

## УДК 624.012.042

*Валерий Николаевич Выровой*, д-р. техн. наук,  
профессор  
(Одесская государственная академия  
строительства и архитектуры)  
*Владимир Геннадиевич Суханов*, д-р. техн. наук,  
профессор  
(Одесская государственная академия  
строительства и архитектуры)  
*Оксана Александровна Коробко*, канд. техн. наук,  
доцент  
(Одесская государственная академия  
строительства и архитектуры)  
*E-mail: vyrovoy@ukr.net, suhanov@mail.ua,  
korobko1971@mail.ua*

*Valery Nikolaevich Vyrovoy*, Dr. of Engineering,  
Professor  
(Odessa State Academy Civil Engineering and  
Architecture)  
*Vladimir Gennadevich Suhanov*, Dr. of Engineering,  
Professor  
(Odessa State Academy Civil Engineering and  
Architecture)  
*Oksana Aleksandrovna Korobko*, PhD in Engineering,  
Assistant Professor  
(Odessa State Academy Civil Engineering and  
Architecture)  
*E-mail: vyrovoy@ukr.net, suhanov@mail.ua,  
korobko1971@mail.ua*

## ТРЕЩИНЫ И ИХ РОЛЬ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ МАТЕРИАЛА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

### CRACKS AND THEIR ROLE IN LIFE CYCLE OF MATERIAL OF BUILD CONSTRUCTIONS

#### Аннотация

Трещины в качестве активных элементов присутствуют во всех строительных конструкциях. Трещины определяют спонтанную внутреннюю перестройку структуры материала конструкции. Это является необходимым условием адаптации системы к влиянию неблагоприятных факторов. Присутствие активных элементов в материале конструкции-системы способствует ее структурному развитию, что свидетельствует о созидательной роли трещин. При достижении предельного разнообразия структуры трещины-созидатели способны развиться до трещин разрушения. Трещины-разрушители следует рассматривать как открытые сложные самоорганизующиеся системы с собственным жизненным циклом. Преобладание цели новой трещины-системы над целью существования конструкции-системы ведет к выходу из строя конструкции как базовой системы.

*Ключевые слова: конструкция-система, структурообразующие трещины, трещины-разрушители, жизненный цикл, структурные изменения, активные элементы.*

#### Abstract

Cracks as active elements are present in all build constructions. Active elements, by its own changes and interactions with other structural components, determine spontaneous internal reorganization of structure of material of construction. It is a necessary condition of adaptation of system to influence of adverse factors. Presence of active elements in material of construction-system promotes its structural development that shows cracks creative role. Cracks-creators are capable to develop into cracks destruction when a variety of structure reaches a limit. Cracks-destroyers should be considered as the open complex self-organizing systems with its own life-cycle. Prevalence of purpose of new crack-system over purpose leads existence of construction-system to failure of construction as basic system.

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

#### Введение

Под жизненным циклом понимается период времени существования конструкции-системы – от изготовления и выполнения присущих ей функций до вывода ее из режима эксплуатации. Это предполагает, что в течение всего этого периода реализуется совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов и стадий структурных трансформаций, обеспечивающих безопасное функционирование конструкции. История жизни системы формируется под влиянием частных историй жизни отдельных структурных элементов. К элементам структуры, которые своим присутствием вносят вклад в ход жизненной истории конструкции-системы отнесены технологические трещины (ТТ) и внутренние поверхности раздела (ВПР). Трещины и поверхности раздела

являются активными элементами структуры, способными в одном темпоритме реагировать на внешние и внутренние воздействия и, тем самым, участвовать в процессах структурной «перестройки» системы, обеспечивая ее внешнюю и внутреннюю безопасность [1, 2]. Такое участие активных элементов в спонтанных структурных перестройках следует рассматривать как единственно приемлемое. В противном случае активные элементы, в результате сходных явлений самоорганизации, могут изменить историю жизни конструкции-системы вплоть до ее деградации и гибели. Поэтому важной задачей следует считать анализ роли трещин как активных элементов в жизненном цикле строительных конструкций.

### **Роль трещин в разрушении материала конструкций**

Разрушение конструкций связано с необратимым ростом трещины, которая, как правило, делит конструкцию на отдельные части. Специалисты отмечают определенные этапы «жизни» трещины – от момента ее зарождения и подрастания до превращения в магистральную с выходом фронта трещины на поверхность образца или конструкции. Специфическая роль трещины заключается в способности концентрировать возникающие деформации и напряжения у своего устья, что значительно облегчает процесс ее роста в среде материала. Предложены методы количественной оценки трещиностойкости (вязкости разрушения) материала путем определения коэффициентов концентрации напряжений. Разработаны мероприятия по повышению трещиностойкости различных материалов, включая строительные. Сделаны попытки использования критических коэффициентов интенсивности напряжений при оценке долговечности строительных материалов и расчете конструкций. Приведенные данные достаточно убедительно свидетельствуют о трещине как основном факторе, определяющем разрушение материалов и конструкций из них.

Проведенный нами анализ показал неизбежность появления трещин на различных уровнях структурных неоднородностей для полиструктурных материалов и позволил оценить роль трещин в его структурном развитии как элементов, способных привести к стабилизации свойств конструкции и обеспечению, тем самым, ее функциональных возможностей. Кроме того, показано, что присутствие трещин вызывает перманентное неравновесное состояние отдельных подсистем и системы в целом, а это способствует структурному развитию системы, увеличению ее структурного разнообразия и, в итоге, переходу в более равновесное и стабильное состояние. Это позволило сделать вывод о созидательной роли трещин в структурном развитии открытых сложных динамических систем, к которым отнесены строительные конструкции. Альтернативы причине разрушения конструкций как через необратимое развитие трещин нет. Поэтому, была определена задача изучения условий перехода от трещин, играющих созидательную роль, к трещинам, вызывающим разрушение композиционных строительных материалов и конструкций.

Для анализа следует рассмотреть полный цикл существования конструкции, включая активную фазу ее функционирования как открытой сложной динамической системы.

В силу того, что трещины в качестве активных структурных элементов каждой подсистемы и системы включены в модель материала конструкции и им принадлежит существенная роль как в процессах переорганизации структуры с целью стабилизации свойств системы, так и в необратимых процессах разрушения, то основное внимание в жизненном цикле конструкции уделено трещинам.

Основные периоды жизни конструкции как системы и процессы, которые протекают на каждом этапе ее существования, представлены в табл.1.

Роль трещин на различных этапах существования конструкции как системы

№	Этапы существования системы	Основные процессы, характерные для каждого этапа жизни системы
1	Зарождение и становление системы	<p style="text-align: center;">Исходная структура (геометрия изделия; распределение заполнителей, цемента, воды)</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Комплекс физико-химических и физико-механических явлений и процессов</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Организация структуры различных уровней структурных неоднородностей</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Проявление эффектов эквивалентности</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Технологические трещины</p>
2	Функционирование системы	<p style="text-align: center;">Технологические трещины</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Трещины – релаксаторы; Трещины – триггеры; Трещины – преобразователи структуры; Трещины – диссипаторы</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Структурные изменения (увеличение степени структурного разнообразия)</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Предельные структурные изменения</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Зарождение трещин разрушения – магистральных трещин</p>
3	Гибель системы	<p style="text-align: center;">Магистральные трещины</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Необратимый рост магистральной трещины</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Разрушение конструкции как системы</p>

Зарождение и развитие технологических трещин в структуре материала происходит на этапе рождения и становления системы. При этом различные механизмы организации структуры каждого уровня неоднородностей ведут к одному результату – появлению технологических трещин. Количество и ориентирование начальных трещин различных подсистем и всей системы определяется исходным составом и интенсивностью протекания физико-химических и физико-механических явлений и процессов, которые участвуют в организации структуры материала. Начало функционирования системы следует считать окончанием периода ее становления. Конструкция вступает в рабочий жизненный цикл с определенным набором технологических трещин на всех уровнях структурных неоднородностей.

В период функционирования материал конструкции воспринимает весь комплекс эксплуатационных нагрузок, на который в первую очередь реагируют активные элементы. В этот период проявляются следующие свойства «трещин-созидателей»: - релаксация деформаций и напряжений в материале, примыкающем к берегам трещин (трещины - релаксаторы); - образование новых площадей поверхности берегов, что способствует включению в работу метастабильных элементов (трещины - триггеры); - трансформация трещин во внутренние поверхности раздела и наоборот, что ведет к образованию новых структурных элементов – блоков (трещины - преобразователи структуры); - рассеивание избыточной энергии путем образования новых поверхностей (трещины - диссипаторы).

Следует отметить, что перечисленными свойствами обладают не отдельные трещины. Каждая трещина, в зависимости от конкретной ситуации, проявляет то или иное

свойство. В этом проявляется созидательная роль трещин на каждом уровне неоднородностей (подсистемах) и во всей системе. Происходит постоянная структурная перестройка, которая способствует повышению разнообразия структуры в иерархичных системах. По образному выражению Р. Эшби только разнообразие может уничтожить разнообразие. Однако, по нашему мнению, изменение структурного разнообразия с целью сохранения требуемых параметров свойств имеет свои пределы.

В функционирующей системе может возникнуть ситуация, при которой «трещины-созидатели» вырождаются в «трещины-разрушители», что является предвестником снижения параметров свойств и начала периода гибели системы. В системе возникает ситуация, при которой один из элементов структуры берет на себя функцию системы, в которой он возник. Он замыкает цель создания и существования системы на себя. Такой элемент структуры в первую очередь воспринимает весь комплекс эксплуатационных нагрузок, что способствует его собственному росту. При размере, сопоставленном с размерами отдельных подсистем (структурных неоднородностей) он уже не «чувствует» их структурных особенностей. Это резко снижает структурное разнообразие системы. Процессы, которые неизбежно протекают в отдельных подсистемах, структурных блоках и т.п., для доминирующего элемента структуры незначительны. Такой элемент структуры, в нашем случае – трещина разрушения, сам становится системой, которую можно рассматривать как открытую сложную динамичную систему.

Открытость предполагает, что трещина своими элементами способна воспринимать, передавать и перераспределять деформации и напряжения в окружающей среде – исходной системе.

Сложность, в данном случае, связана не только со сложной структурой самой трещины, но и с достаточно сложным ее поведением. Являясь сама нестабильной системой, трещина разрушения, реагируя на внешние воздействия, способна останавливаться, искривлять очертания фронта, вбирать в себя другие трещины, реагировать на локальные и интегральные поля остаточных деформаций.

Динамичность трещины как системы предполагает, что каждое последующее ее состояние определяется предыдущим. Новое состояние, при этом, может отличаться от предыдущего по многим параметрам и показателям. Это предполагает необратимость развития динамической трещины-системы в процессе достижения целевой установки.

Целевая установка образовавшейся новой системы, для которой исходная система становится подсистемой, заключается в обеспечении полного жизненного цикла.

Трещина как система проходит полный путь своей «жизни» – рождение, активное функционирование и гибель. Гибель трещины как системы наступает тогда, когда исчезают главные ее атрибуты – устье и фронт. Отличие «трещин-разрушителей» от «трещин-созидателей» заключается, по нашему мнению, в том, что гибель первых связана с исчезновением фронта при его выходе на поверхность образца, изделия, конструкции и т.п. Гибель «трещин-созидателей» происходит при выходе их фронта на берега других трещин и поверхностей раздела. В данном случае происходит не столько гибель «трещин-созидателей», а их спонтанная трансформация в качественно другой элемент структуры – внутреннюю поверхность раздела.

В период активной жизни для обеспечения приоритета собственного развития трещина разрушения как система использует все потенциальные возможности базовой системы и ее структурные особенности. К характерным особенностям возникшей «трещины-системы» можно отнести: - размер (объем), который включает в себя несколько подсистем базовой системы и превращает ее, таким образом, в самостоятельную крайне нестабильную систему; - способность «втягивать» в себя на пути собственного роста другие активные элементы структуры (множественность аттракторов порождает возникновение одного аттрактора); - способность направленной концентрации энергии в зоны своего развития, что практически исключает влияние структурного разнообразия базовой системы на условия роста новой системы.

При достижении определенного этапа роста новая система способна, используя собственные ресурсы, необратимо развиваться. Она начинает существовать в своем темпоритме, стремясь завершить свое развитие. Это ведет к гибели сразу двух систем – новой системы за счет достижения цели своего существования и базовой системы за счет того, что новая система путем своей гибели, привела к потере ее основных функций. На этом завершается жизнь исходной системы за счет завершения роста трещины разрушения.

### **Заключение**

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

Трещину разрушения следует рассматривать как открытую сложную динамическую систему. Целью существования такой системы является собственное развитие. Появление трещин разрушения (магистральных трещин) упрощает структурное оформление базовой системы. Активность новой системы предполагает, что цели новой системы преобладают над целью функционирования исходной системы. Достижение цели развития трещины как системы приводит к ее гибели и к завершению жизненного цикла конструкции как системы.

### **Литература:**

1. Брок Д. Основы механики разрушения. Москва: Высшая школа, 1980. 368 с. [книга, 1 автор]
2. Зайцев Ю.В. Прочность и долговечность конструкционных материалов с трещиной / Ю.В. Зайцев, С.Н. Леонович. Минск: Изд-во БНТУ, 2010. 362 с. [книга, от 2 до 4 авторов]