

## ВЗАИМОВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ СТРУКТУРЫ БЕТОНА КАК СЕТЬ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ

Выровой В.Н., д.т.н., проф., Коробко О.А., к.т.н., доц.

Одесская государственная академия  
строительства и архитектуры, Украина

*The analysis of interrelation of the deformation phenomena, which defines development of processes of the organization of structure of concrete as network of interrelations is submitted. Concrete is presented as a subsystem of a building construction and as material of a polystructural structure with characteristic levels of structural heterogeneities. It supposes that structural features of concrete not only are included in structure of a construction, but also initiate conditions of the mutual organization. All levels of heterogeneities participate in as in structural formation of each other, and in the organization of integrated structure of concrete through development of their own deformations on limits of the partition, defining heterogeneity of material and its property.*

### **Введение.**

В работе [1] предложено рассматривать строительные конструкции как системы, что предполагает, помимо других признаков [2], выполнение ими функций в виде сложноорганизованной совокупности взаимосвязанных подсистем. В качестве одной из подсистем можно выделить бетон, который, по мнению [3], является материалом полиструктурного строения. Это позволяет представить бетон как систему, состоящую из определенного содружества собственных подструктур, которыми выступают уровни его структурных неоднородностей [4]. Неоднородности структуры бетона как подсистемы более сложной системы сосуществуют и реализуют себя в общей согласованности взаимодействий, сами определяя условия своего развития в пределах собственных границ, которые они же и создают. Отсюда следует, что бетон можно рассматривать в качестве самоорганизующейся аутопоэзной системы [5], структурообразование которой осуществляется как сеть процессов самопроизводства собственных составных частей, инициирующих взаимообусловленные структурные изменения друг друга. Определяющее положение в сети этих процессов занимают собственные деформации бетона, являющиеся откликом произошедшего преобразования структуры того или иного уровня неоднородностей и, вместе с тем, возмущающим воздействием, направляющим последующее структурное оформление других уровней.

Объемные деформации, проявляясь на границах раздела между уровнями неоднородностей, связывают их в общую сеть взаимоотношений. Исходя из

этого, была определена задача – проанализировать взаимовлияние уровней структурных неоднородностей бетона через взаимообусловленное развитие их собственных деформаций как сложносоставленного материала с сетевой организацией структуры.

### **Модели структурных неоднородностей бетона.**

Уровни структурных неоднородностей в [4] предлагается различать по механизмам их структурообразования и представлять в виде индивидуальных составляющих бетона. Каждый уровень включает свой комплекс уникальных подсистем с неповторимым набором элементов, находящихся друг с другом в определенных взаимоотношениях и взаимосвязях.

Для анализа были выделены неоднородности структуры бетона на уровне частиц вяжущего (микроструктура), уровне продуктов новообразований (наноструктура), на уровне «заполнители – матричный материал» (макроструктура) и на уровне изделия или конструкции. При выборе моделей неоднородностей приняты определенные предположения и допущения.

Микроструктура бетона может быть представлена неоднородностью типа «частицы дисперсной фазы – дисперсионная среда» как многофазная гетерогенная высококонцентрированная грубодисперсная лиофобная система с лиофильной границей раздела фаз [6]. Наноструктуру бетона можно представить уровнями структурных неоднородностей типа «продукты новообразований – дисперсионная среда» и «продукты новообразований – частицы дисперсной фазы» [4]. Макроструктура бетона представляет собой грубогетерогенную систему, состоящую из матрицы, в которой распределены заполнители. Группы заполнителей с заключенной между ними частью матричного материала образуют набор структурных ячеек, неодинаковых по свойствам и параметрам [7]. Структура бетона на уровне изделия выделена как целостность, в которую на правах равноправных элементов входят собственно сама конструкция и материал, из которого она изготовлена [1].

Организация микроуровня осуществляется путем неуравновешенных межчастичных взаимодействий [6]. В состав микроструктуры в качестве подсистемы входит наноуровень, возникновение которого связано с проявлением термофлуктуационных эффектов и достижением критических значений коэффициентом концентрации зародышеобразования. При этом микроструктура сама является составной частью макроуровня и в качестве матричного материала при взаимодействии с заполнителями определяет особенности его структурообразования. Таким образом, структура бетона может быть представлена как определенная иерархия уровней структурных неоднородностей, которые выступают подсистемами для самого бетона, но являются системами для своих структурных составляющих. Взаимодействие и организация уровней неоднородностей 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.

## Развитие собственных деформаций уровней неоднородностей при взаимообусловленной организации структуры бетона.

Объемные деформации воспринимаются и передаются через границы раздела уровней, что обеспечивает их взаимообусловленное участие в структурообразовании бетона как сложноорганизованного материала.

Принципиальная схема развития собственных деформаций в период структурообразования бетона приведена на рис.1.

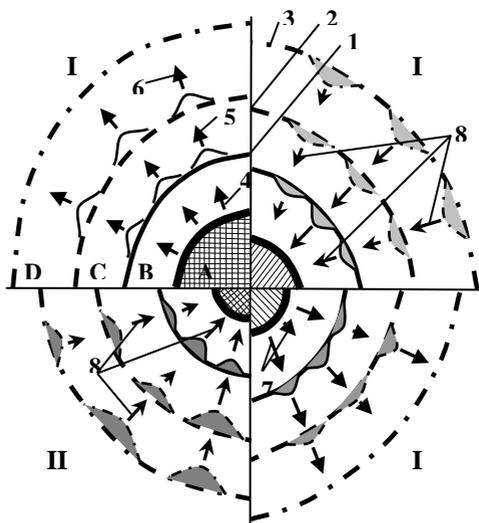


Рис.1. Схема развития собственных деформационных процессов в период организации структуры бетона как сложноорганизованного материала:

I, II, III, IV – этапы развития собственных деформаций.

А – источник возникновения объемных деформаций; В – уровень микроструктуры бетона; С – уровень макроструктуры бетона; D – уровень изделия;

1 – поверхность раздела «микроструктура - заполнитель»; 2 – поверхность раздела «макроструктура - изделие»; 3 – внешние границы изделия; 4, 5, 6 – деформации соответствующих уровней неоднородностей бетона; 7 – градиенты деформаций, вызванные дальнейшим протеканием ф/х процессов структурообразования бетона; 8 – разновременные и разнонаправленные возвратные деформации.

Источником возникновения деформаций в твердеющем бетоне являются физико-химические процессы и явления организации его начальной структуры на уровне частиц вяжущего. Деформации воспринимаются межкластерными поверхностями раздела микроструктуры и передаются на макроуровень. При этом формируется начальная деформационная волна, в результате которой градиенты объемных изменений микроуровня,

обусловленные флуктуациями его вещественного состава, передаются на уровень макроструктуры, определяя градиенты ее собственных деформаций. Это ведет к самопроизвольному формоизменению поверхностей раздела между матрицей и заполнителями, неповторимому для каждой структурной ячейки в зависимости от ее параметров.

Градиенты объемных деформаций макроструктуры бетона определяют деформационные процессы материала на уровне конструкции (изделия), уникальность протекания которых в отдельных ее объемах обуславливает неравномерное распределение полей остаточных напряжений, вызванных локальными изменениями плотности в материале. Это служит причиной перераспределения градиентов деформаций и вызывает возвратную волну их воздействия на уровни макро- и микроструктур.

Проявление разновеликих и разнонаправленных объемных деформаций структуры бетона на уровне изделия инициирует дальнейшее формоизменение поверхностей раздела макроструктуры, что отражается на продолжающихся физико-механических процессах структурообразования микроструктурной неоднородности и ведет к еще большему разнообразию ее структурных составляющих. Как результат, изменяются условия протекания физико-химических процессов организации структуры микроуровня. Это влияет на кинетику структурообразования наноструктуры с возбуждением в ней новой волны деформаций, градиенты которых воспринимаются и передаются внутренними и внешними границами микроструктуры на поверхности раздела макроуровня и структуры бетона на уровне изделия. Таким образом, происходит взаимная инициация возвратных волн перехода объемных деформаций с уровня на уровень, что позволяет структурным неоднородностям обуславливать структурную организацию друг друга в зависимости от своих внутрисистемных характеристик. Следует учитывать, что границы раздела всех структурных неоднородностей бетона принимают непосредственное участие в процессах организации, как собственной структуры, так и структуры других уровней.

Переход деформационных волн с одного уровня на другой провоцирует изменение геометрии их границ, что создает условия для развития технологических трещин и внутренних поверхностей раздела [8]. Таким образом, в качестве управляющего фактора следует выделить геометрические параметры каждого уровня неоднородностей бетона.

Изменение геометрии отдельных уровней неоднородностей позволяет через взаимовлияние параметров определять условия формирования, как их собственной структуры, так и структуры всего бетона. Это подтверждается экспериментальными исследованиями на физических моделях. Результаты показали, что форма изделий отражается на видах упаковки заполнителей и расстояниях между ними. Различные параметры макроструктуры приводят к изменению размеров агрегатов из частиц вяжущего до 2 раз, сроков схватывания матричного материала на 15-35 минут, а величины объемных деформаций – до 30%. Это свидетельствует о возможности направленной

организации структуры бетона на микроуровне как источника зарождения деформаций, определяющего формирование деформационных потоков для получения материалов с требуемой гетерогенностью. Опыты показали, что при различных геометрических характеристиках образцов коэффициент их технологической поврежденности изменяется до 40%, а водопоглощение – до 25%.

### **Выводы.**

Проведенный анализ позволяет заключить, что бетон как подсистема строительной конструкции представляет собой материал полиструктурного строения с характерными уровнями неоднородностей его структуры. Неоднородности взаимодействуют друг с другом через границы раздела в сетевом режиме, что обусловлено участием их в создании, как собственной структуры, так и интегральной структуры бетона. Взаимообусловленность структурного оформления уровней неоднородностей является следствием взаимной инициации проявления объемных изменений, сопровождающих процессы и явления гидратации вяжущего. Возникновение деформаций на уровне микроструктуры бетона вызывает зарождение деформационных волн, развитие которых оказывает влияние на организацию структуры макроуровня и формоизменение границ бетона на уровне изделия. В зависимости от геометрических параметров конструкции происходит перераспределение градиентов деформаций. Это инициирует возвратные деформационные процессы на уровне макро- и микроструктур, что ведет к очередным изменениям их структурной организации и возбуждению новых волн разновеликих и разнонаправленных деформаций. Взаимообусловленность явлений структурообразования бетона на различных уровнях неоднородностей следует признать объективным процессом, который необходимо учитывать при назначении составов и технологических режимов производства конкретных изделий и конструкций.

**Литература.** 1. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. Композиционные строительные материалы и конструкции. Структура, самоорганизация, свойства. – Одесса: Изд-во «ТЭС», 2010. – 169с. 2. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. – М.: «Синтег», 2000. – 519с. 3. Соломатов В.И., Выровой В.Н., Бобрышев А.Н. и др. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов. – Ташкент: ФАН, 1991. – 345с. 4. Соломатов В.И., Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Сиренко А.В. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости. – К.: Будівельник, 1991. – 144с. 5. Матурана У., Варела Ф. Древо познания: Биологические корни человеческого понимания. – М.: Изд-во «Прогресс - Традиция», 2001. – 224с. 6. Соломатов В.И. и др. Интенсивная технология бетонов. – М.: Стройиздат, 1989. – 260с. 7. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Фиц С.Б. Бетон в условиях ударных воздействий. – Одесса: Внешрекламсервис, 2004. – 270с. 8. Дорофеев В.С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций. – Одесса: ИМК «ГОРОД МАСТЕРОВ», 1998. – 165с.