

УДК 666: 519.8

Коробко О.А. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: korobko1971@mail.ua

Суханов В.Г. – доктор технических наук, профессор

E-mail: suhanov@mail.ua

Выровой В.Н. – доктор технических наук, профессор

E-mail: vyrovoy@ukr.net

Тофанило В.Ю. – аспирант

E-mail: bras06@bk.ru

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Адрес организации: 65029, Украина, г. Одесса, ул. Дидрихсона, д. 4

Роль деформаций в «жизни» бетона

Аннотация

Формирование структуры бетона как материала полиструктурного строения определяется взаимовлиянием уровней его структурных неоднородностей с иницированием возвратных волн проявления их собственных деформаций. При этом создаются условия для самозарождения и саморазвития взаимосвязанной сети (паутины) технологических трещин и внутренних поверхностей раздела, которые в качестве активных элементов участвуют в организации структуры бетона и определяют его реакции на влияние внутренних и внешних воздействий.

Ключевые слова: бетон, уровни структурных неоднородностей, собственные деформации, активные элементы структуры, взаимосвязанная сеть (паутина).

Введение

Представление бетона как сложной самоорганизующейся открытой системы [1, 2] предполагает определенный жизненный цикл, который осуществляет материал, оформленный в конкретные геометрические формы (конструкции, изделия). Каждый этап «жизни» бетона сопровождается различного вида деформациями, которые в период создания системы инициируют процессы ее самоорганизации, а в активную фазу выполнения ею основных функций способствуют их реализации путем самопроизвольной перестройки структуры материала конструкций. Полиструктурность строения бетона [3] позволяет предположить взаимообусловленность деформационных явлений при организации его интегральной структуры с передачей возвратных волн собственных деформаций между структурными неоднородностями.

Процессы спонтанного структурообразования на всех уровнях неоднородностей создают условия для самозарождения и саморазвития активных элементов структуры бетона – внутренних поверхностей раздела и технологических трещин, которые образуют связную сеть (паутину) с характерными внутри- и межструктурными связями, организованную по принципу «сети внутри сетей». Сохранение взаимосвязанных отношений между подструктурами бетона на различных уровнях неоднородностей, их взаимодействие и самоподдержка обеспечивают безопасное функционирование конструкций при действии на систему различного вида нагрузок. Исходя из этого, была определена задача работы – проанализировать реакции сложноорганизованной сети активных элементов структуры бетона на влияние внутренних и внешних факторов.

Структурные неоднородности бетона как структуры-системы в системе структур-систем

Под структурными неоднородностями понимаются индивидуальные составляющие структуры бетона, различающиеся по механизмам организации и взаимодействующие через поверхности раздела [4].

В структуре бетона выделяют неоднородности на уровне частиц вяжущего (микроструктура), на уровне продуктов новообразований (наноструктура), на уровне матричного композита и заполнителей (макроструктура) и на уровне изделия (конструкции) [5].

Структурные неоднородности можно рассматривать как самостоятельные объекты исследований. Это позволит выявить структурные составляющие отдельных уровней неоднородностей и проанализировать их роль в организации структуры, как самого уровня, так и бетона, являющегося подсистемой конструкции как системы с определенным структурным оформлением. Подобный подход, основанный на выводах Ю.А. Урманцева [6], предполагает изучение каждой структурной неоднородности бетона как объекта-системы в системе объектов-систем.

Системой структур-систем для бетона является строительная конструкция, в качестве подсистемы которой он может быть выделен. В свою очередь, бетон, вследствие его полиструктурного строения, можно представить как систему структур-систем, которыми могут выступать уровни его структурных неоднородностей. Каждый из уровней включает комплекс собственных структур, характеризующихся определенным набором элементов. Таким образом, конструкция, бетон, уровни его структурных неоднородностей и их подструктуры являются одновременно как системами структур-систем для своих составляющих, так и структурами-системами для систем, в которые они включены.

Все составные части структуры бетона как материала конструкции на всех уровнях неоднородностей сосуществуют в общей согласованности взаимодействий, а их взаимовлияние и взаимообусловленность обеспечивают проявление свойств бетона в конструкции и их поддержку при действии внутренних и внешних нагрузок.

На формирование структуры бетона как системы структур-систем доминирующее влияние оказывают процессы и явления, протекающие на уровне частиц вяжущего. Это обусловлено тем, что организация микроструктуры, как источника зарождения технологических деформаций, инициирует последующие структурные преобразования бетона на всех уровнях неоднородностей. Основопологающим результатом физико-механических процессов структурообразования микроуровня является возникновение совокупности разномасштабных кластерных структур из частиц вяжущего, находящихся между собой в определенных взаимоотношениях и взаимосвязях, как в вертикальной, так и в горизонтальной иерархии. Структурные агрегаты каждого следующего уровня структурной сложности можно рассматривать как систему структур-систем, образованную агрегатами предыдущего уровня и выступающими для нее структурами-системами.

Микроструктура в качестве матрицы является составной частью макроструктуры, которую можно выделить в виде структурной неоднородности бетона на уровне «заполнители – матричный материал». Вместе с тем, в состав микроуровня в качестве подсистемы включена наноструктура, представленная неоднородностями типа «продукты новообразований – дисперсионная среда» и «продукты новообразований – частицы дисперсной фазы». Таким образом, микроструктура может быть выделена как система структур-систем для наноуровня и как структура-система для макроуровня.

Макроструктура входит в состав материала конструкции в виде набора неодинаковых по свойствам и параметрам структурных ячеек [7], образованных группами заполнителей, произвольным образом распределенных в матричном материале. Это позволяет рассматривать макроуровень как структуру-систему в структуре бетона и, в то же время, как систему структур-систем по отношению к уровням нано- и микроструктурных неоднородностей.

Структура бетона на уровне изделия может быть представлена как целостность, в которую на правах равноправных элементов входят сама конструкция и материал, из которого она изготовлена [5]. При этом бетон является подсистемой конструкции, а конструкция – подсистемой здания или сооружения [1], что позволяет им выступать в качестве структур-систем, оставаясь системами структур-систем для своих составляющих.

Организация структурных неоднородностей бетона происходит в результате проявления их собственных деформаций на внутренних и внешних поверхностях раздела уровней. Взаимообусловленность протекания процессов структурообразования инициирует возвратные деформационные волны, тем самым, оказывая влияние на формирование, как своей собственной структуры, так и структуры других уровней неоднородностей.

Начальный этап проявления деформаций реализуется на уровне микроструктуры, а источником их возникновения являются комплекс физико-химических процессов и явлений гидратации минеральных вяжущих и особенности организации структуры бетона на уровне частиц вяжущего. Возникающие деформации, трансформируясь на межкластерных поверхностях раздела, воспринимаются границами раздела уровня «матрица-заполнители». Это приводит к формоизменению границ раздела и обуславливает перераспределение деформаций на уровне изделия (или конструкции). В результате, формируется возвратная деформационная волна на уровне макро-, микро- и наноструктур, что отражается на их дальнейшей организации, вызывая проявление нового витка деформаций. Взаимное возбуждение перехода деформационных волн с одного уровня на другой ведет к изменению геометрии их границ, что провоцирует развитие технологических трещин (ТТ) и внутренних поверхностей раздела (ВПР).

Анализ реакций взаимосвязанной сети активных элементов структуры бетона на влияние внутренних и внешних факторов

Представление бетона и его структурных неоднородностей в виде структур-систем в системе структур-систем позволяет определить структурные составляющие материала, которые путем совместной работы обеспечивают его требуемые свойства в изделии. Кроме того, при таком подходе можно выявить основные внутренние и внешние эффекты безопасного функционирования строительных конструкций под действием среды эксплуатации.

В структуре бетона к активным элементам можно отнести технологические трещины и внутренние поверхности раздела в силу их способности направленно перераспределять деформации и напряжения и, через изменения собственных параметров, определять структурные изменения каждого уровня материала, тем самым, адекватно реагируя на различные виды воздействий. Трещины и внутренние 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 бетона. Этот портрет отражает индивидуальность самой конструкции как системы структур-систем перед началом ее функционирования. В работе [8] 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 различных уровней 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. Системы, структурообразование которых осуществляется в результате самосозидания (самопостроения) при участии границ, определяющих их целостность, относят к аутопоэтным системам, согласно положениям работ У. Матураны и Ф. Варелы [9]. Исходя из концепций теории аутопоэза, можно допустить, что структура самого бетона и уровней его 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 бетона.

Участие внешних границ раздела неоднородностей в реализации внутри- и межуровневого структурного оформления обуславливает организационную замкнутость (автономность) бетона и уровней организации его структуры как структур-систем в системе структур-систем, что предполагает не прямые воздействия, как при их взаимовлиянии, так и при взаимодействии со средой эксплуатации. Каждый из уровней может лишь неспецифично активировать структурные изменения других уровней, но не управлять ими. Также и с внешней окружающей средой бетон связан посредством периодических актов взаимодействия, каждый из которых вызывает в нем как системе

изменения его структуры. При этом среда не определяет вид структурных изменений, не направляет и не контролирует их извне. Все реакции на внутренние и внешние факторы связаны со структурным потенциалом неоднородностей бетона и зависят от внутренних возможностей материала, который как самоорганизующаяся система не только определяет свои потенциальные структурные перестройки, но и сам решает на какие воздействия и каким образом реагировать. Взаимодействуя с окружением, бетон как система структур-систем реализует цепь структурных преобразований неоднородностей своей структуры. Каждое из этих преобразований изменяет предыдущую структурную организацию всех уровней, тем самым, определяя их дальнейшее развитие и проявление собственных деформаций, которые можно представить как результат избирательных откликов подсистем неоднородностей на источники волнения.

Внешние воздействия провоцируют возникновение внутренних по отношению к системе воздействий путем высвобождения энергии при образовании новых площадей поверхности берегов трещин. Кроме того, к внутренним источникам воздействий следует отнести непрекращающиеся физико-химические процессы гидратации реликтовых зерен цемента [10]. Объемные и температурные деформации, которые возникают при этом, локализованы в кластерных структурах из исходных частиц вяжущего. В результате развитие внутренних воздействий осуществляется по принципу «снизу-вверх» (рис. 1).

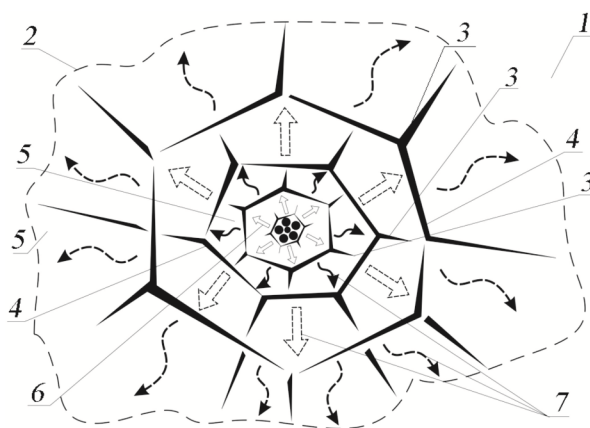


Рис. 1. Характерная схема реакции структуры материала на внутренние воздействия:

- 1 – фрагмент модели структуры бетона;
- 2 – условная граница поверхности материала (конструкции); 3 – технологические трещины;
- 4 – внутренние поверхности раздела; 5 – структурные блоки; 6 – внутренние воздействия;
- 7 – реакции активных элементов на различных уровнях структурных неоднородностей на внутренние воздействия

Внешние воздействия воспринимаются всеми уровнями структурных неоднородностей бетона. 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 с образованием новых площадей поверхности берегов и часть энергии передается на соседние структурные блоки материала. Локальные структурные изменения индивидуальны по характеру в каждой ячейке (блоке, кластере, агрегате) данной неоднородности. Это ведет к разнообразию структурных «рисунков» сложной системы при действии внешних нагрузок.

Передача деформаций, определяющих процессы структурообразования бетона на всех уровнях неоднородностей и его реакции на внешние воздействия, осуществляется посредством активных элементов в виде технологических трещин и внутренних поверхностей раздела, которые являются неотъемлемыми составляющими их структур и взаимодействуют друг с другом по сетевому принципу. Возможная схема сети, образованная ТТ и ВПР, представлена на рис. 2.

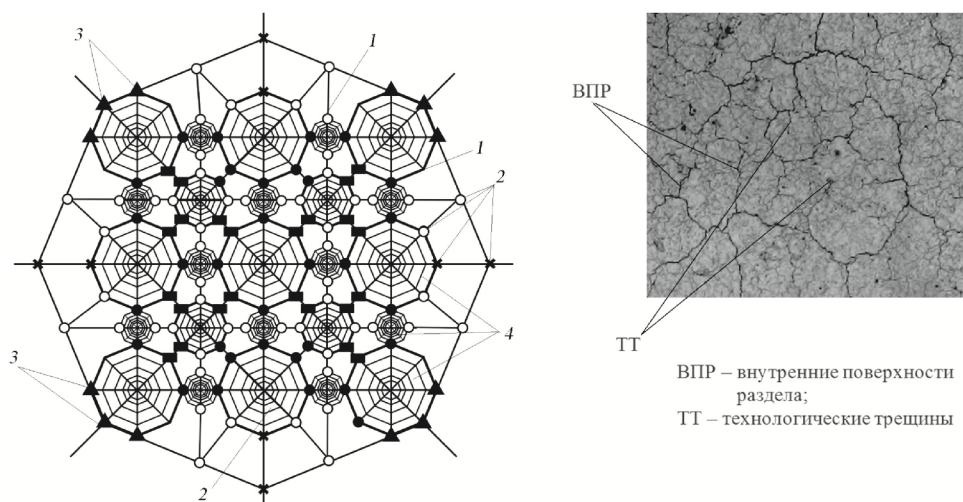


Рис. 2. Схема взаимосвязанной сети (паутины) активных элементов структуры бетона:
 1 – внутрискрутурные связи; 2 – междискрутурные связи;
 3 – междискрутурные элементы; 4 – подструктуры

Модель бетона как паутины трещин и внутренних поверхностей раздела состоит из сетей внутри сетей. «Большая сеть» включает в себя внутренние сети составляющих. Каждая такая паутина на Большой сети представляет собой набор определенных активных элементов на определенном уровне структурных неоднородностей (подсистем). При таком графическом представлении бетона можно выделить зоны взаимодействия разноуровневых паутин-составляющих, в которых они проявляют себя через внутри- и междискрутурные связи. Бетон как система структур-систем может быть разделен на автономные участки (подструктуры, подсети), которые взаимодействуют друг с другом в сетевом режиме. Это приводит к сложным образованиям переплетенных паутин, сложноорганизованных сетей, вложенных в еще более сложные сети. Основное свойство подобных сетей нелинейность по всем направлениям, что предполагает и нелинейность взаимоотношений между составляющими сети, а, значит, возможность проявления петель обратной связи, в результате чего сети приобретают способность регулировать и организовывать самих себя [11].

Деформации, возникающие под действием внешних и внутренних факторов, вызывают изменения связей на различных уровнях неоднородностей вплоть до их разрыва при достижении критических значений нагрузок, что ведет к разрушению материала конструкций.

На рис. 3 представлена схема реакций бетона на внешние воздействия (экстерьерные ситуации). При действии на системы (подсистемы) внешних нагрузок вероятны ситуации поэтапного изменения структурных параметров за счет изменения внутрискрутурных связей путем передачи информации в виде потоков деформаций через сеть (паутину). При этом уровень внешнего воздействия P снижается по мере разрыва связей внутри структур. В случае $P_4 \rightarrow 0$ структурная перестройка данного уровня завершается. На всех этапах внешних воздействий информация передается соседям путем изменения междискрутурных связей. Самосохранение данного структурного уровня реализуется путем изменения внутрискрутурных связей. При $P_4 \gg 0$ возможна потеря функции данного структурного уровня за счет разрыва внутрискрутурных связей. О катастрофической ситуации информация передается системе путем изменения параметров междискрутурных связей как нитей паутины. Дальнейший сценарий развития структурных преобразований зависит от соотношения скорости реакции элементов системы и ее структурных возможностей и скорости развития структурных преобразований при интенсивных (стационарных, динамических, повторяющихся, ударных и т.п.) внешних воздействиях.

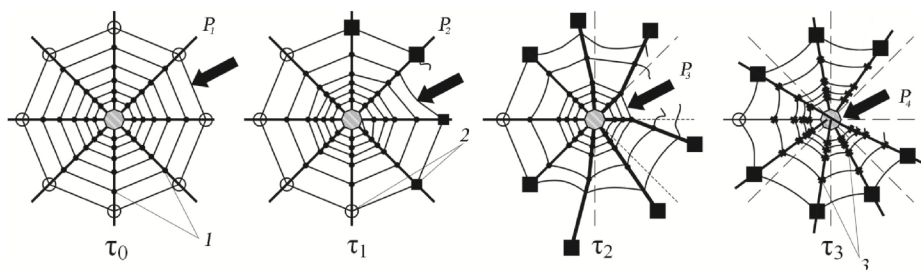


Рис. 3. Реакция системы (подсистемы) на внешние воздействия (экстерьерные ситуации):
 $P_1 > P_2 > P_3 > P_4$; 1 – внутрискрутурные связи; 2 – трансформация междискрутурных связей;
 3 – изменение внутрискрутурных связей

Реакции структуры на действие внутренних факторов (интерьерные ситуации) представлены на рис. 4. В этом случае начальные деформации, обусловленные внутрискрутурными взаимодействиями, инициируют возникновение внутренних воздействий P_i , которые вызывают изменение внутрискрутурных связей без нарушения междискрутурных взаимодействий. Дальнейшие деформационные процессы могут привести к предельным внутренним воздействиям $P_{кр}$, при которых данный структурный уровень как подсистема замыкает развивающиеся структурные изменения на себя. Последующее развитие собственных деформаций бетона как системы структур-систем создает условия для проявления критических внутренних воздействий $P_{раз}$, вызывающих необратимые структурные изменения, что ведет к изменению междискрутурных связей. При этом $P_{раз}$ для окружающих систем (подсистем) переходит из ранга внутренних факторов воздействий в ранг внешних воздействующих факторов по схеме, представленной на рис. 3.

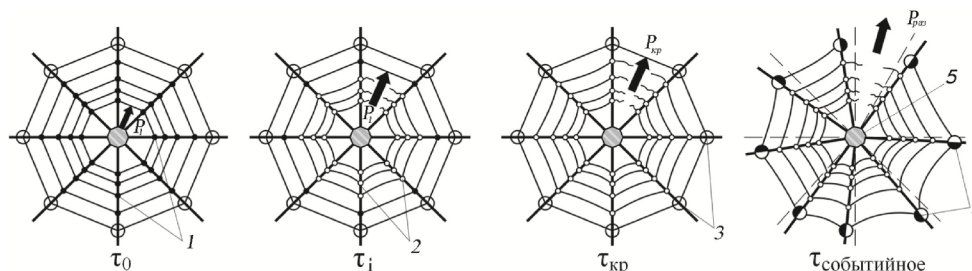


Рис. 4. Реакция системы (подсистемы) на внутренние воздействия (интерьерные ситуации):
 1 – внутрискрутурные связи; 2 – трансформация внутрискрутурных связей;
 3 – междискрутурные связи; 4 – трансформированные междискрутурные связи;
 5 – узел внутрискрутурных взаимодействий

Самосогласованные процессы, связанные с экстерьерными и интерьерными воздействиями, позволяют решать задачи обеспечения безопасного функционирования конструкций-систем в системе конструкций-систем при действии среды эксплуатации.

Заключение

Проведенный анализ позволяет заключить, что структура бетона как подсистемы строительной конструкции представляет собой определенную иерархию уровней структурных неоднородностей, которые выступают подсистемами для самого бетона, но системами для своих структурных составляющих. Это позволяет представить бетон и уровни его неоднородностей как структуры-системы в системе структур-систем. Взаимодействие и организация уровней происходит посредством их внешних и внутренних поверхностей раздела вследствие проявления на них объемных деформационных процессов. При этом уровни сами формируют свои границы в процессе собственной организации, тем самым определяя динамику ее реализации. Процессы спонтанного структурообразования приводят к возникновению новых структурных элементов – технологических трещин и внутренних поверхностей раздела, участвующих в структурном самопостроении уровней путем взаимной инициации деформаций. ТТ и ВПР образуют

сложноорганизованную сеть (паутину), в которой все составляющие взаимозависимы и взаимодействуют посредством внутри- и межструктурных связей. Реакции бетона на внешние и внутренние воздействия определяются взаимоотношениями элементов сети на различных уровнях структурных неоднородностей. При этом реализуются экстерьерные и интерьерные ситуации в зависимости от направления воздействий с поэтапным изменением структурных параметров в результате изменения связей путем передачи деформаций через сеть активных элементов. Стойкость бетона как материала конструкций под действием различных видов нагрузок определяется соотношением интенсивности структурных преобразований и скорости реакций на них составляющих его структуры. Такой подход при назначении составов и технологических режимов производства конкретных изделий и конструкций позволит более полно реализовать их потенциальные возможности по обеспечению надежной работы в различных условиях эксплуатации.

Список библиографических ссылок

1. Выровой В.Н., Коробко О.А., Суханов В.Г., Пархоменко Р.В. Строительные изделия и конструкции как открытые сложные самоорганизующиеся системы // Сб. ст. по материалам 7-й международной научной конференции, 2013, Т. 1. – Воронеж. – С. 107-115.
2. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. – М.: «Синтег», 2000. – 519 с.
3. Соломатов В.И., Выровой В.Н., Бобрышев А.Н. и др. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов. – Ташкент: ФАН, 1991. – 345 с.
4. Соломатов В.И., Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Сиренко А.В. Композиционные строительные материалы и конструкции сниженной материалоемкости. – К.: Будівельник, 1991. – 144 с.
5. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. Композиционные строительные материалы и конструкции. Структура, самоорганизация, свойства. – Одесса: Изд-во «ТЭС», 2010. – 169 с.
6. Урманцев Ю.А. Общая теория систем: состояния, приложения и перспективы развития. – М.: Изд-во «Мысль», 1988. – С. 38-124.
7. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Фиц С.Б. Бетон в условиях ударных воздействий. – Одесса: Внешрекламсервис, 2004. – 270 с.
8. Выровой В.Н., Гергега А.Н., Острая Т.В., Суханов В.Г. О некоторых особенностях описания структуры бетона как сложноорганизованного материала // Современные проблемы строительного материаловедения и технологии, 2008. – Воронеж, Т. 1. – С. 82-86.
9. Матурана У., Варела Ф. Древо познания: Биологические корни человеческого понимания. – М.: Изд-во «Прогресс-Традиция», 2001. – 224 с.
10. Чернявский В.Л. Адаптация абиотических систем: бетон и железобетон. – Днепропетровск: Изд-во Днепропетр. нац. ун-та железн. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2008. – 412 с.
11. Капра Ф. Паутина жизни. Новое научное понимание живых систем. – К.: «София». – М.: Изд-во «София», 2003. – 336 с.

Korobko O.A. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: korobko1971@mail.ua

Sukhanov V.G. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: suxanov@mail.ua

Vyrovoy V.N. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: vyrovoy@ukr.net

Tofanilo V.U. – post-graduate student

E-mail: bras06@bk.ru

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

The organization address: 65029, Ukraine, Odessa, Didrikhson st., 4

The role of deformations in the «life» of concrete

Resume

Relationship of the deformation phenomena which determine development of processes of the concrete structure organization in interior and exterior situations is analyzed. Structural heterogeneities of concrete and concrete itself as objects-systems are in the system of the objects-systems and autopoietic systems are proposed to study. This allows examining the levels of heterogeneity as independent objects of researches to identify their certain structural components and the study of their role in the organization structure, both individual levels and all concrete, included as a subsystem in the structure construction as a system with a specific structural figuration. This is shown that for effective solution of problems of safe building constructions function structures at operation must be considered self-coherence and mutual conditionality own deformations of concrete at various levels of its heterogeneities. This allows setting the directional ways of formation of the network of new structural components in the complex self-organizing open system. Using accepted models of heterogeneities of concrete at various levels of organization of its structure provided possibility of the analysis of development of waves of volume deformations which are initiated in a microstructure, participate in the organization of a macrostructure and manifest at the level of the product. There is change of the form of surfaces of partition and redistribution of deformations at the level of construction. As a result, the returnable deformation wave is generated on levels macro-, micro- and nanostructures that is affects their further organization, causing the manifestation of a new turn of deformations. Mutual initiation of transition of deformation waves from one level to another initiates changing of their limits geometry. Thereby conditions for beginning and development of technological cracks and inner surfaces of partition are created. This is determined heterogeneity of concrete, its properties and conduct under influence of operating factors.

Keywords: concrete, levels of structural heterogeneities, own deformations, active elements of structure, mutually coherent network (web).

Reference list

1. Vyrovoy V.N., Korobko O.A., Sukhanov V.G., Parkhomenko R.V. Building products and constructions as open complex self-organizing systems // The collection of proceedings «7th Int Conf Presenting». – Voronezh: VSABU, 2013. – P. 107-115.
2. Prangishvili I.V. System approach and system-wide patterns. – M.: Publishers «SINTEG», 2000 – 519 p.
3. Solomatov V.I., Vyrovoy V.N., Bobryshev A.N., etc. Polystructural theory of composite building materials. – Tashkent: Publishers «FAN», 1991. – 345 p.
4. Solomatov V.I., Vyrovoy V.N., Dorofeev V.S., Sirenko A.V. Composite building materials and constructions of the reduced material capacity. – Kiev: Publishers «Budivelnik», 1991. – 144 p.
5. Vyrovoy V.N., Dorofeev V.S., Sukhanov V.G. Composite building materials and constructions. Structure, self-organization, properties. – Odessa: Publishers «TES», 2010. – 169 p.
6. Urmantsev U.A. General Theory of systems: condition, apps and development prospects. – M.: Publishers «MYSL», 1988. – P. 38-124.
7. Vyrovoy V.N., Dorofeev V.S., Fits S.B. Concrete in the conditions of shock influences. – Odessa: Publishers «Vneshreklamservis», 2004. – 270 p.
8. Vyrovoy V.N., Gerega A.N., Ostraja T.V., Sukhanov V.G. On some features of the description of the concrete structure as complex-organized material // The collection of proceedings «Modern problems of building materials and technologies». – Voronezh: VSABU, 2008. – P. 82-86.
9. Maturana H.R., Varela F.J. The Tree of Knowledge: The Biological Roots of Human Understanding. – M.: Publishers «Progress-Traditsija», 2001. – 224 p.
10. Chernyavskii V.L. Adaptation abiotic systems: concrete and reinforced concrete. – Dnepropetrovsk: Publishers Dnepropetrovsk national university of railway transport named after academician V. Lazaryan, 2008. – 412 p.
11. Capra F. The Web of Life: A New Scientific Understanding of Living Systems. – K.: «Sofia». – M.: Publishers «Sofia», 2003. – 336 p.