

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

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ПІД ЧАС ПОЖЕЖ

В статті розглядається будівельна конструкція у вигляді відкритої складної динамічної системи. Розкрито значення консервативних, метастабільних та активних елементів структури матеріалу конструкції та їх роль в забезпеченні безпеки системи. Запропоновано модель конструкції як відкритої системи, основними складовими якої є активні елементи структури. Дано характеристику зовнішньої і внутрішньої безпеки системи. Проаналізовано вплив тріщин на зміну структури матеріалу, їх значення та роль в забезпеченні вогнестійкості конструкцій. Представлена частина результатів експериментальних досліджень щодо впливу підвищених температур на зміну міцності при стиску бетонів і їх тріщиностійкості.

Ключові слова: вогнестійкість, відкрита динамічна система, зовнішня і внутрішня безпека, тріщина, тріщиностійкість, коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН).

Однією із загроз безпечного функціонування населених пунктів, будівельних комплексів та окремих будинків і споруд є пожежі. Під пожежею розуміють неконтрольований процес горіння, що супроводжується знищенням матеріальних цінностей і становить небезпеку для життя людей. В результаті пожеж, виникнення яких провокують природні катаклізми, збройні сутички і терористичні акти, порушення правил протипожежної безпеки на виробництві та в побуті, щорічно в світі знищуються сотні тисяч будівель і споруд, гинуть десятки тисяч людей. У нашій країні щороку пожежі знищують і пошкоджують понад 20 тисяч будівель різного призначення, що супроводжується значною кількістю людських жертв і завдає непоправних матеріальних збитків. У зв'язку з цим залишаються актуальними завдання підвищення пожежної безпеки, згідно з прийнятими нормативними документами (ДБН В. 1.2-7-2008).

Важливою характеристикою забезпечення протипожежного захисту є вогнестійкість, під якою розуміють здатність конструкцій і будівель протистояти впливу пожеж. Вогнестійкість оцінюють за тривалістю дії відкритого полум'я до появи наскрізних тріщин або отворів, а також за тривалістю підвищення температури на не обігріваній поверхні понад 180° С. При цьому визначено [1] три альтернативних методи розрахунку вогнестійкості, що увійшли до національних стандартів:

- аналіз окремих конструкцій;
- аналіз частини конструктивної системи;
- загальний аналіз конструктивної системи.

Метою статті є дослідження впливу тріщин на вогнестійкість матеріалу в умовах дії підвищених температур.

У роботах [2, 3] будівельна конструкція розглядається як відкрита складна динамічна система. Це ґрунтується на тому, що: будівельна конструкція є цілісною; вона складається з визначених підсистем, які перебувають в певних відношеннях і зв'язках між собою; будівельна конструкція чітко зорієнтована для виконання певних функцій, які в неї закладені; властивості конструкції не зводяться до властивостей її складових. Розуміння конструкції як відкритої системи передбачає, що її окремі структурні складові для забезпечення безпечної експлуатації мають проявляти механізми самоорганізації як на рівні окремих структурних елементів та їх груп, які утворюють підсистеми різних рівнів структурних неоднорідностей, так і на рівні всієї системи. Елементи структури матеріалу конструкції, за їх здатністю змінювати свої параметри під дією зовнішніх або внутрішніх факторів, класифікуються на консервативні, метастабільні та активні. До консервативних елементів структури системи, які практично не змінюють свою структуру і властивості впродовж усього періоду експлуатації, відносяться великі та дрібні хи-

мічно інертні заповнювачі, їх розподіл, кількісний і фракційний склади, армуючі елементи в разі відсутності ознак їх деградації та корозії, габаритні розміри конструкції. До метастабільних елементів структури системи, які частково змінюють свої структурні параметри, відносять поровий простір, з врахуванням розподілу пор і капілярів за розмірами, кількісний і якісний склад продуктів новоутворень, кількість і лужність порової рідини тощо. До активних елементів структури системи, які змінюють свої структурні параметри практично одночасно з дією зовнішніх факторів, відносять технологічні та експлуатаційні тріщини на всіх рівнях системи, внутрішні поверхні розподілу між окремими структурами та компонентами на всіх масштабних рівнях, локальні та інтегральні залишкові деформації і напруження. Сукупність консервативних, метастабільних та активних структурних елементів дає змогу запропонувати модель структури конструкції як відкритої системи. Пропонується модель конструкції, як відкритої системи, основними складовими якої є активні елементи структури (рис.1).

Запропонована модель конструкції як складної відкритої динамічної системи призначена для аналізу можливих структурних переорганізацій в разі впливу на систему внутрішніх і зовнішніх факторів. Із системи виділені тільки активні елементи, які в першу чергу здатні реагувати на будь – які зміни умов, в яких знаходиться система. Оскільки активні елементи працюють в одному темпоритмі з часом впливу на систему різних факторів, тому не виключаються ситуації коли через зміну їх власних параметрів енергія впливу буде гаситися та локалізуватися. Це дасть запас часу для того щоб в роботу включилися метастабільні та активні елементи, які будуть сприяти внутрішній безпеці системи. Це передбачає, що при будь-яких зовнішніх впливах, включаючи високотемпературні, відбувається структурна перебудова, що призводить до зміни безпечного функціонування конструкції.

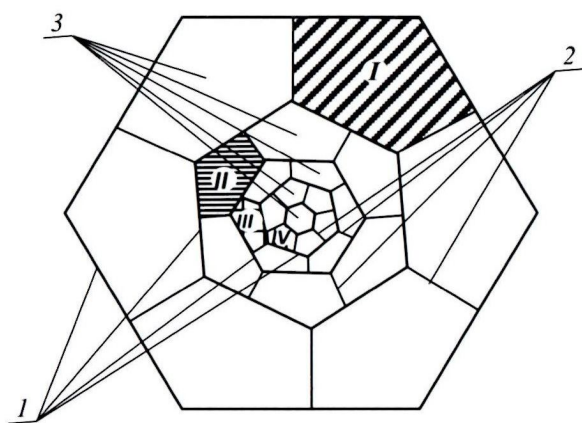


Рис. 1. Модель структури конструкції як відкритої динамічної системи:

1 – технологічні тріщини в різних підсистемах і в системі в цілому; 2- внутрішні поверхні розподілу на рівні підсистем і системи; 3 – структурні блоки в окремих підсистемах і в самій системі; I – система; II – підсистема, яка представлена бетоном; III – підсистема, яка представлена цементним каменем; IV – підсистема, яка представлена продуктами новоутворення

Фахівці [4, 5] розрізняють зовнішню і внутрішню безпеку функціональної системи. Внутрішня безпека характеризує здатність системи зберігати свою цілісність і властивості в заданих межах в умовах впливу зовнішніх і внутрішніх факторів і визначається показниками гомеостазу системи. Гомеостаз системи передбачає її стійкість (життєздатність та живучість) в разі дії на неї зовнішніх і внутрішніх факторів. В свою чергу, стійкість системи можна розглядати як її здатність самостійно підтримувати свій гомеостаз шляхом самовільної зміни структурних параметрів (самоорганізації). Під зовнішньою безпекою розуміють здатність системи при її взаємодії зі своїм оточенням не викликати зміну основних параметрів, що характеризують стан оточення. При аналізі зовнішньої безпеки слід враховувати дуалізм конс-

трукції як об'єкта досліджень. З одного боку вона є елементом (підсистемою) більш складної системи, а з іншого - конструкція сама може виступати в ролі динамічної системи. Тому можна припустити, що зовнішня безпека багато в чому визначається параметрами гомеостазу системи, відповідальними за внутрішню безпеку. Структурні зміни матеріалу, які виникають в результаті зовнішніх впливів на конструкцію, можуть досягти меж, які призведуть до зміни його властивостей, а отже, зміни властивостей конструкції та зміни умов її взаємодії з оточенням. Як зазначається в [1], порушення встановленого режиму взаємодії між сусідніми конструкціями в результаті дії пожежі може призвести до зниження вогнестійкості. Це передбачає, що порушення зовнішньої безпеки окремої конструкції може викликати зміну рівноважного стану як окремої частини, так і всієї конструктивної системи. Тому в якості самостійного об'єкта аналізу та дослідження прийнята будівельна конструкція, яка розглядається як певна цілісність, що включає в себе власне конструкцію і матеріал, з якого вона виготовлена. Оскільки структура матеріалу є невід'ємною частиною інтегральної структури конструкції, то аналізувати зміну властивостей конструкції в умовах зовнішніх впливів без урахування структурних змін матеріалу є малоперспективним.

Проведений аналіз пожеж різної складності показав, що в більшості випадків вони відбуваються за схемою «розвитку із загостренням» [6], що свідчить про дію на матеріал високих температур в коротких часових інтервалах. Виникаючий «тепловий удар» призводить до різкої та неоднорідної зміни температури матеріалу. Температурні деформації сприймають консервативні, метастабільні і активні елементи структури матеріалу [5]. У разі впливу на систему підвищених температур всі елементи структури слід вважати активними. Виникаючі інтегральні неоднорідні температурні деформації ведуть до зниження зовнішньої безпеки системи на фоні зміни внутрішньої безпеки, що викликає спонтанні структурні трансформації конструкції як складної системи. При цьому особливий внесок у зміну структури матеріалу вносять активні елементи - тріщини, які є невід'ємною складовою кожного рівня структурної неоднорідності матеріалу. Тріщини можуть виконувати і стабілізуючу («тріщини-творці»), і руйнівну («тріщини-руйнівники») роль в структурному перетворенні матеріалу конструкції.

«Тріщини-творці» – це тріщини, які самозародилися на різних рівнях структурних неоднорідностей в період становлення матеріалу. Змінюючи свої параметри вони здатні стабілізувати метаморфози структури на своєму рівні неоднорідностей, задіяти метастабільні елементи, перетворюватись у внутрішні поверхні розподілу, що сприяє релаксації деформацій і напружень, сприймати і перерозподіляти на своїх берегах об'ємні деформації тощо. До таких тріщин відносяться технологічні тріщини, які природним шляхом перетворюються на тріщини експлуатації. Таким чином, «тріщини-творці» впливають на локальні структурні зміни матеріалу спрямовані на збереження його властивостей в разі дії на конструкцію усіх нормованих і ненормованих навантажень.

За визначенням, руйнування – це розділення матеріалу на дві і більше частини берегами тріщин в разі дії на матеріал зовнішніх навантажень. Таким чином, руйнування є кінцевим результатом розвитку тріщин в матеріалі. Тому «тріщини-руйнівники» – це тріщини, які здатні розділити своїми берегами матеріал зразків, конструкцій, будівель та споруд на окремі частини. Такі тріщини, як правило, не виникають відразу, за винятком катастрофічних ситуацій. Вони повинні пройти певні етапи розвитку: зародження, підростання, зростання до магістральної або руйнівної тріщини з подальшим виходом фронту тріщини на поверхню об'єкта, що руйнується.

Можна зробити висновок, що на фоні загальної активності всіх структурних складових, тріщини в матеріалі відіграють особливу роль в забезпеченні вогнестійкості конструкцій. Розвиток різновеликих температурних деформацій окремих складових і всього конструктивного елементу (консервативні елементи структури) пов'язаний з теплопровідністю матеріалу, і розвиваються ці деформації порівняно повільно. Досить повільно протікають фізико-хімічні процеси дегідратації цементного каменю при підвищених температурах, що позначається на зміні міцності бетону. Існуючі тріщини адекватно в одному темпоритмі реагують на зовнішні впливи, що виводить їх з рівноваги і призводить до підростання і перетворення в тріщини руйнування (магістральні тріщини). Для підтвердження цього були проведені експериментальні дослідження впливу підвищених температур на зміну міцності при стиску бе-

тонів і їх тріщиностійкості, яка оцінювалася за зміною величини коефіцієнта інтенсивності напружень K_{1c} при температурах 20, 200, 400, 600 і 800° С.

Експериментальні результати показали, що при підвищенні температури до 400° С міцність на стиск зразків практично не змінилася при зменшенні K_{1c} до 16 %. Прогрів зразків до 600° С викликав зниження міцності у 2,5 рази при зниженні K_{1c} в 12 разів. Подальше підвищення температури зразків до 800° С призвело до зниження міцності на стиск в 5,5 раза і зниження тріщиностійкості в 72 рази. Аналіз експериментальних результатів підтвердив висунуте припущення про активний вплив тріщин на стійкість матеріалу в умовах дії підвищених температур і, тим самим, на вогнестійкість конструкцій.

Висновок. Проведений аналіз показав, що вогнестійкість окремих конструкцій, частини конструктивної системи та самої конструктивної системи значною мірою залежить від зовнішньої і внутрішньої безпеки конструкції як складної відкритої динамічної системи. При загальній активності всієї сукупності структурних елементів системи найбільш чутливими до температурних впливів є тріщини як самостійні структурні складові складноорганізованих матеріалів. Спрямована зміна початкової пошкодженості матеріалу дасть змогу підвищити внутрішню та зовнішню безпеку конструкції в умовах дії підвищених температур.

Список літератури:

1. **Фомин Л.С.** Огнестойкость монолитных железобетонных каркасных зданий повышенной этажности // Л.С. Фомин, П.А. Резник, Весник ДНАСА, выпуск 2011 – 4(90). – Макеевка: ДНАСА, 2011. – С.113-120.
2. **Выровой В.Н.** Системный подход при анализе структуры строительных конструкций // В. Н. Выровой, В. С. Дорофеев, В.Г. Суханов. Сб. «Ресурсоэкономные материалы, конструкции, здания и сооружения», выпуск 16, часть 1. – Ровно: НУВХП, 2008. – С.113-139.
3. **Выровой В.Н.** Композиционные строительные материалы и конструкции. Структура, самоорганизация, свойства // В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, В.Г. Суханов. – Одесса: «ТЕС», 2010. – 167 с.
4. **Прангишвили И.В.** Системный подход и общесистемные закономерности. – М.: СИНТЕГ, 2000. – 528 с.
5. **Могилевский В. Д.** Методология систем: Вербальный подход. – М.: Экономика, 1999. – 251 с.
6. **Князева Е.Н.** Законы эволюции и самоорганизации сложных систем // Е.Н. Князева, С.П. Курдюмов. – М.: Наука. 1994. – 236 с.

Р. В. Пархоменко

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ВО ВРЕМЯ ПОЖАРОВ

В статье рассматривается строительная конструкция в виде открытой сложной динамической системы. Раскрыто значение консервативных, метастабильных и активных элементов структуры материала конструкции и их роль в обеспечении безопасности системы. Предложенная модель конструкции как открытой системы, основными составляющими которой являются активные элементы структуры. Дана характеристика внешней и внутренней безопасности системы. Проанализировано влияние трещин на изменение структуры материала, их значение и роль в обеспечении огнестойкости конструкций. Представлена часть результатов экспериментальных исследований влияния повышенных температур на изменение прочности при сжатии бетонов и их трещиностойкости.

Ключевые слова: огнестойкость, открытая динамическая система, внешняя и внутренняя безопасность, трещина, трещиностойкость, коэффициент интенсивности напряжений (КИН).

SYSTEM ANALYSIS OF STRUCTURES FUNCTIONING DURING FIRES

The article deals with building construction as an open complex dynamic system. The value of conservative, metastable and active elements of the construction material structure and their role in providing the security of the system are disclosed. The model structure as an open system, the main components of which are the active elements of the structure, is suggested. The characteristic of the external and internal safety of the system is given. The effect of cracks on the change of material structure, their importance and role in providing fire resistance of structures are analyzed. Some of the results of experimental studies of the effect of elevated temperatures on change of compressive strength of concrete and crack resistance are presented.

Key words: fire resistance, open dynamic system, external and internal safety, crack, crack resistance, stress intensity coefficient (SIC).

