

Р.В. Пархоменко, канд. техн. наук, доцент, Р.С. Яковчук (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

ДОВГОВІЧНІСТЬ БЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ, ЩО ЗАЗНАЛИ ВПЛИВУ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

В статті розглянуті вимоги нормативних документів до будівельних конструкцій щодо захисту від пожеж, існуючі критерії та методи оцінки стану бетонних конструкцій після пожежі. Представлені, частково, результати аналітичного огляду наукових публікацій останніх років щодо використання методів механіки руйнування для дослідження процесів зародження та поширення тріщин в бетонних конструкціях до критичного рівня, визначення оптимальних критеріїв тріщиностійкості для оцінки довговічності бетону. Запропоновано використати методи механіки руйнування для дослідження бетонних конструкцій після впливу на них високих температур.

Ключові слова: тріщиностійкість, несуча здатність, ступінь вогнестійкості, межа вогнестійкості, граничний стан, крихке руйнування, критичні коефіцієнти інтенсивності напружень, механіка руйнування.

Сучасні будівельні конструкційні матеріали і конструкції схильні переважно до крихкого руйнування, тобто до руйнування через поширення дефектів типу тріщин. Від моменту утворення тріщини і до початку її критичного росту минає певний час. Як свідчить практика, під час експлуатації будинків та споруд різноманітного призначення досить часто трапляються випадки, коли регламентовані умови роботи будинку порушуються, наприклад, внаслідок осідання ґрунтів, виникнення пожежі чи інших природних та техногенних чинників.

Проблема дослідження будівельних конструкцій, які зазнали впливу високих температур, щодо можливостей подальшої їх експлуатації залишається досить актуальною. В Україні щорічно виникають десятки тисяч пожеж в будівлях, так у 2009 році вогнем знищено і пошкоджено 21 тис. будівель і споруд, у 2008 – 20 984, у 2007 – 23 143.

Сьогодні можливість експлуатації конструкцій після пожежі визначають за певними основними та додатковими параметрами. Основні параметри: збереженість і ремонтпридатність, стійкість і залишкова несуча здатність конструкцій, відсутність аварійного стану; додаткові: залишкові деформації матеріалів у вигляді додаткових прогинів, кутів повороту і перекосів конструкцій, а також додаткові тріщини і збільшення ширини їх розкриття. Для оцінки технічного стану конструкцій використовуються суб'єктивні та об'єктивні методи діагностики [1]. До суб'єктивних методів діагностики належать візуальний огляд будівельних конструкцій та оцінка міцності бетону склерометричним методом – простукування молотком. Для об'єктивного технічного діагностування використовуються механічні, оптичні й електричні засоби вимірювання.

Цими методами оцінюють стан конструкції на даний момент часу, а можливості передбачити термін надійної роботи конструкції не має.

Як свідчить багатолітня практика дослідження пожеж, будівельні елементи конструкцій жодного будинку чи споруди не можуть до безкінечності задовольняти одночасно три умови пожежної стійкості [2], а саме:

- зберігати достатню несучу здатність в умовах впливу високих температур не обвалюючись;
- бути придатними до повторної нормальної експлуатації після ремонту;
- із задовільною здатністю перешкоджати поширенню небезпечних факторів пожежі.

В Україні прийнята та діє системи нормативних документів щодо захисту від пожежі об'єктів будівництва та встановлена пожежно-технічна класифікація будівельних матеріалів та конструкцій.

Будівельні матеріали класифікують за такими показниками пожежної небезпеки [3]: горючістю, займистістю, поширенням полум'я поверхнею, димоутворювальною здатністю та токсичністю продуктів горіння. За горючістю будівельні матеріали підрозділяють на негорючі та горючі. Негорючі будівельні матеріали за іншими показниками пожежної небезпеки не класифікують. Таким чином, цементний бетон відноситься до негорючих будівельних матеріалів.

Ступінь вогнестійкості будинку визначається межами вогнестійкості його будівельних конструкцій та межами поширення вогню цими конструкціями [3]. Показником вогнестійкості є межа вогнестійкості конструкції, що визначається часом (у хвилинах) від початку вогневого випробування за стандартним температурним режимом до настання одного з граничних станів конструкції: втрати несучої здатності, втрати цілісності, втрати теплоізолювальної здатності.

Значення межі вогнестійкості будівельних конструкцій визначають шляхом випробувань за [4], та стандартами на методи випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій конкретних видів або за розрахунковими методами відповідно до стандартів і методик.

Граничним станом за ознакою втрати несучої здатності є обвалення конструкцій або виникнення відповідних граничних деформацій.

Граничним станом за ознакою втрати цілісності є стан, за якого виконується одна з таких умов: загорання або тління зі свіченням ватного тампона, що піднесений до необігріваної поверхні зразка в місцях тріщин на відстань від 20 до 30 мм протягом проміжку часу від 10 до 30 с; виникнення тріщини, через яку можна вільно (без додаткових зусиль) ввести в піч щуп діаметром 6 мм і перемістити його вздовж цієї тріщини на відстань не менше 150 мм; виникнення тріщини (або отвору), через яку можна вільно ввести в піч щуп діаметром 25 мм; полум'я на необігріваній поверхні зразка спостерігається протягом проміжку не менше ніж 10 с.

Граничним станом за ознакою втрати теплоізолювальної здатності є перевищення середньої температури на необігріваній поверхні зразка над початковою середньою температурою цієї поверхні на 140°C або перевищення температури в довільній точці необігріваної поверхні зразка над початковою температурою в цій точці на 180°C.

Показником здатності будівельної конструкції поширювати вогонь є межа поширення вогню (M). За межею поширення вогню будівельні конструкції підрозділяють на три групи: M0 (межа поширення вогню дорівнює 0 см), M1 ($M \leq 25$ см – для горизонтальних конструкцій; $M \leq 40$ см – для вертикальних конструкцій), M2 ($M > 25$ см – для горизонтальних конструкцій; $M > 40$ см – для вертикальних конструкцій). За межею поширення вогню бетонні конструкції відносяться до групи M0.

Залежно від конструктивного виконання бетонні конструкції можуть виготовлятися з найвищими показниками вогнестійкості та застосовуються в будинках I-III ступеня вогнестійкості [3].

Властивості бетонних будівельних конструкцій щодо показників вогнестійкості закладаються на стадії виробництва. Але після впливу на них високих температур, і в разі визнання будівлі придатною до подальшої експлуатації, за діючими методиками не існує як нормативних вимог, так і можливості для повторного визначення показників вогнестійкості конструкцій.

В діючі державні будівельні норми для визначення межі вогнестійкості включені три граничних стани конструкції щодо вогнестійкості, які об'єднують першу та третю умову пожежної стійкості. Друга умова пожежної стійкості – бути придатними до повторної нормальної експлуатації після ремонту, в державні будівельні норми не включена.

Різноманітні чинники можуть змінити робочу схему споруди, викликати додаткові навантаження, що може супроводжуватись додатковим збільшенням концентрації напружень в елементах, появою та ростом тріщин. Для запобігання аварійного стану конструкцій в таких

випадках потрібна надійна методика оцінки придатності конструкцій до подальшої експлуатації.

Для вирішення цього завдання необхідно перейти від концепції руйнування бетону за міцністю до концепції руйнування за довговічністю, яка враховує інваріантні константи бетону: енергію руйнування та критичні коефіцієнти інтенсивності напружень. За цими параметрами можна оцінити кінетику розвитку тріщин під час силових і несилових впливів до критичного рівня, тобто визначити довговічність бетону [5].

Методи механіки руйнування все частіше використовуються для дослідження процесу руйнування бетону. Так, в роботі [6] представлені результати досліджень руйнування бетону від дії на нього сульфатно-хлоридних розчинів за повністю рівноважними діаграмами деформування, які, на думку авторів, найбільш точно відображають вплив агресивних розчинів на характер деформування і руйнування бетону.

У розрахунках за граничним станом міцності бетонний елемент розглядають під час його роботи в двох станах: початковому та зруйнованому. Руйнуванням бетонного елемента вважають момент, коли він сприймає навантаження рівне максимальній несучій здатності. Проте повне руйнування на фрагменти може відбуватися за навантаження набагато меншого від максимального, внаслідок досягнення тріщинами своїх критичних значень, адже відомо, що процес руйнування бетону відбувається внаслідок зародження та поширення тріщин. Тому недостатньо розглядати тільки два стани бетонної конструкції, генерація тріщин відбувається в часі і цей процес можна охарактеризувати як деградацію бетону, що закінчується його руйнуванням, коли відбувається лавиноподібне нестійке збільшення параметрів мікротріщин на критичній стадії деформування.

В роботі [7] значна увага приділена оцінці залишкового ресурсу елементів залізобетонних та бетонних конструкцій на основі критеріїв механіки руйнування, описано методiku визначення залишкової довговічності з врахуванням повзучості бетону та його усадки. Для визначення й оцінки довговічності бетону рекомендується прийняти деформаційний критерій – критичне розкриття тріщини (δ_{1c}). Використовуючи зігнуті зразки і аналогію деформування бетону у вершині тріщини з її розкриттям, можна визначити критичне розкриття в часі $\delta_{1c}(t)$.

В роботі [8] відзначається важлива роль технологічних, експлуатаційних тріщин та внутрішніх поверхонь розподілу на експлуатаційні властивості композиційних будівельних матеріалів, якими є і цементні бетони. Тріщини та внутрішні поверхні розподілу відносяться до активних елементів структури матеріалу конструкції [9], які першими реагують на вплив природних та техногенних чинників.

На сьогодні існують методики розрахунку бетонних та залізобетонних конструкцій, які використовують характеристики тріщиностійкості бетонів, отримані методами механіки руйнування. Це, переважно, критичні коефіцієнти інтенсивності напружень. На даний час не існує нормування показників тріщиностійкості бетону залежно від його міцності, прогнозованого терміну експлуатації конструкції і рівня надійності, прийнятого при розрахунку.

Наприклад, автори [10] стверджують, що міцність бетону не має бути параметром для розрахунку характеристик тріщиностійкості, кожному класу бетону за міцністю повинно відповідати щонайменше три класи за в'язкістю руйнування: висока, середня і низька тріщиностійкості. Інтегральний показник, який поєднує міцність і тріщиностійкість бетону, і має бути характеристикою якості бетону.

Результатами досліджень [5] встановлено, що відносна тріщиностійкість бетонів зменшується зі зростанням його міцності на стиск за залежністю, яка може бути апроксимована як лінійна. Як критерій тріщиностійкості пропонується взяти відношення в'язкості руйнування бетону до його міцності на стиск. Запропоновано чотири категорії якісного оцінювання тріщиностійкості бетонів для включення в нормативні документи при впровадженні розра-

хунку складів бетону для конструкцій певного призначення: висока, підвищена, середня, низька.

На даний час не проводились дослідження тріщиностійкості цементних бетонів, які зазнали впливу високих температур, для визначення силових і енергетичних характеристик відповідно до методів, визначених в [11]. Тому плануємо провести дослідження руйнування бетону після дії на нього температур 400°C, 800°C, 1200°C і понад 1200°C, що відповідають різним зонам теплового впливу [2], порівняти силові, енергетичні та міцнісні характеристики зразків до та після дії температури.

Список літератури:

1. Шналь Т.М., Хоржевський В.І., Павлюк Ю.Е., Пархоменко Р.В. Технічна діагностика та подальша експлуатація залізобетонних конструкцій після пожежі // Вісник НУ «Львівська політехніка»: Теорія і практика будівництва. – №144. – Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка». – 2002. – С.184 – 189.
2. Ильин Н.А. Последствия огневого воздействия на железобетонные конструкции. – М., 1979. – 128 с.
3. ДБН В.1.1 -7 - 2002 Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
4. ДСТУ Б В.1.1-4-98 Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги.
5. Солодкий С.Й. Тріщиностійкість бетонів на модифікованих цементах. монографія / Солодкий С.Й. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. – 144 с.
6. Тытюк А.А., Савицкий Н.В., Веселовский Д.Р., Пирадов К.А. Использование методов и принципов механики разрушения для исследования свойств бетонов, подверженных воздействию агрессивных сред // Будівельні конструкції: Зб. наук. праць. - К.: НДІБК, 2005. – Вип. 62. – С. 343 – 350.
7. Лучко Й.Й., Чубріков В.М., Лазар В.Ф. Міцність, тріщиностійкість і довговічність бетонних та залізобетонних конструкцій на засадах механіки руйнування. – Львів: Каменяр, 1999. – 348 с.
8. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости /Соломатов В.И., Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Сиренко А.В. – Киев: Будивельник, 1991. – 144 с.
9. В.Г.Суханов, В.Н.Выровой. Моделирование структуры материала конструкций как открытых самоорганизующихся систем //Материалы к 47-му международному семинару по моделированию и оптимизации композитов “ Компьютерное материаловедение и прогрессивные технологии” (МОК'47). – Одесса: “Астропринт”, 2008. – С.201-202.
10. Зайцев Ю.В., Сахи Д.М., Пирадов К.А. Механика разрушения бетонов различной макроструктуры. – М.: МГОУ, 2002. – 225 с.
11. ГОСТ 291657-91 Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении.

Р.В. Пархоменко, канд. техн. наук, доцент, Р.С. Яковчук (Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности)

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, КОТОРЫЕ ИСПЫТАЛИ ВЛИЯНИЕ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

В статье рассмотрены требования нормативных документов к строительным конструкциям относительно защиты от пожаров, существующие критерии и методы оценки состояния бетонных конструкций после пожара.

Представлены, частично, результаты аналитического обзора научных публикаций последних лет относительно использования методов механики разрушения для исследования процессов зарождения и распространения трещин в бетонных конструкциях до критического уровня, определение оптимальных критериев трещиностойкости для оценки долговечности бетона. Предложено использовать методы механики разрушения для исследования бетонных конструкций после влияния на них высоких температур.

Ключевые слова: трещиностойкость, несущая способность, степень огнестойкости, предел огнестойкости, предельное состояние, хрупкое разрушение, критические коэффициенты интенсивности напряжений, механика разрушения.

R.V. Parkhomenko, Candidate of Science (Engineering), associate professor, R.S. Yakovchuk (Lviv State University of Life Safety)

PROBLEMS OF ESTIMATION OF CONCRETE STRUCTURES DURABILITY OF SUFFERED AFTER HIGH TEMPERATURES

The article deals with the requirements of normative documents for building structures of fire protectiveness, existing criterion and methods of estimation of concrete structures after fire. The results of analytic examination of scientific publishing of recent years of using destruction methods for research of the formation processes, determination of optimum criterion and crack resistance for estimation of concrete durability are presented partly. It was suggested to use methods of destruction mechanics for research of concrete structures after the influence of high temperatures.

Key words: crack resistance, capacity, degree of fire resistance, limit of fire resistance, limit condition, brittle destruction, critical coefficients of pressure intensity, destruction mechanics