интенсивности напряжений бетона от длины трещины // Известия ВНИИГ. – Т.136. – 1980. 19. Пак А.П. и др. Влияние вида напряженного состояния на значение характеристик трещиностойкости бетона // Известия ВНИИГ. – Т.147. – 1981. 20. Пак А.П., Трапезников Л.П., Яковлева Э.Н. Исследование характеристик трещиностойкости бетона при осевом растяжении и изгибе образцов с надрезами // Известия ВНИИГ. – Т.163. – 1983. – С. 29–37. 21. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, В.С., Дорофеев, А.В.Сиренко. – К.: Будивельник. – 1991. – 144 с. 22. Цементные бетоны с минеральными наполнителями / Л.И. Дворкин, В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, С.М. Чудновский. – К.: Будивельник, 1991. – 136 с. 23. Дорофеев В.С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций. – Одесса: Город мастеров, 1998. – 165 с. 24. Ткачук А.М., Лисенко В.А., Выровой В.Н., Сильченко С.В. // Трещиностойкость цементного камня с наполнителями // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2004. – Вип.15. – С.296–301. 25. Дорофеев А.В., Выровой В.Н., Макарова С.С. Анализ механизмов формирования макроструктуры бетонов // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2002. – Вип.7. – С.47–53. 26. Дорофеев А.В. Анализ влияния остаточных деформаций на поведение бетона под нагрузкой // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2003. – Вип.10. – С.61–67. 27. Дорофеев А.В., Выровой В.Н. // Влияние макроструктурных параметров на деформативные характеристики бетонов // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2002. – Вип.8. – С.40–47. 28. Орешкин Д.В., Первушин Г.Н. Проблемы трещиностойкости цементных материалов // Седьмые академические чтения РААСН «Современные проблемы строительного материаловедения». – Белгород, 2001. – С. 396–402. 29. Первушин Г.Н., Орешкин Д.В. Проблемы трещиностойкости облегченных цементных материалов: Монография. – Ижевск: ИжГТУ. – 2002. – 350 с. 30. Довгань П.М., Кровяков С.А., Керш В.Я., Еремина Н.А., Чепиль С.Р. Влияние факторов состава мелкозернистого бетона на его поровую структуру // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2000. – Вип.1. – С.8–11. 31. Комохов П.Г. Механико-технологические основы торможения процессов разрушения бетонов ускоренного твердения: Автореф. дис... д-ра техн. наук. – Л., 1978. 32. Орешкин Д.В. Полюе микросферы – теплоизоляционный наполнитель в цементные тампонажные растворы // Сб. докл. 5-й Межд. конф. «Проблемы строительной микрофизики». – М.: НИИСФ, 2000. – С. 212–222. 33. Штарк И., Вихт Б. Долговечность бетона / Пер. с нем. – А. Тулаганова; Под ред. П. Кривенко. – К.: Оранта. – 2004. – 301 с. 35. Кровяков С.А., Мишутин А.В. Исследование трещиностойкости фибробетона с использованием полностью равновесных диаграмм деформации: Збірник наукових праць “Н/т проблеми сучасного залізобетону”. Кн. 1. – К.: НДІБК – 2003. Вип. 59. – С. 288–293. 36. CEB-FIP Model code 1990, Final Draft, Bulletin d’information No 203, 204 and 205, CEB Lausanne, 199. – 6 p.