



## АКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ СТРУКТУРИ БУДІВЕЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ

**В.М. Вировий, В.С. Дорофеев, В.Г. Суханов, О.С. Гергега, О.С. Чернега**

*Одеська державна академія будівництва та архітектури,*

*буд.4, вул. Дідріхсона, м. Одеса, Україна, 65029*

*e-mail: herega@pako.net*

*Отримана 26 березня 2009; прийнята 16 травня 2009*

**Анотація.** У статті детально розглянуті активні елементи структури будівельних компонентів, до яких віднесені тріщини та внутрішні поверхні розподілу, які у першу чергу реагують на комплекс експлуатаційних навантажень, котрі впливають на конструкцію. В залежності від кількості, орієнтування та розмірів початкових тріщин та внутрішніх поверхонь розподілу проявляється «здатність» матеріалу зберігати властивості на заданому рівні за рахунок зміни структури у певних рамках. Подібна «здатність» свідчить про проявлення одного з видів адаптації матеріалу конструкції як відкритої системи шляхом зміни параметрів активних елементів структури (самоорганізації). Активні елементи структури виникають та розвиваються у матеріалі на етапі створення конструкцій як системи, створюючи таким чином умови їх безпечної роботи на етапі виконання функцій, які закладені у дану систему. Під час проектування конструкцій вважається важливим та перспективним закладати у структуру матеріалу певні комбінації консервативних, метастабільних та активних елементів.

**Ключові слова:** будівельні композити, структура, активні елементи.

## АКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СТРУКТУРЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

**В.Н. Вировой, В.С. Дорофеев, В.Г. Суханов, А.Н. Гергега, А.С. Чернега**

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,*

*д. 4, ул. Дидрихсона, г. Одесса, Украина, 65029*

*e-mail: herega@pako.net*

*Получена 26 марта 2009; принята 16 мая 2009*

**Аннотация.** В статье подробно рассмотрены активные элементы структуры строительных композитов, к которым отнесены трещины и внутренние поверхности раздела, в первую очередь реагирующие на комплекс эксплуатационных нагрузок, действующих на конструкцию. В зависимости от количества, ориентирования и размеров начальных трещин и внутренних поверхностей раздела проявляется «способность» материала сохранять свойства на заданном уровне за счет изменения структуры в определенных рамках. Подобная «способность» свидетельствует о проявлении одного из видов адаптации материала конструкции как открытой системы путем изменения параметров активных элементов структуры (самоорганизации). Активные элементы структуры возникают и развиваются в материале на этапе создания конструкции как системы, закладывая тем самым условия безопасной работы на этапе выполнения заложенных в систему функций. Представляется важным и перспективным при проектировании конструкций закладывать в структуру материала определенные комбинации консервативных, метастабильных и активных элементов.

**Ключевые слова:** строительные композиты, структура, активные элементы.

## ACTIVE ELEMENTS OF BUILDING COMPOSITES' STRUCTURE

V.N. Virovoy, V.S. Dorofeev, V.G. Suhanov, A.N. Gerega, A.S. Chernega

*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,*

*building 4, Didrihson street, city of Odessa, Ukraine, 65029*

*e-mail: herega@pako.net*

*Received 26 March 2009; accepted 16 May 2009*

**Abstract.** In this paper there have been considered the active structure elements, such as cracks and inner surfaces of partition. First of all reacting on the operating loads complex acting on the structure. The «ability» of material (stuff) to preserve certain properties on the given level depending on quantity, orientation and initial cracks and inner partition surfaces of. Such an «ability» testifies about one of the construction material (stuff) adaptation types as open system by means of parameters changing of active structure elements (self-organization). Active elements of the structure appear and develop in the material (stuff) on the stage of creation of construction as a system, what provides safe work conditions on the stage of caring out of certain functions, laid into the system. It's very important to lay the certain combinations into the structure of material while constructions design.

**Keywords:** building composites, structure, active elements.

### Введение

В работах [1-3] строительные конструкции предложено рассматривать в виде открытых динамических систем. Представление конструкции в виде системы основано на общих принципах системного подхода [4, 5]: строительная конструкция представляет собой целостный объект; она включает в себя определенные подсистемы, находящиеся во взаимоотношениях и связях друг с другом; каждая конструкция ориентирована на выполнение заложенной в ней цели; свойства конструкции не сводятся к свойствам отдельных ее составляющих.

Конструкция как открытая система находится под постоянным воздействием среды эксплуатации, включающей в себя нагрузки механической природы, прямо учитываемые в расчетах, и воздействия немеханической природы, которые учитываются в расчетах косвенно, а, следовательно, с неопределенной степенью точности и, что наиболее важно, без четкого понимания комплексного характера их влияния на конструкцию. К таким воздействиям, кроме нормируемых для данной конструкции нагрузок, следует отнести нагрузки, связанные с изменением влажности, температуры и другим изменениям параметров среды эксплуатации. Подобные воздействия окружа-

ющей среды могут привести к изменению свойств материала и, тем самым, к изменению функциональных параметров конструкции. Кроме того, как отмечается в [6, 7], строительную конструкцию можно представить в виде материала, оформленного в определенные геометрические формы. Это предполагает, что структурные особенности материала являются неотъемлемой частью структурных особенностей конструкции.

К специфическим структурным элементам композиционных строительных материалов, которые в значительной степени определяют его эксплуатационные свойства, отнесены технологические трещины и внутренние поверхности раздела [8, 9]. При этом отмечается, что технологические трещины и внутренние поверхности раздела возникают и развиваются на различных уровнях структурных неоднородностей в технологический период получения материалов и их переработки в изделия. Таким образом, их следует рассматривать в качестве самостоятельных элементов структуры, которые, как и другие структурные элементы, выполняют в материале конструкции свои функции.

Раскрытие функций технологических трещин и внутренних поверхностей раздела в материале конструкций как сложных открытых динамических систем позволит, по нашему

нению, не только расширить представления о роли материала в конструкции, но и решить практические задачи, направленные на повышение безопасной работы конструкции при действии среды эксплуатации.

#### **Функции технологических трещин и внутренних поверхностей раздела в структуре материала**

Проведенный анализ собственных результатов исследований и анализ литературных источников позволил классифицировать элементы структуры композиционных строительных материалов различных видов и назначения по их стабильности в процессе эксплуатации [10]. К консервативным элементам структуры отнесены структурные элементы материала и конструкции, которые практически не изменяют свои параметры в период действия эксплуатационных нагрузок. Метастабильные элементы структуры представлены элементами, которые достаточно медленно по сравнению со временем эксплуатации конструкции изменяют свои параметры как в результате непрерывно протекающих внутренних процессов, так и в результате действия среды эксплуатации. К активным элементам структуры отнесены технологические трещины и внутренние поверхности раздела, а также остаточные (технологические, наследственные, начальные) локальные и интегральные деформации, которые присутствуют на различных уровнях структурных неоднородностях материала и конструкции.

Роль консервативных и метастабильных элементов структуры в формировании и сохранении свойств материалов достаточно полно раскрыта в специальной литературе. Менее подробно рассматривается влияние активных элементов структуры как на формирование свойств, так и на их стабилизацию при взаимодействии материала конструкции со средой эксплуатации. В силу того, что технологические трещины, внутренние поверхности раздела и остаточные деформации, являясь самостоятельными элементами структуры, существуют в постоянном взаимодействии и взаимовлиянии, на начальном этапе анализа целесообразно рассмотреть их индивидуальную роль в общей структуре материала и изделия.

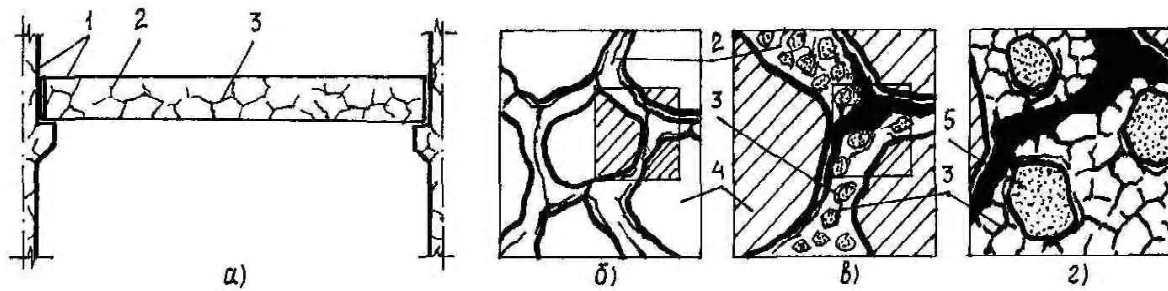
К технологическим трещинам (ТТ) относятся трещины, которые возникают в структуре в технологический период получения материала и его переработки в изделия и которые присутствуют в материале до приложения к изделию эксплуатационных нагрузок. Основные причины зарождения и развития ТТ на различных уровнях структурных неоднородностей материала и на уровне конструкции рассмотрены в [6, 7, 9]. При этом отмечено, что качественно несхожие механизмы организации структур вызывают появление одинаковых структурных элементов – ТТ и внутренних поверхностей раздела.

В общем случае под трещиной понимают полость, образованную без удаления материала двумя поверхностями (берегами), которые удалены друг от друга на расстояния, во много раз меньше протяженности самой полости. Обязательным условием является наличие устья (фронта) – места, в котором смыкаются противоположные берега. В материале существуют также трещины скольжения, в которых противоположные берега сомкнуты. Такие трещины могут возникать на границе раздела фаз (сред, структур) [11, 12]. Отличительной особенностью ТТ можно считать микроизвилистый характер их развития, что обуславливает характерный микрорельеф берегов трещин. При этом установлено несовпадение рельефов берегов одной и той же трещины.

В общем случае можно выделить следующие виды технологических трещин: ТТ на уровне цементного камня; ТТ сцепления матричного материала с поверхностью крупных и мелких заполнителей; ТТ в матричном материале между крупными и мелкими заполнителями; ТТ на уровне изделия или конструкции.

К внутренним поверхностям раздела (ВПП) относятся полости, образованные без удаления материала двумя поверхностями (берегами), которые удалены друг от друга на расстояния, во много раз меньше протяженности самой полости. В отличие от трещин противоположные берега ВПП не смыкаются.

К ВПП можно отнести границы раздела между матричным материалом и включениями и границы раздела между отдельными структурными блоками (агрегатами, кластерами) на различных уровнях структурных



**Рис. 1.** Характерные структурные неоднородности на уровне конструкции (а), бетона (б), растворной составляющей (в) и цементного камня (г): 1 – конструкция; 2 – ТТ на различных уровнях структурных неоднородностей; 3 – ВПР на различных уровнях структурных неоднородностей; 4, 5 – крупные и мелкие заполнители.

неоднородностей. К своеобразным ВПР отнесены берега трещин. Своеобразие заключается в способности противоположных берегов трещин как поверхностей раздела воспринимать и перераспределять объемные деформации, связанные с внутренними и внешними факторами. Внутренние факторы возникают и развиваются в результате протекания физико-химических реакций гидратации, внутренним массопереносом, температурными градиентами. К внешним факторам следует отнести нормируемые и ненормируемые внешние статические и динамические силовые нагрузки и нагрузки, связанные с воздействием среды эксплуатации.

Выделенные активные элементы структуры возникают и развиваются на завершающих этапах организации структуры бетона как материала, организованного по типу «структура в структуре» или «композит в композите» и присутствуют на всех уровнях структурных неоднородностей материала конструкции (рис.1).

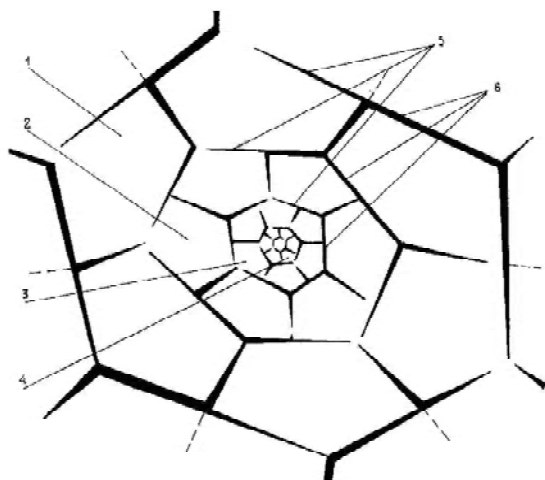
Выделенные характерные структурные неоднородности включают в себя консервативные, метастабильные и активные элементы структуры. В силу того, что ТТ и ВПР первыми реагируют на внешние воздействия, то модель конструкции как открытой динамической системы может быть представлена в виде специального «набора» активных элементов структуры. На схеме (рис. 2.) представлена модель конструкции в виде иерархии активных элементов структуры, которые принадлежат различным по качественному содержанию структурным неоднородностям.

Основанием для принятия модели в виде схемы иерархии активных элементов структу-

ры являются многочисленные экспериментальные результаты по анализу «рисунков» трещин и поверхностей раздела, обнаруженных на поверхностях бетонных и растворных образцов и изделий, а также образцов из цементного камня. Установлено, что характерный «рисунок» трещин и ВПР практически не зависит от состава, вида цемента и режимов твердения исследуемых образцов. Можно заключить о существовании масштабной инвариантности для полиструктурных материалов, организованных по принципу «структура в структуре», что характерно для фрактальных структур [13, 14].

Кроме того, активные элементы структуры способствуют возникновению новых для системы структурных составляющих – структурных блоков. В зависимости от вида активных элементов и их сочетания (поверхности раздела, трещины, трещины и поверхности раздела) структурные блоки могут быть полностью и частично автономными. К полностью автономным блокам можно отнести структурные блоки, образованные ВПР. Частично автономные блоки образуются берегами трещин и берегами трещин и ВПР. Можно предположить, что частично автономные блоки являются временными структурными составляющими, время существования которых определяется временем «жизни» трещин.

Структурные блоки являются неотъемлемыми составляющими различных уровней структурных неоднородностей, в которых могут возникать и развиваться трещины и ВПР. Роль структурных блоков заключается в восприятии и перераспределении нагрузок и деформаций,



**Рис. 2.** Модель конструкции в виде общей схемы иерархии активных элементов на различных уровнях структурных неоднородностей: 1 – уровень конструкции (изделия); 2 – уровень бетона; 3 – уровень растворной составляющей (матричный материал на уровне бетона); 4 – уровень цементного камня (матричный материал на уровне раствора); 5 – ТТ; 6 – ВПР.

вызванных внешними и внутренними факторами. При этом перераспределение происходит как внутри каждого блока через сеть собственных ТТ и ВПР, так и между соседними блоками на каждом уровне структурных неоднородностей.

Таким образом, активные элементы структуры в значительной степени определяют распределение деформаций набухания и усадки как в отдельных структурных блоках, так и в изделии в целом [9], деформации бетона под нагрузкой [15], морозное разрушение цементного камня и бетона [6, 16], распределение локальных и интегральных деформаций в материале и изделиях [17], накопление повреждений (структурные изменения) при малоцикловых усталостных нагрузках, связанных с многократными увлажнением и высушиванием, замораживанием и оттаиванием [18].

### Заключение

Постоянное воздействие комплекса эксплуатационных нагрузок на конструкцию как открытую систему вызывает реакцию материала на эти воздействия. В первую очередь реагируют на внешние и / или внутренние воздействия активные элементы структуры, к

которым отнесены трещины и внутренние поверхности раздела. Одни элементы ведут к концентрации напряжений (трещины), другие (внутренние поверхности раздела) – к перераспределению напряжений как внутри структурных блоков, так и между соседними структурными блоками на каждом уровне структурных неоднородностей. В зависимости от количества, ориентирования и размеров начальных (технологических, наследственных, остаточных) трещин и внутренних поверхностей раздела проявляется «способность» материала сохранять свойства на заданном уровне за счет изменения структуры в определенных рамках. Подобная «способность» свидетельствует о проявлении одного из видов адаптации материала конструкции как открытой системы путем изменения параметров активных элементов структуры (самоорганизации). Трансформацию активных элементов можно считать пусковым механизмом включения в работу более «медленных» метастабильных элементов структуры, что углубляет процессы адаптации.

Активные элементы структуры возникают и развиваются в материале на этапе создания конструкции как системы, закладывая тем самым условия безопасной работы на этапе выполнения заложенных в систему функций. Поэтому представляется важным и перспективным при проектировании конструкций закладывать в структуру материала определенные комбинации консервативных, метастабильных и активных элементов. Рациональное сочетание различных по виду элементов структуры в зависимости от условий эксплуатации позволит более полно реализовать потенциальные возможности материала по обеспечению надежной работы конструкций.

### Литература

1. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. Моделирование конструкций как сложных систем // Вестник ОГАСА, выпуск 28, - Одесса: Внешрекламсервис, 2007. – С. 64-70.
2. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. Системный подход при анализе структуры строительных конструкций // Сб. Ресурсоэкономные материалы, конструкции, здания и сооружения. – Ровно: НУВХ, выпуск 16, ч.1., 2008. – С. 133-139.

3. Корчак М.Д., Чепцов А.Ф. Синергетика в теории и практике. – Электросталь: ЭПИ МИСиС, 2006. – 434 с.
4. Бергаланфи Л. Общая теория систем: критический обзор // Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – С. 23-82.
5. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. – М.: СИНТЕГ, 2000. – 528 с.
6. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Фиц С. Бетон в условиях ударных воздействий. – Одесса: Внешрекламсервис, 2004. – 270 с.
7. Дорофеев В.С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций – Одесса: Город мастеров, 1998 – 168 с.
8. Современные методы оптимизации композиционных материалов / Вознесенский В.А., Выровой В.Н., Керш В.Я. и др.; под ред. Вознесенского В.А. – Киев: Будивэльник. 1983. – 144 с.
9. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / Соломатов В.И., Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Сиренко А.В. – Киев: Будивэльник, 1991. – 144 с.
10. Суханов В.Г., Выровой В.Н. Моделирование структуры материала конструкций как открытых самоорганизующихся систем / МОК-47. – Одесса: Астропринт, 2008. – С.200.
11. Мороз Л.С. Механика и физика деформаций и разрушения материалов. – Л.: Машиностроение, – 224 с.
12. Шаши К. Механизм передачи нагрузки через поверхности раздела / Композиционные материалы, - Т. 6. – М.: Мир, 1978. – С. 42-87.
13. Соломатов В.И., Выровой В.Н. Кластерообразование композиционных строительных материалов // Технологическая механика бетонов.- Рига: Рижский политехнический ин-т, 1985. – С. 5-21.
14. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Ин-т Компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
15. Макарова С.С. Влияние наполнителей на технологическую поврежденность и формирование свойств конструкционных бетонов / Автореф. дисс. к.т.н. – Одесса: ОГАСА. 1993. 17 с.
16. Загорчменная Н.О., Выровой В.Н., Фиц С. Анализ механизмов морозного разрушения бетонов / МОК-45. – Одесса: Астропринт. 2006. – С. 105-106.
17. Острая Т.В., Суханов В.Г., Выровой В.Н., Дорофеев А.В. Роль остаточных деформаций в организации структуры строительных материалов и конструкций / Современные конструкции из металла и древесины, ч.1., - Одесса: Внешрекламсервис, 2008. – С. 218-224.
18. Сильченко С.В., Выровой В.Н., Резникова Л.И., Дорофеев А.В. Изменение поврежденности цементного камня в условиях многократного увлажнения и высушивания / Вестник ОГАСА, выпуск №20, - Одесса: Город мастеров, 2005. – С. 148-154.

**Выровой Валерій Миколайович** – д.т.н., професор, ректор Одеської державної академії будівництва і архітектури; завідувач кафедри виробництва будівельних виробів і конструкцій. Наукові інтереси: структуроутворення і руйнування композитних матеріалів.

**Дорофеев Виталий Степанович** – д.т.н., професор, ректор Одеської державної академії будівництва і архітектури; завідувач кафедрою залізобетонних і кам'яних конструкцій. Заслужений діяч науки і техніки України. Наукові інтереси: структуроутворення і руйнування композитних матеріалів.

**Суханов Володимир Геннадійович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій, декан факультету довузівської підготовки Одеської державної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: структуроутворення і руйнування композитних матеріалів; системний підхід у формуванні структури будівельних матеріалів і конструкцій.

**Гергега Олександр Миколайович** – к.т.н. доцент, доцент кафедри виробництва будівельних виробів і конструкцій Одеської державної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: матеріалознавство, детермінований хаос, фрактальні системи.

**Чернега Олександр Сергійович** – аспірант Одеської державної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: системний підхід у формуванні структури будівельних матеріалів і конструкцій.

**Выровой Валерий Николаевич** – д.т.н., профессор, ректор Одесской государственной академии строительства и архитектуры; заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций. Научные интересы: структурообразование и разрушение композитных материалов.

**Дорофеев Виталий Степанович** – д.т.н., профессор, ректор Одесской государственной академии строительства и архитектуры; заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций. Заслуженный деятель науки и техники Украины. Научные интересы: структурообразование и разрушение композитных материалов.

**Суханов Владимир Геннадиевич** – к.т.н., доцент, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций, декан факультета довузовской подготовки Одесской государственной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: структурообразование и разрушение композитных материалов; системный подход в формировании структуры строительных материалов и конструкций.

**Гергега Александр Николаевич** – к.т.н. доцент, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций Одесская государственная академия строительства и архитектуры. Научные интересы: материаловедение, детерминированный хаос, фрактальные системы.

**Чернега Александр Сергеевич** – аспирант Одесской государственной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: системный подход в формировании структуры строительных материалов и конструкций.

**Virovoy Valeriy Nikolayevich** – doctor of technical science, profesor, rector of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture; the chief of “the Production of Building Products” and Constructions” chair. Scientific interests: structure formation and destruction of composite materials.

**Dorofeev Vitaliy Stepanovich** – doctor of technical science, professor, rector of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture; the chief of “the Reinforced-Concrete and Stone Constructions” chair. Honorary scientist of Ukraine. Scientific interests: structure formation and destruction of composite materials.

**Suhanov Vladimir Gennadievich** – candidate of technical sciences, assistant professor, assistant professor of “the Reinforced Concrete and Stone Constructions” chair, the dean of preinstitute preparatory faculty of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: structure formation and destruction of composite materials; the system approach in structure forming of building materials and constructions.

**Gerega Alexander Nikolayevich** – candidate of technical science, an assistant professor, assistant professor of “the Production of Building Products and Constructions” chair, is Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: material science, deterrninal chaos, fractal systems.

**Chernega Alexander Sergeyevich** – post-graduate student of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the systems approach in structure forming of building materials and constructions.