

## ДЕФОРМАЦИИ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ КОНСТРУКЦИИ-СИСТЕМЫ

О.А.Коробко, В.Н.Выровой, А.М.Кушнир

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

**Введение.** В работах [1, 2] показано, что в качестве объекта изучения целесообразно выделять строительную конструкцию в виде системы определенного вида. Это обусловлено следующими признаками: - конструкция представляет собой целостное образование некоторой совокупности подсистем; - все подсистемы связаны отношениями и взаимодействиями в определенную структуру, которая обеспечивает их согласованное функционирование и проявление эмерджентных свойств конструкции как системы [3, 4]. При этом следует учитывать взаимодействие всех подсистем конструкции с внешней средой, что должно обеспечить ее способность выполнять назначенные функции. Представление конструкции (изделия) как системы предполагает определенный жизненный цикл, который осуществляет материал, оформленный в конкретные геометрические формы. При этом следует признать объективным процессом проявление деформаций на каждом этапе «жизни» строительной конструкции. Материал практически всех видов конструкций находится в постоянной динамике, что позволяет предположить активное участие деформаций в процессах его структурной организации и адаптации эксплуатируемого объекта к внешней среде. Это определило задачу работы – проанализировать роль деформаций в жизненном цикле конструкции-системы с целью выявления структурных элементов, определяющих реакции материала на внутренние и внешние воздействия.

**Анализ роли деформаций в «жизни» материала строительной конструкции.** Деформации являются ключевым понятием, принятым при описании и анализе процессов и явлений, происходящих в материалах, изделиях, конструкциях и других объектах, которые при образовании и функционировании способны претерпевать объемные изменения. Проведенный терминологический анализ позволил сформулировать обобщенное определение термина «деформация», под которым предлагается понимать изменение расстояния между отдельными точками тел с различными реологическими

характеристиками и их возможное формоизменение (без и с изменением объема), возникающие в результате комплекса внешних воздействий, внутренних процессов и явлений, а также при изменении температуры и влажности. Предложенное определение позволяет с единых методологических позиций проанализировать развитие деформаций от момента становления материала до периодов его функционирования и гибели. Динамичность организации структуры материала конструкций как системы определяется способностью его подсистем воспринимать, перераспределять, трансформировать и релаксировать возникающие деформации всех видов. Поэтому деформации можно рассматривать не только как результат каких-либо произошедших изменений, но и как процесс этих изменений.

Независимо от вызывающих их причин, проявление деформаций связано с реализацией внутреннего потенциала материала конструкций и изделий. Это обусловлено тем, что организация структуры материалов на основе вяжущих происходит путем самопостроения и самопроизводства собственных подструктур. По терминологии ученых У. Матураны и Ф. Варелы [5], системы с такими структурными особенностями названы аутопоэзными. Аутопоэзные системы представляют собой сеть взаимодействий на некотором множестве элементов, в качестве которых выступают не только вещественные образования, но и процессы воспроизводства системы, поскольку их результатом являются постоянные изменения ее структуры. В результате возникают новые или преобразуются уже существующие структурные составляющие. Под сетью понимают особый порядок организации, при котором каждый элемент сети участвует в создании или преобразовании других элементов. Таким образом, сеть непрерывно производит саму себя, она создается своими элементами и их же и производит, включая собственные границы. Границы сети являются одним из ее элементов и активно участвуют в сетевых операциях, определяя сеть как целостность.

Деформации также включены в качестве элемента в общую сеть рекурсивных взаимодействий. Это предполагает, что деформации порождаются этими взаимодействиями, но они же и стимулируют их проявление. При этом внешние и внутренние факторы могут лишь инициировать ответные реакции материала на свое воздействие, но не управлять ими. Поэтому материал на всех уровнях структурных неоднородностей – нано-, микро-, макроуровнях и на уровне изделия [5, 6] представляет собой операционально замкнутую (автономную, закрытую) систему, оставаясь открытой для обмена энергией и веществом с окружающей средой. При таком подходе проявление

деформаций можно представить как результат избирательных откликов структурных составляющих материала на внутренние или внешние источники возмущения. Неаддитивное возникновение деформаций на одном или, тем более, на различных уровнях неоднородностей предполагает, что распространение деформаций в материале должно происходить в виде деформационных волн.

#### **Анализ реакций активных элементов структуры конструкции-системы на влияние внутренних и внешних факторов.**

Представление строительной конструкции как системы позволяет выделить структурные составляющие материала, которые путем совместной работы обеспечивают его требуемые свойства в изделии. В структуре материала конструкции к активным элементам относят технологические трещины (ТТ) и внутренние поверхности раздела (ВПР) в силу их способности перераспределять деформации и напряжения. Эти элементы, через изменение собственных параметров, определяют структурные изменения каждого уровня материала, тем самым, адекватно реагируя на различные виды воздействий. Трещины и поверхности раздела как активные элементы присутствуют на всех уровнях структурных неоднородностей бетона, связывая их в единую диссипативную систему в результате образования развитой сети трещин и внутренних поверхностей раздела. Характерный набор ТТ и ВПР существует на каждом уровне неоднородностей, определяя их неповторимый «структурный портрет», по завершению основных процессов организации структуры материала конструкции-системы. Этот портрет отражает индивидуальность конструкции как системы перед началом ее функционирования. В работе [2] предложены модели отдельных структурных неоднородностей бетона и самой конструкции в виде набора ТТ и ВПР. При разработке подобных моделей можно в дополнение предположить, что трещины и внутренние поверхности раздела на различных уровнях неоднородностей связаны в сеть непрерывных взаимодействий, которая их создает и ими же производится. При этом внешние и внутренние границы уровней, в качестве составляющих элементов, являются активными участниками их структурной организации. Исходя из концепций теории аутопоэза, можно допустить, что структура материала конструкции на всех уровнях неоднородностей как набора ТТ и ВПР представляет собой нелинейные сети взаимоотношений на некотором множестве элементов. При этом трещины и внутренние поверхности раздела как компоненты сети будут постоянно порождать и преобразовывать друг друга, сосуществуя в общей согласованности взаимодействий, с локализацией процессов их трансформации внутри блоков на

соответствующих уровнях структуры материала.

Участие внешних границ раздела неоднородностей в реализации внутри- и межуровневого структурного оформления обуславливает автономность материала конструкции-системы, что предполагает непрямые воздействия, как при взаимовлиянии отдельных подсистем, так и при их взаимодействии со средой эксплуатации. Каждый из уровней может лишь неспецифично активировать структурные изменения других уровней, но не управлять ими. С внешней окружающей средой материал также связан посредством периодических актов взаимодействия, каждый из которых вызывает изменение его структуры. При этом все реакции на внутренние и внешние факторы связаны со структурным потенциалом материала конструкции и зависят от его внутренних возможностей. Материал не только определяет свои потенциальные структурные перестройки, но и сам решает на какие воздействия и каким образом реагировать. Взаимодействуя с окружением, материал конструкции осуществляет цепь взаимозависимых структурных преобразований. Тем самым, определяются пути дальнейшего становления материала и проявления деформаций, что можно представить как результат избирательных откликов отдельных подсистем на источники возмущения.

Внешние воздействия воспринимаются всеми уровнями структурных неоднородностей материала конструкции. Деформации, вызванные внешними воздействиями, меняют свою величину по мере перехода через границы раздела самой неоднородности, между неоднородностями одного уровня и между неоднородностями разных уровней. Часть энергии деформирования рассеивается на внутренних поверхностях раздела и берегах трещин. Часть энергии вызывает подрастание трещин, и часть энергии передается на соседние структурные блоки материала. При этом инициируются неповторимые изменения их структуры, что ведет к разнообразию структурных «рисунков» конструкции-системы при действии внешних нагрузок. И, таким образом, внешние воздействия провоцируют возникновение внутренних по отношению к системе воздействий. К внутренним источникам возмущений следует отнести также непрекращающиеся процессы гидратации реликтовых зерен вяжущего. Деформации, которые возникают при этом, локализованы в каждом объеме микроструктуры. Это предполагает, что развитие деформаций, вызванных внутренними факторами, будет осуществляться «снизу-вверх», от микроуровня через макроструктуру на уровень изделия. Можно заключить, что деформации инициируют процессы структурообразования материала на всех уровнях неоднородностях и

определяют его реакции на внешние и внутренние воздействия. Передача деформаций происходит посредством активных элементов в виде технологических трещин и внутренних поверхностей раздела. ТТ и ВПР являются неотъемлемыми составляющими структуры материала конструкции и взаимодействуют друг с другом, образуя сложную сеть взаимосвязанных элементов (рис.1).

Модель структуры материала как паутины трещин и внутренних поверхностей раздела организована по принципу «сети внутри сетей». «Большая сеть» включает в себя внутренние сети, которые состоят из собственных сетей. Каждая отдельная сеть представляет собой набор активных элементов в виде ТТ и ВПР на определенном уровне структурных неоднородностей. При таком графическом представлении материала можно выделить зоны взаимодействия разноуровневых сетей-составляющих, в которых они проявляют себя через внутри- и межструктурные связи.

На рис.2 представлена схема реакций материала на внутренние и внешние воздействия как сложноорганизованной сети (экстерьерные и интерьерные ситуации).

При действии на системы (подсистемы) внешних нагрузок вероятны ситуации поэтапного изменения структурных параметров, рис.2, а. Это происходит за счет преобразования внутрискруктурных связей путем передачи деформаций через сеть активных элементов. Изменение связей внутри структур обеспечивает самосохранение структурных уровней, но при усилении внешнего воздействия может произойти разрыв связей и постепенная потеря функции каждого отдельного уровня. На соседние уровни информация о произошедших перестройках, в том числе и о катастрофической ситуации, передается путем изменения уже межструктурных связей как нитей паутины.

Дальнейший сценарий развития структурных преобразований зависит от соотношения скорости реакции элементов системы, ее структурных возможностей, и скорости развития структурных изменений при интенсивных внешних воздействиях.

На рис.2, б предоставлены реакции структуры материала на действие внутренних факторов. Начальные деформации на уровне микроструктуры инициируют возникновение внутренних воздействий  $P_i$ , которые вызывают изменение внутрискруктурных связей. При этом деформационные процессы могут привести к критическим внутренним усилиям  $P_{кр}$ , при которых данный структурный уровень замыкает развивающиеся структурные изменения на себя. Последующее развитие деформаций создает условия для проявления внутренних воздействий  $P_{раз}$ , способных привести к разрушению. Возникают

необратимые структурные изменения с разрывом межструктурных связей. При этом предельное внутреннее воздействие  $P_{раз}$  какого-либо уровня для окружающих систем (подсистем) переходит из ранга внутренних факторов в ранг внешних факторов.

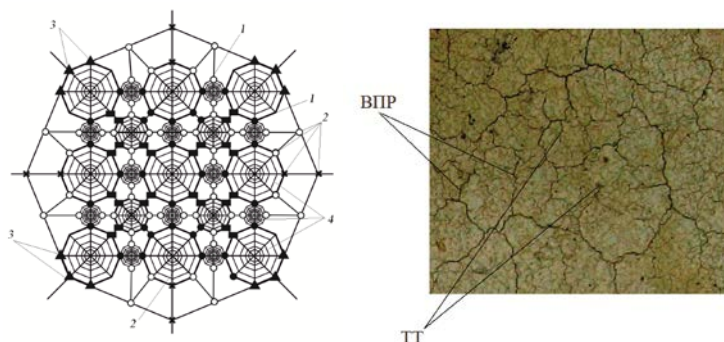


Рис.1. Модель взаимосвязанной сети (паутины) активных элементов структуры бетона: 1 – внутрискруктурные связи; 2 – межструктурные связи; 3 – межструктурные элементы; 4 – подструктуры; ТТ – технологические трещины; ВПР – внутренние поверхности раздела.

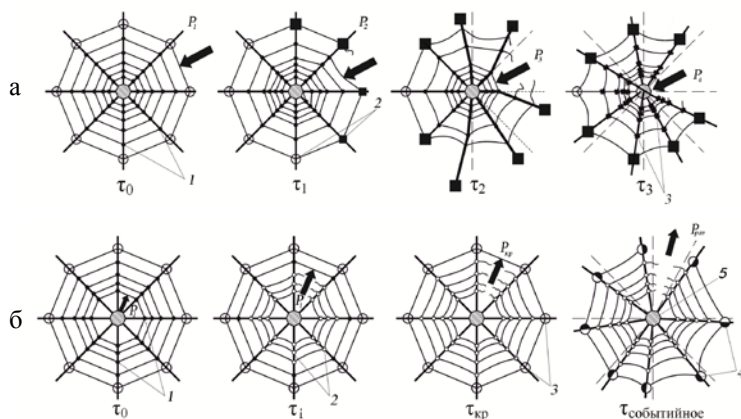
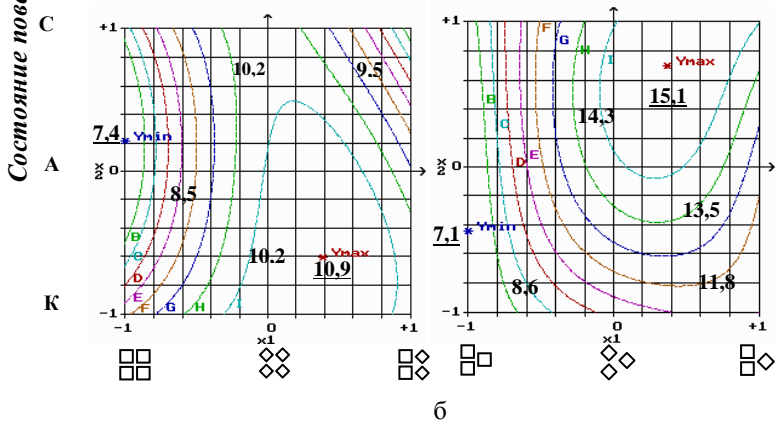
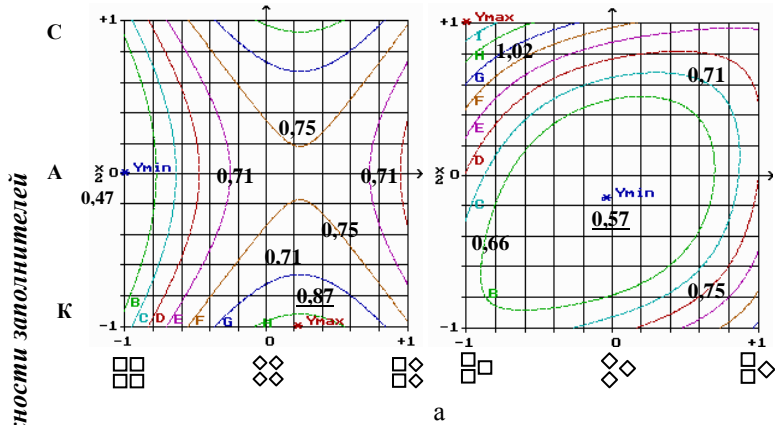


Рис.2. Реакция подсистем на внешние (а) и внутренние (б) воздействия: 1 – внутрискруктурные связи; 2 – трансформация внутрискруктурных связей; 3 – межструктурные связи; 4 – трансформированные межструктурные связи; 5 – узел внутрискруктурных взаимодействий.

Самосогласованные процессы, связанные с экстерьерными и интерьерными воздействиями, позволяют решать задачи обеспечения безопасного функционирования конструкций-систем при действии среды эксплуатации. Для экспериментального подтверждения наших предположений были проведены исследования на моделях бетонных образцов. Было определено (рис.3), что способность материалов противостоять разрушающим нагрузкам определяется параметрами сети начальных трещин и внутренних поверхностей раздела. Разрушение образцов с различными макроструктурными параметрами при определении их прочности на сжатие проходило по дефектам, образовавшимся в период получения материалов. Коэффициент поврежденности образцов в зависимости от их структурного оформления изменялся до 3,5 раз, прочностные показатели – в 2 раза.

### ***Выводы***

Таким образом, можно заключить, что конструкция-система при эксплуатации воспринимает весь комплекс внешних и внутренних нагрузок, которые возникают в результате действия окружающей среды. При этом реализация жизненного цикла конструкции-системы в значительной мере определяется участием деформаций на всех этапах ее становления и функционирования в результате содействия всех подсистем и установления между ними взаимосвязей и согласованных взаимоотношений. Сотрудничество уровней происходит по принципу структурного связывания с образованием сети трещин и внутренних поверхностей раздела, которые участвуют в структурном самопостроении уровней путем взаимной инициации деформаций. Стойкость материала конструкции-системы под нагрузкой определяется соотношением интенсивности структурных преобразований и скорости реакций на них составляющих его структуры. Реакции материала на внешние и внутренние воздействия зависят от взаимоотношений и взаимосвязей элементов на различных уровнях структурных неоднородностей. Такой подход, по нашему мнению, позволит более полно реализовать возможности материала при производстве и функционировании конструкций и изделий, выделить необходимые управляющие факторы и, тем самым, обеспечить надежную работу материала в различных условиях эксплуатации.



### Способ укладки заполнителей

Рис.3. Взаимовлияние уровней неоднородностей на технологическую поврежденность (а) и прочность при сжатии (б) моделей бетонных образцов:  
 К – контрольные образцы; А – образцы с обработкой ПАВ;  
 С – образцы с избирательной обработкой ПАВ.



## Summary

The analysis of a role of deformations in life cycle of material of a build construction as systems is presented in article. Schematic diagrams of reactions of active structural elements to influence of internal and external factors are offered.

## *Литература*

1. Выровой В.Н. Системный подход при анализе структуры строительных конструкций / В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, В.Г. Суханов. // Зб. наук. праць «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди». – Рівне, 2008. – Вип.16. – Ч.1. – С. 133-139.

2. Выровой В.Н. Композиционные строительные материалы и конструкции. Структура, самоорганизация, свойства / В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, В.Г. Суханов. – Одесса: «ТЭС», 2010. – 169 с.

3. Могилевский В.Д. Методология систем / В.Д. Могилевский. – М.: Экономика, 1999. – 251 с.

4. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности / И.В. Прангишвили. – М.: СИНТЕГ, 2000. – 528 с.

5. Матурана У. Дерево познания: Биологические корни человеческого понимания / У. Матурана, Ф. Варела. – М.: «Прогресс - Традиция», 2001. – 224 с.

Коробко О.А. Структурная организация бетона на различных уровнях неоднородностей / О.А. Коробко, В.Н. Выровой, Е.В. Рожнюк // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2015. – Вип.57. – С. 213-219.