

УДК 691.32/34

**РОЛЬ АКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТРУКТУРИ В ЖИТТЄВОМУ ЦИКЛІ  
БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

Доктори техн. наук В. М. Вировой, О. О. Коробко, канд. техн. наук Ю. О. Закорчемний,  
асп. Н. Ф. Уразманова

**ROLE OF ACTIVE STRUCTURAL ELEMENTS IN LIFE CYCLE OF BUILDING  
CONSTRUCTIONS**

D. Sc. (Tech.) V. Vyrovoy, D. Sc. (Tech.) O. Korobko, PhD (Tech.) Yu. Zakorchemny,  
postgraduate student N. Urazmanova

---

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.186.2019.186355>

---

*Поведінка будівельних виробів і конструкцій протягом усього життєвого циклу та безпека їх функціонування визначаються структурними змінами, що залежать від динаміки взаємодії та саморозвитку активних елементів, до яких відносять тріщини, внутрішні поверхні розділу та залишкові деформації. Активні елементи здатні забезпечувати стабілізацію властивостей через структуроутворюючий вплив на матеріал і запобігати процесам руйнування.*

**Ключові слова:** *конструкція-система, структуроутворюючі тріщини, тріщини руйнування, життєвий цикл, структурні зміни, активні елементи.*

*During the life cycle of building constructions, a complex of interconnected and interdependent processes and stages of structural changes are implemented that ensure the safety of their functioning. The structural elements that determines through their existence in the structure of any composite, the conditions of the life history of the construction-system are cracks, inner*

*surfaces of partition and residual deformations. The selected elements belong to the conditionally "invisible" parts of the material structure. Cracks, internal interfaces and residual deformations can be distinguished as active structural elements, as they are able to react to any influences in the same tempo-rhythm, predeterminations the timely manifestation of structural adaptation (self-organization). This ensures external and internal safety of constructions during operation. However, cracks, inner surfaces of partition and deformities can shorten the life history of the construction, taking it to the path of degradation and death. Thus, cracks, inner surfaces of partition and deformations perform both a structural and destructive role in the life cycle of a construction. Therefore, an important task should be considered an analysis of the role of active elements in the life cycle of building constructions. The carried out analysis contributes to solving the problems related to improvement of safety of structures and products functioning due to directed "guidance" of active elements in the form of cracks and internal interfaces with mandatory consideration of the influence of residual deformations. To quantify the change of total length of cracks and inner surfaces of partition can be through the coefficients of damage  $K_d$  and  $K_{d1}$ . Increasing structural diversity of concrete and expanded clay concrete contributes to the organization of structures in which the distribution of initial cracks prevents them from growing to dimensions dangerous to the structure.*

**Keywords:** *construction-system, structure-forming cracks, cracks-destroyers, life cycle, structural changes, active elements.*

**Вступ.** До життєвого циклу будівельних конструкцій відносять період часу існування конструкції як певної системної цілісності з моменту виготовлення та виконання нею проектних функцій до виведення з режиму експлуатації [1]. Це означає, що протягом усього зазначеного періоду реалізується сукупність взаємопов'язаних і взаємообумовлених процесів і стадій структурних змін, які забезпечують безпеку функціонування конструкцій. Історія «життя» конструкції формується під впливом особистих історій окремих елементів структури. До елементів структури, які самим існуванням у структурі будь-якого композита визначають умови життєвої історії конструкції-системи, справедливо віднесені тріщини і внутрішні поверхні розділу (ВПР), а також локальні та інтегральні залишкові деформації. До ВПР належать несущільності матеріалу, які утворюються при розвитку тріщин у момент виходу на поверхню берегів інших тріщин або поверхонь розділу. ВПР виникають на всіх рівнях неоднорідностей структури композитів [2]. Виділені елементи, здатні реагувати на зовнішні та внутрішні впливи

в одному з ними темпоритмі, зумовлюють своєчасне протікання процесів і явищ самоорганізації структури. Цим забезпечується зовнішня та внутрішня безпека роботи конструкцій у період експлуатації. Під безпекою функціонування слід розуміти здатність матеріалу при взаємодії зі своїм оточенням не викликати зміни основних параметрів, що характеризують стан цього оточення, а також здатність виробу зберігати свою цілісність та основні властивості в умовах дії зовнішніх і внутрішніх факторів. Проте тріщини, внутрішні поверхні розділу та деформації можуть скоротити історію «життя» конструкції-системи, виводячи її на шлях деградації та гибелі. Таким чином, тріщини, ВПР і деформаційні явища виконують як структуроутворюючу, так і руйнівну роль у життєвому циклі конструкції, що дозволяє розглядати їх як активні елементи структури. У зв'язку з цим постає питання з визначення функцій кожного виду активних елементів і аналізу їх взаємовпливу на відповідні зміни структури та умови руйнування конструкції.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** На сьогодні у сучасному матеріалознавстві існують загальноприйняті методи кількісного оцінювання в'язкості руйнування матеріалу за допомогою визначення коефіцієнтів концентрації напружень. Розроблено заходи з підвищення тріщиностійкості композиційних матеріалів і використання критичних коефіцієнтів інтенсивності напружень при оцінюванні довговічності матеріалів і розрахунках конструкцій. Наведені дані свідчать про те, що тріщина є основним фактором, який визначає руйнування матеріалів і конструкцій з них.

Появу тріщин слід розглядати як об'єктивний процес, що реалізується на різних масштабних рівнях поліструктурних матеріалів. Причинами виникнення та розвитку тріщин спеціалісти вважають власні об'ємні деформації матеріалу в цілому та його окремих складових, градієнти температурних і вологісних деформацій, стискальні деформаційні ефекти, корозійні та осмотичні явища [3–7]. Разом з тим тріщини, внутрішні поверхні розділу і поля залишкових деформацій, які присутні в матеріалі до експлуатації, мають статус умовно невидимих елементів, хоча їх об'єктивне існування підтверджується практично всіма експериментальними дослідженнями. Але при поясненні та інтерпретації отриманих результатів присутність активних елементів у структурі композитів, як правило, ігнорується. Стійкість будь-яких складноорганізованих систем, до яких належать будівельні конструкції та вироби, у першу чергу визначається елементами структури з непередбачуваною поведінкою при взаємодії зі своїм оточенням. Механізми зародження та росту тріщин у гетерогенних грубодисперсних матеріалах майже не вивчаються. Хоча саме гетерогенність матеріалів типу бетонів і цементного каменю створює умови для виникнення поверхонь розділу з подальшою їх трансформацією в тріщини на різних рівнях

структури. Відомо, що стійкість матеріалу в умовах поперемінних впливів визначається поступовим накопиченням пошкоджень в об'ємі структурних неоднорідностей. Тому слід виявити фактори, що сприяють локалізації росту тріщин в окремих підструктурах, запобігаючи їх злиттю в магістральну тріщину.

**Визначення мети та завдань досліджень.** Руйнування зразків, виробів і конструкцій пов'язано з незворотним ростом тріщини, яка ділить об'єкт на окремі частини. Спеціалісти відмічають певні етапи «життя» тріщини – від моменту її зародження та підростання до перетворення в магістральну з виходом фронту тріщини на поверхню виробу чи конструкції. Для аналізу слід розглянути повний цикл існування конструкції, включаючи активну фазу її функціонування як відкритої складної динамічної системи. Виходячи з цього була поставлена мета роботи – підвищити безпеку функціонування будівельних виробів за рахунок певного підбору кількісного та якісного складів активних елементів структури бетону, до яких віднесені тріщини і ВІР, шляхом направленої зміни умов взаємодії твердіючого матричного матеріалу та заповнювачів. Для досягнення мети роботи були визначені такі завдання: проаналізувати роль активних елементів, особливо тріщин, у життєвому циклі будівельних конструкцій; вивчити умови переходу тріщин, що виконують структуроутворюючі функції, у тріщини, які спричиняють руйнування матеріалів і конструкцій.

**Матеріали та методи досліджень.** Експериментальні дослідження проводили на стандартних зразках-кубах, виготовлених з бетонних сумішей на гранітному щебені та керамзитовому гравії, що мали різний стан поверхні. Разом з традиційними складами важкого та легкого бетонів використовували склади, які містили природні заповнювачі та заповнювачі, що були апретовані гідрофобізатором ГКР-11.

Це дозволило забезпечити такі співвідношення адгезійно-когезійних сил зв'язку на границі розділу між цементною складовою та поверхнею заповнювачів:  $R_A > R_K$ ;  $R_A < R_K$ ;  $R_A = R_K$ , де  $R_A$  – величина адгезії матричного матеріалу до поверхні заповнювача,  $R_K$  – величина когезійної міцності цементної матриці. При постійній рухливості бетонної суміші були одержані бетон і керамзитобетон різних класів, що відрізнялися за показниками фізико-технічних властивостей, зокрема параметрами початкової пошкодженості.

Пошкодженість зразків, виробів, конструкцій поверхневими тріщинами і внутрішніми поверхнями розділу опосередковано відображує характер об'ємного тріщиноутворення [2]. «Рисунок» тріщин на поверхні об'єкта повторює «рисунок» тріщин всередині об'єкта, що дає змогу оцінити протяжність берегів тріщин в об'ємі матеріалу. Пошкодженість цементної складової оцінювали через коефіцієнт пошкодженості  $K_p$  як співвідношення  $K_p = \sum L_i / S$ , см/см<sup>2</sup>, де  $\sum L_i$  – сумарна протяжність технологічних тріщин і внутрішніх поверхонь розділу на виділеній поверхні зразка, см;  $S$  – фіксована площа поверхні зразка, см<sup>2</sup>; як співвідношення  $K_{p1} = \sum L_i / L_i$ , де  $\sum L_i$  – сумарна протяжність берегів окремих тріщин і внутрішніх поверхонь розділу (фактична довжина тріщини руйнування), см, вздовж геодезичної лінії  $L_i$ , см (найкоротша відстань між точками виходу фактичної тріщини руйнування на торцеві поверхні зразка).

**Основна частина досліджень.** Зміни рівня властивостей будівельних матеріалів і конструкцій пов'язані, як правило, з впливом умовно «невидимих» елементів структури, якими є технологічні (початкові, спадкові) тріщини та внутрішні поверхні розділу, а також технологічні (залишкові, початкові, спадкові) деформації. Вид активних елементів визначає їхню роль у поведінці матеріалів і виробів і характер реакцій на впливи.

Технологічні тріщини, які після прикладення навантажень переходять у ранг експлуатаційних тріщин, реалізують перманентні структурні зміни та визначають темпи їх прояву. Повсюдність тріщин у матеріалі порушує його суцільність, що ускладнює, а в багатьох випадках робить неможливим оцінювання властивостей за середніми значеннями. Тріщини, які є невід'ємним елементом процесу самоорганізації структури (тріщини-структурутворювачі), шляхом зміни власних параметрів сприяють самозбереженню цілісності конструкцій, що реалізується як прояв адаптаційної самоорганізації. Спонтанно розвиваючись у локальних зонах матеріалу, тріщини стають домінуючими елементами, які, розвиваючись, ведуть до руйнування виробу, переходячи з рангу «невидимих» у реально існуючі елементи. Наявність тріщин визначає внутрішні процеси тепло-масоперенесення, локальні та загальні деформації матеріалу, внутрішню та зовнішню безпеку конструкцій і т. п.

Внутрішні поверхні розділу разом з тріщинами є «невидимими» при прийнятих методах визначення властивостей матеріалів і виробів. Активність ВПР проявляється при перерозподілі зусиль і деформацій у матеріалі, релаксації деформацій, розсіюванні частини надлишкової енергії, направлених процесах масоперенесення та передачі теплової енергії за рахунок прояву поверхневих ефектів. Внутрішні поверхні розділу є своєрідним бар'єром на шляху руху тріщин. Перманентна взаємна трансформація тріщин у ВПР та ВПР у тріщини дозволяє припустити перманентну взаємодію різних за видом активних елементів, наслідки реалізації якої значною мірою визначають період активного функціонування конструкцій.

Для прогнозування стійкості будівельних композитів особливе значення мають залишкові деформації, які за аналогією з іншими активними елементами

є «невидимими» при існуючих методах оцінювання властивостей будівельних матеріалів і виробів. Сам факт існування технологічних деформацій повністю змінює якісну картину розрахункових схем будівельних виробів, що веде до зміни кількісних значень розподілу деформацій у виробках під напруженням. Спадкові деформації, розподіл яких залежить від геометричних параметрів конструкцій, визначають траєкторію розвитку тріщин, що впливає на умови фрагменталізації матеріалу конструкцій. Залишкові деформації ведуть до флуктуації густини матеріалу, що неминуче викликає зміну фізичних, міцнісних і деформаційних характеристик матеріалу одного й того самого складу в конструкціях. Слід відзначити особливу роль технологічних деформацій при формуванні теплових потоків у матеріалі конструкцій і виробів. Деформації визначають характер передачі теплової енергії та провокують тим самим розвиток локалізованих термічних деформацій. Останні ініціюють прояв місцевих деформацій зсуву та формування «струмочкового» механізму передачі тепла, створюючи умови збільшення ступеня структурного різноманіття конструкцій і виробів. Це ускладнює використання прийнятих коефіцієнтів теплопровідності при призначенні раціональних складів теплозахисних матеріалів. Крім того, поля початкових деформацій здатні змінюватися в результаті розвитку тріщин, що у свою чергу може підвищувати або знижувати безпеку функціонування виробів. Це пов'язано з тим, що залишкові деформації (стиску, розтягу, зсуву) залежно від характеру розподілу та виду здатні посилювати або знижувати здатність матеріалу конструкцій пристосовуватися до впливів різного виду.

Багатогранність і поліфункціональність активних елементів, особливо тріщин-структуроутворювачів, зумовлює їхній визначальний вплив на поведінку будівельних композитів в експлуатаційних

умовах. Це дає підставу стверджувати, що визначення базових елементів структури дозволяє призначати раціональні рецептурно-технологічні способи отримання конструкцій і виробів з бажаним набором активних елементів.

Тріщини при завершенні своєї структуроутворюючої ролі переходять у ранг тріщин руйнування. Тріщини руйнування (магістральні тріщини) можна розглядати як відкриті системи, що самоорганізуються. Мета існування такої системи полягає в проходженні повного життєвого циклу – від моменту перетворення тріщини-структуроутворювача в тріщину-систему через період функціонування тріщини-системи до завершення життєвого циклу при виході фронту тріщини на поверхню виробу. При утворенні тріщини-системи історія функціонування конструкції зводиться до історії росту магістральної тріщини. Поява тріщини-системи веде до зниження структурного різноманіття конструкції, внаслідок того, що процеси, які протікають в інших її підсистемах, стають неістотними. Для тріщини-системи навколишнім середовищем є базова конструкція-система. Тому тріщина руйнування замикає на себе всі зовнішні та внутрішні впливи, які діють на конструкцію, тим самим переорієнтуючи цільові функції базової системи на себе. Така система існує у власному темпоритмі, через самоорганізацію розвивається та завершує свій життєвий цикл, що веде до гибелі конструкції-системи.

Проведений аналіз дозволяє заключити, що поведінка будівельних конструкцій і виробів в умовах експлуатації значною мірою визначається безперервними структурними змінами, які залежать від динаміки взаємодії та саморозвитку активних елементів, до яких відносять технологічні та експлуатаційні тріщини, внутрішні поверхні розділу та залишкові деформації. Безпечне функціонування конструкції-системи багато в чому залежить від запобігання

переходу тріщин-структуроутворювачів у тріщину-систему. Вивчення умов такого переходу є важливим практичним завданням, що зумовлює необхідність розгляду повного циклу існування конструкції, особливо фазу її активного

функціонування як відкритої складної динамічної системи.

Конструкція як система проходить певні основні етапи свого «життя», на кожному з яких реалізуються специфічні процеси виникнення та росту тріщин (рисунок).

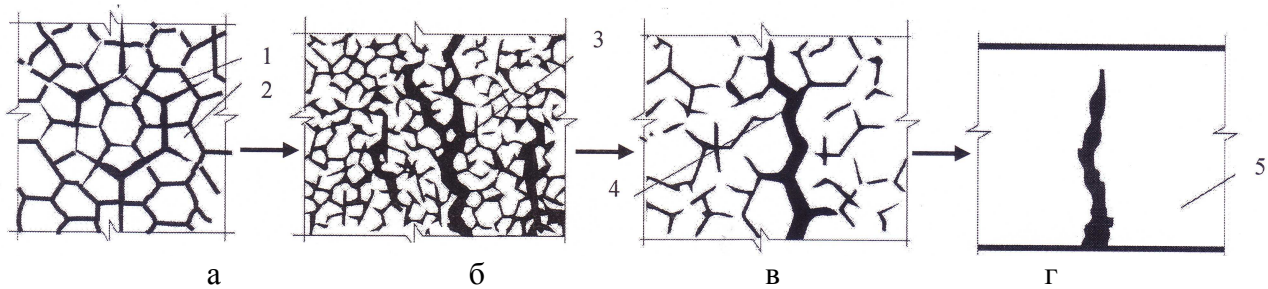


Рис. Схема зниження безпеки функціонування конструкції-системи:  
 а – гранично допустимий розвиток структури; б – критичне накопичення тріщин і ВПР в об’ємі матеріалу конструкції; в – зародження тріщини-системи в результаті злиття активних елементів; г – тріщина-система, що має власний розвиток; 1 – активні елементи структури (тріщини і внутрішні поверхні розділу); 2 – структурні блоки; 3 – тріщини руйнування, що утворилися шляхом об’ємного накопичення активних елементів; 4 – тріщини руйнування, що утворилися за рахунок злиття експлуатаційних тріщин і ВПР; 5 – фрагмент конструкції з тріщиною руйнування, що розвивається

Зародження та розвиток технологічних тріщин у структурі матеріалу відбувається на етапі виникнення і становлення системи. При цьому різні механізми організації структури кожного рівня неоднорідностей ведуть до одного результату – появи технологічних тріщин. Кількість і орієнтування початкових тріщин різних підсистем і всієї системи визначаються вихідним складом та інтенсивністю протікання фізико-хімічних і фізико-механічних явищ і процесів організації структури матеріалів. Початок функціонування системи слід вважати закінченням періоду її становлення. Конструкція вступає в робочий життєвий цикл з певним набором технологічних тріщин на всіх рівнях структурних неоднорідностей.

У період функціонування матеріал конструкції сприймає весь комплекс експлуатаційних навантажень, на який у

першу чергу реагують активні елементи. У цей період проявляються такі властивості тріщин-структуроутворювачів: релаксація деформацій і напружень у матеріалі, що примикає до берегів тріщин (тріщини-релаксатори); утворення нових площ поверхні берегів, що сприяє включенню до роботи метастабільних елементів (тріщини-тригери); трансформація тріщин у внутрішні поверхні розділу та навпаки, що веде до збільшення блочності матеріалу (тріщини-перетворювачі структури); розсіювання надлишкової енергії шляхом утворення нових поверхонь (тріщини-дисипатори).

Слід відзначити, що перераховані властивості мають не окремі тріщини, а кожна тріщина залежно від конкретної ситуації проявляє ту чи іншу властивість. У цьому проявляється структуроутворююча роль тріщини на кожному рівні структурних неоднорідностей і в усій

структурі. Відбувається постійна структурна перебудова, яка сприяє підвищенню різноманіття структури в границях конструкції. При цьому зміна структурного різноманіття з метою збереження потрібних параметрів властивостей має свою межу.

У системі, що функціонує, може виникнути ситуація, при якій тріщини-структуроутворювачі вироджуються в тріщини руйнування, які є провісником зниження параметрів властивостей і початку періоду гібелі конструкції як системи. У такій ситуації один з елементів структури бере на себе функцію системи, у якій він утворився, замикаючи мету створення та існування системи на себе. Такий елемент структури в першу чергу сприймає весь комплекс експлуатаційних навантажень, що сприяє його власному росту. При розмірі, порівняному з розмірами окремих підструктур, елемент-система вже не «відчуває» їхніх структурних особливостей. Це значно знижує структурне різноманіття системи. Процеси, які неминуче протікають в окремих підсистемах, структурних блоках і т. п., для домінуючого елемента структури неістотні. Такий елемент структури, у нашому випадку – тріщина руйнування, сам стає системою, яку можна розглядати як відкриту складну динамічну систему.

Відкритість передбачає, що тріщина своїми елементами здатна сприймати, передавати і перерозподіляти деформації та напруження в навколишньому середовищі – вихідній системі. Складність у даному випадку пов'язана не тільки зі складною структурою самої тріщини, але й з достатньо складною її поведінкою. Будучи сама нестабільною системою, тріщина руйнування, реагуючи на зовнішні впливи, здатна зупинятися, викривляти обриси фронту, вбирати в себе інші тріщини, реагувати на перерозподіл локальних та інтегральних полів залишкових деформацій. Динамічність тріщини як системи полягає в тому, що кожний

наступний її стан визначається попереднім. Новий стан при цьому може відрізнятися від попереднього за багатьма параметрами та показниками. Це передбачає незворотність розвитку динамічної тріщини-системи в процесі досягнення цільової установки. Цільова установка нової системи, що утворилася і для якої вихідна система стає підсистемою, полягає в забезпеченні повного життєвого циклу.

Тріщина як система проходить повний шлях свого «життя» – зародження, активне функціонування та гібель. Гібель тріщини як системи настає тоді, коли зникають головні її атрибути – устя і фронт. Відмінність тріщин руйнування від тріщин-структуроутворювачів полягає, на нашу думку, у тому, що гібель перших пов'язана зі зникненням фронту при його виході на поверхню зразка, виробу, конструкції і т. п. Гібель тріщин-структуроутворювачів реалізується при виході їхнього фронту на береги інших тріщин і поверхонь розділу. У даному випадку відбувається не стільки гібель тріщин-структуроутворювачів, скільки їх спонтанна трансформація в якісно інший елемент структури – внутрішню поверхню розділу.

У період активного життя для забезпечення пріоритету власного розвитку тріщина руйнування як система використовує всі потенційні можливості базової системи та її структурні особливості. До характерних особливостей тріщини-системи, що виникла, можна віднести розмір (об'єм), який включає до себе декілька підсистем базової системи та перетворює її таким чином у самостійну вкрай нестабільну систему; здатність «втягувати» в себе на шляху власного росту інші активні елементи структури (множинність атракторів породжує виникнення одного атрактора); здатність направленої концентрації енергії в зони свого розвитку, що практично виключає вплив структурного різноманіття базової системи на умови росту нової системи.

При досягненні певного етапу росту нова система здатна, використовуючи власні ресурси, необоротно розвиватися; починає існувати у своєму темпоритмі, прагнучи завершити свій розвиток. Це веде до гибелі одразу двох систем – нової системи за рахунок досягнення мети свого існування та базової системи за рахунок того, що нова система шляхом своєї гибелі призвела до втрати її основних функцій. На цьому завершується життя конструкції як вихідної системи в результаті завершення росту тріщини руйнування.

Кількісно оцінити зміну структури матеріалу під дією зовнішніх факторів можна через коефіцієнти пошкодженості  $K_p$  та  $K_{p1}$ .

Розвиток магістральної тріщини проходить по траєкторії експлуатаційних тріщин і внутрішніх поверхонь розділу, що накопичуються в матеріалі під дією силових навантажень. Це передбачає, що геометричні параметри тріщини руйнування спадково визначаються кількістю і рельєфом берегів початкових тріщин і ВПР, орієнтованих по фронту її руху. Найменшими значеннями пошкодженості в умовах експерименту відзначалися зразки з бетону та керамзитобетону, що мають структуру, організовану при  $R_A=R_K$ .

Проведені дослідження показали, що показники пошкодженості важкого бетону збільшуються при формуванні структури в умовах  $R_A=R_K$  на 21 і 29 % порівняно зі структурами, організованими при  $R_A < R_K$  або  $R_A > R_K$  відповідно. Вибірковість адгезії матричного матеріалу до поверхні заповнювачів веде до утворення структури, що забезпечує зменшення значень пошкодженості керамзитобетону, які є меншими, ніж значення  $K_p$  керамзитобетонних зразків традиційних складів на 19–39 %.

Після 100 циклів поперемінної дії температурних і вологісних факторів пошкодженість бетонів збільшилась у середньому на 40 % (важкий бетон) і 30 % (керамзитобетон). При цьому показник

коефіцієнта пошкодженості  $K_{p1}$  був меншим при збільшенні показника коефіцієнта пошкодженості  $K_p$ . Порівняно з величиною пошкодженості бетонів традиційних складів бетони з вибірковою адгезією ( $R_A=R_K$ ) цементної матриці до поверхні заповнювачів мали структуру, при якій значення  $K_p$  є більшими на 11–15 %, значення  $K_{p1}$  меншими на 20–25 %. Це свідчить про те, що збільшення структурного різноманіття веде до формування структури, при якій початковий розподіл тріщин запобігає їх росту до розмірів, що є небезпечними для певного рівня неоднорідностей і всього матеріалу.

**Висновки.** Важливим фактором безпечного функціонування будівельних конструкцій як системи є прогнозування структуроутворюючої та руйнівної ролі активних елементів у розвитку структури на всіх етапах життєвого циклу. Активність тріщин, внутрішніх поверхонь розподілу та залишкових деформацій полягає в їх здатності реагувати на внутрішні та зовнішні фактори, визначаючи структурну «перебудову» конструкції-системи, що можна кількісно оцінювати через коефіцієнти пошкодженості. Тріщини, які здатні, змінюючи свої параметри, визначати різноманітні зміни структури всієї конструкції та її окремих підсистем, віднесені до структуроутворюючих тріщин. Після досягнення граничних структурних змін у системі самозароджуються нові активні елементи – тріщини руйнування (магістральні тріщини), які здатні замикати мету існування конструкції-системи на себе. Тому тріщини руйнування можуть бути представлені як відкрита динамічна система, цільова установка якої полягає у власному розвитку. Поява тріщин руйнування спрощує структурне оформлення конструкції як базової системи та призводить до завершення її життєвого циклу. В умовах несприятливих зовнішніх впливів активні елементи сприяють збереженню цілісності та безпеці функціонування конструкції-системи. З



рангу «невидимих» елементів тріщини, внутрішні поверхні розділу та залишкові деформації мають перейти в ранг об'єктивно існуючих, що дозволить

розширити можливості проектування матеріалів, виробів і конструкцій загальнобудівельного та спеціального призначення.

### Список використаних джерел

1. Выровой В. Н., Дорофеев В. С., Суханов В. Г. Системный подход при анализе структуры строительных композиций. *Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр.* 2008. Вип. 16. Ч. 1. С. 133-139.
2. Суханов В. Г., Выровой В. Н., Коробко О. А. Структура материала в структуре конструкции. Одеса: Полиграф, 2016. 244 с.
3. Грушко И. М., Ильин А. Г., Чихладзе Э. Д. Повышение прочности и выносливости бетона. Харків: Вища школа, 1986. 152 с.
4. Чернявский В. Л. Адаптация абиотических систем: бетон и железобетон. Днепропетровск: ДНУЖТ, 2008. 412 с.
5. Plugin A., Dedeneva E., Kostyuk T., Bondarenko D., Demina O. Formation of structure of high-strength composites with account of interactions between liquid phase and disperse particles. *Open Access Journal «MATEC Web of Conferences»*. 2017. V.116. 8 p. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711601010> (last access: 11.09.2019).
6. Зайцев Ю. В., Леонович С. Н. Прочность и долговечность конструкционных материалов с трещиной. Минск: БНТУ, 2010. 362 с.
7. Солодкий С. Й. Тріщиностійкість бетонів на модифікованих цементах. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2008. 144 с.

---

Вировой Валерій Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри виробництва будівельних виробів та конструкцій Одеської державної академії будівництва та архітектури. Tel.: (+038) 097-48-94-979. E-mail: vyrovoy@ukr.net.

Коробко Оксана Олександрівна, д-р. техн. наук, професор кафедри архітектурних конструкцій Одеської державної академії будівництва та архітектури. Tel.: (+038)096-36-90-522. E-mail: okskorobko71@gmail.com.

Закорчемний Юрій Орестович, канд. техн. наук, завідувач кафедри архітектурних конструкцій Одеської державної академії будівництва та архітектури. Tel.: (+038)098-55-24-607. E-mail: zakorchemny@gmail.com.

Уразманова Надія Фанісівна, аспірант кафедри архітектурних конструкцій Одеської державної академії будівництва та архітектури. Tel.: (+038) 0679339643. E-mail: nadegdaurazmanova@gmail.com.

Vyrovoy Valerii, Dr. Sc. (Tech.). Professor, Department of Production of Building Products and Constructions, Odessa State Academy Civil Engineering and Architecture. Tel.: (+038) 097-48-94-979. E-mail: vyrovoy@ukr.net.

Korobko Oksana, Dr. Sc. (Tech.). Professor, Department of Architectural Constructions, Odessa State Academy Civil Engineering and Architecture. Tel.: (+038) 096-36-90-522. E-mail: okskorobko71@gmail.com.

Zakorchemny Yurii, PhD. Sc. Associate Professor, Department of Architectural Constructions, Odessa State Academy Civil Engineering and Architecture. Tel.: (+038)098-55-24-607. E-mail: zakorchemny@gmail.com.

Urazmanova Nadiia, postgraduate, Department of Architectural Constructions, Odessa State Academy Civil Engineering and Architecture. Tel.: (+038) 0679339643. E-mail: nadegdaurazmanova@gmail.com.

Статтю прийнято 25.09.2019 р.