

## ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ НАПРАВЛЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ БЕТОНОВ

*Хотынюк Е.И., Коробко О.А. Одесская государственная академия  
строительства и архитектуры, Украина*

### **Введение.**

Бетоны на различных видах вяжущих представляют собой гетерогенные полиструктурные материалы с характерными уровнями структурных неоднородностей, взаимосвязь и взаимодействие которых определяют целостность и свойства их интегральной структуры [1]. Под структурными неоднородностями понимают отдельные объемы сложносоставленной системы, контактирующие через границы раздела [2]. Выделение структурных неоднородностей как самостоятельных подсистем обусловлено качественным отличием механизмов их структурообразования, что, как следствие, предполагает поэтапность формирования общей структуры бетонов [3]. На каждом уровне структурных неоднородностей происходит спонтанное формирование собственных структур с последующим их изменением и взаимодействием, как друг с другом, так и со структурами других уровней. Выполняется своеобразная взаимная инициация образования разномасштабных подструктур. Для анализа взаимовлияния структурных уровней бетонов достаточно выделить неоднородности макроуровня: «заполнители – вяжущее» и микроуровня: «вяжущее – дисперсионная среда». Учитывая высокое объемное содержание заполнителей в составе бетонов и их способность создавать индивидуальные поля напряжения [4], можно предположить, что параметры макроструктуры (плотность упаковки, природа и взаимное ориентирование заполнителей) будут определять условия структурообразования микроструктуры. Исходя из этого, была поставлена задача – проанализировать взаимовлияние микро- и макроуровней структурных неоднородностей в начальный период организации структуры бетона.

### **Выбор модели макро- и микроструктуры бетонов.**

Представление бетонов как сложносоставленных систем с макро- и микроуровнями структурной организации основывали на следующих допущениях и предположениях:

- макроструктуру бетонов можно представить как грубогетерогенные материалы, состоящие из матрицы – вяжущего (принимается как однородная и изотропная среда), в которой

произвольным образом распределены заполнители – дискретные частицы такого размера, что при межфазных взаимодействиях в системе возникают собственные поля деформаций и напряжений [3];

- микроструктура бетонов представляет собой многофазные гетерогенные высококонцентрированные грубодисперсные лиофобные системы с лиофильной границей раздела фаз [2]. Частицы вяжущего вследствие высокой концентрации, определенных размеров и массы, исключают из анализа силу тяжести как внешнее силовое воздействие, участвуют в процессах структурообразования матричного материала путем неуравновешенных межчастичных и межфазных взаимодействий с организацией упорядоченных кластерных структур и модификацией поверхностей раздела фаз.

Для каждого уровня структурных неоднородностей характерны свои определяющие факторы, отличающиеся по степени влияния на формирование структуры бетонов. Организация макроуровня зависит от ориентации заполнителей друг относительно друга, расстояния между ними, их размеров и поверхностной активности, а также соотношения адгезионно-когезионных сил связи на границах раздела между заполнителями и вяжущим [2]. Для микроструктуры бетонов структурообразующими факторами являются степень наполнения, дисперсность и активность частиц вяжущего [4]. Вместе с тем, можно предположить, что на структурообразование микроуровня должны оказывать определяющее влияние пространственно-геометрические параметры макроструктуры, изменение которых должно отразиться на характеристиках структурных агрегатов из частиц вяжущего.

Анализ взаимовлияния макро- и микроуровней при организации структуры бетонов проводили на моделях единичных структурных ячеек. Каждая структурная ячейка включала группу имитаторов заполнителей в форме прямоугольных параллелепипедов с квадратным основанием. В качестве зерен вяжущего использовали дисперсные частицы органической природы (в количестве 60 единиц), в качестве дисперсионной среды – эпоксидную смолу без отвердителя.

### **Взаимовлияние макро- и микроструктурных неоднородностей при начальной организации структуры бетонов.**

Для определения количественных соотношений и анализа влияния макроуровня структурных неоднородностей бетонов на организацию структуры матричного материала были приняты модели структурных ячеек бетона с гексагональной упаковкой заполнителей, включающей три имитатора, и различные варианты кубической укладки с четырьмя

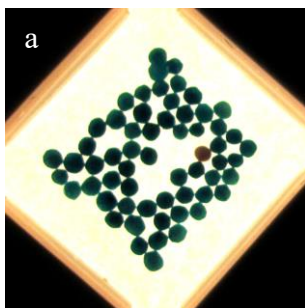
заполнителями. Природу заполнителей и частиц вяжущего в моделях подбирали таким образом, чтобы исключить возможность их контакта.

В начальный период структурообразования дисперсные частицы вяжущего произвольно располагали на поверхности эпоксидной смолы между имитаторами заполнителей на расстояниях, обеспечивающих проявление неуравновешенных сил межчастичных взаимодействий. Организация микроструктуры модельных систем осуществлялась в результате спонтанного перераспределения частиц по структурным агрегатам. Оценивали следующие параметры кластерных структур: - размеры, определяемые через протяженность внешних границ  $L_{\delta n}$  и площадь  $S_{\delta n}$  агрегатов; - форму и компактность структурных блоков через соотношения  $L_{\delta n}/n$  и  $S_{\delta n}/n$  (где  $n$  – количество частиц в блоке),

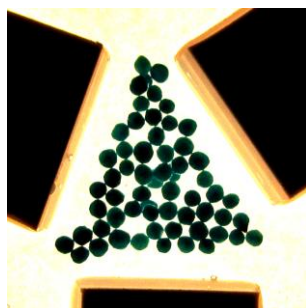
Полученные результаты показали (рис.1, а), что параметры структурных составляющих микроуровня определяются пространственно-геометрическими особенностями макроструктуры бетонов. В результате изменения типа упаковки заполнителей протяженность внешних границ агрегатов может изменяться на 17-39%, а их площадь – на 27-35%. Симметричное и асимметричное расположение включений обуславливает организацию кластерных структур, отличающихся по значениям  $L_{\delta n}$  и  $S_{\delta n}$  в среднем на 30%. Ориентирование заполнителей определяет также форму и компактность структурных агрегатов. При гексагональной и симметричной кубической схемах упаковки включений образуются системы с меньшей плотностью и менее разветвленной конфигурацией.

Исследования по изучению влияния природы заполнителей на условия организации микроструктуры бетонов проводили на моделях структурных ячеек, состав которых обеспечивал фильность и фобность имитаторов включений по отношению к составляющим дисперсной фазы и дисперсионной среде.

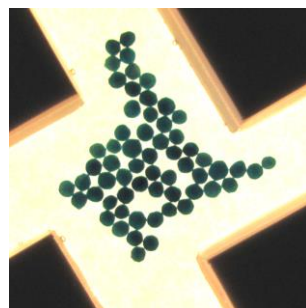
Анализ результатов показал (рис.1, б), что при однородном составе структурных ячеек, включающих заполнители гидрофобной природы, образующиеся системы отличаются упорядоченным расположением подструктур и немонотонным изменением внешней границы раздела матричного материала. В структурных ячейках с заполнителями гидрофильной природы частицы дисперсной фазы не вступают в непосредственный контакт с имитаторами включений, что ведет к повышению плотности центральных участков и граничных слоев матрицы в ячейках. При сосуществовании в одной структурной ячейке разнородных по составу заполнителей независимо от их ориентации создаются условия для организации разупорядоченных по строению систем с различной плотностью удельных объемов.



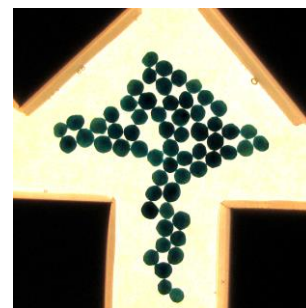
**L = 38,1 см; S = 45,4 см<sup>2</sup>**  
**L/n = 0,64; S/n = 0,76**



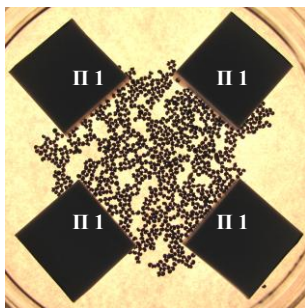
**L = 45,7 см; S = 42,7 см<sup>2</sup>**  
**L/n = 0,82; S/n = 0,72**



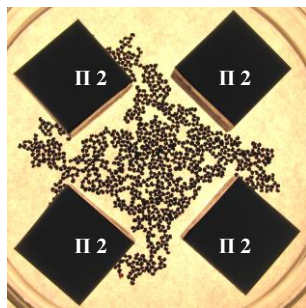
**L = 55,7 см; S = 58,7 см<sup>2</sup>**  
**L/n = 0,93; S/n = 0,98**



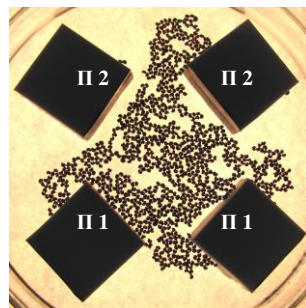
**L = 62,9 см; S = 66,1 см<sup>2</sup>**  
**L/n = 1,05; S/n = 1,18**



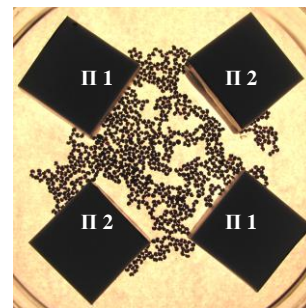
**L = 26,8 см; S = 36,3 см<sup>2</sup>**



**L = 17,0 см; S = 50,0 см<sup>2</sup>**



**L = 23,7 см; S = 46,0 см<sup>2</sup>**



**L = 18,8 см; S = 43,9 см<sup>2</sup>**

**б**

Рис.1. Влияние параметров макроструктуры на условия структурообразования микроуровня структурных неоднородностей бетона: а – ориентации заполнителей; б – гидрофобной (П 1) и гидрофильной (П 2) природы заполнителей.

Вид заполнителей определяет протяженность внешней поверхности раздела и площадь матричного материала как системы кластерных подструктур. Это подтверждается изменением величин  $L_{\text{бл}}$  и  $S_{\text{бл}}$  до 37% и 27%, соответственно, при изменении природы заполнителей и их сочетания в структурных ячейках.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности регулирования физико-механических процессов начального структурообразования растворной составляющей бетонов путем подбора рациональных параметров макроструктуры для получения материалов с требуемыми интегральными структурными характеристиками и определенным уровнем свойств.

### **Выводы.**

Проведенные исследования позволяют заключить, что:

1. Бетоны представляют собой грубогетерогенные сложноорганизованные материалы, условия формирования структуры которых определяются изменением параметров макро- и микроуровней их структурной организации.

2. Взаимодействие выделенных структурных неоднородностей бетонов, обусловленное их проращением друг в друга, предполагает, что при изменении параметров масштабного уровня «заполнители – вяжущее» должна измениться начальная организация микроструктуры, представленная неоднородностью «вяжущее – дисперсионная среда».

3. Опыты с использованием физических моделей макроструктуры бетона как содружества структурных ячеек показали, что размеры, форма и компактность кластерных подструктур микроуровня зависят от природы, плотности упаковки и ориентации заполнителей. При этом протяженность внешних границ и площадь агрегатов могут изменяться в среднем на 30%.

4. Раскрытие потенциальных возможностей взаимовлияния макро- и микроструктурных неоднородностей будет способствовать повышению эффективности управления многоуровневой организацией структуры бетонов для обеспечения их свойств.

**Литература.** 1. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Фиц С.Б. Бетон в условиях ударных воздействий. – Одесса: Внешрекламсервис, 2004. – 270с. 2. Композиционные строительные материалы и конструкции сниженной материалоемкости / В.И. Соломатов др. – К.: Будівельник, 1991. – 144с. 3. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. Композиционные строительные материалы и конструкции. Структура, самоорганизация, свойства. – Одесса: Вид-во «ТЕС», 2010. – 169с. 4. Соломатов В.И. и др. Бетон как композиционный материал. – Ташкент: УзНИИНТИ, 1985. – 31с.

которые являются неотъемлемой составляющей каждого уровня структурной неоднородности материала. Можно заключить, что на фоне общей активности всех структурных составляющих, трещины в материале играют особенную роль в обеспечении огнестойкости конструкций. Развитие разновеликих температурных деформаций отдельных составляющих и всего конструктивного элемента (консервативные элементы структуры) связано с теплопроводностью материала, и развиваются они сравнительно медленно. Достаточно медленно протекают физико-химические процессы дегидратации цементного камня при повышенных температурах, что сказывается на изменении прочности бетона. Существующие трещины адекватно в одно темпоритме реагируют на внешние воздействия, что выводит их из равновесия и ведет к подрастанию и превращению в трещины разрушения (магистральные трещины). Для подтверждения этого были проведены экспериментальные исследования по влиянию повышенных температур на изменение прочности при сжатии бетонов и их трещиностойкости, которая оценивалась по изменению коэффициента интенсивности напряжений  $K_{1C}$  при температурах 20, 200, 400, 600 и 800°C.

Экспериментальные результаты показали, что при повышении температуры до 400°C прочность при сжатии образцов практически не изменилась при уменьшении  $K_{1C}$  до 16%. Прогрев образцов до 600°C вызвал снижение прочности в 2,5 раза при снижении  $K_{1C}$  в 12 раз. Дальнейшее повышение температуры образцов до 800°C привело к снижению прочности при сжатии в 5,5 раза и снижению трещиностойкости в 72 раза. Анализ экспериментальных результатов подтвердил выдвинутое предположение об активном влиянии трещин на стойкость материала в условиях действия повышенных температур и, тем самым, на огнестойкость конструкций.

Проведенный анализ показал, что огнестойкость отдельных конструкций, части конструктивной системы и самой конструктивной системы в значительной степени зависит от внешней и внутренней безопасности конструкции как сложной открытой динамичной системы. При общей активности всей совокупности структурных элементов системы наибольшей чувствительностью к температурным воздействиям обладают трещины как самостоятельные структурные составляющие сложноорганизованных материалов. Направленное изменение начальной поврежденности материала позволит повысить внутреннюю и внешнюю безопасность конструкции в условиях действия повышенных температур.

## **Литература.**

1. Фомин Л.С. Огнестойкость монолитных железобетонных каркасных зданий повышенной этажности // Л.С. Фомин, П.А. Резник, Весник ДНАСА, выпуск 2011-4(90). – Макеевка: ДНАСА, 2011. – С.113-120.
2. Выровой В.Н. Системный подход при анализе структуры строительных конструкций // В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, В.Г. Суханов. Сб. «Ресурсоэкономные материалы, конструкции, здания и сооружения», выпуск 16, часть 1. – Ровно: НУВХП, 2008. – С.113-139.
3. Выровой В.Н. Композиционные строительные материалы и конструкции. Структура, самоорганизация, свойства // В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, В.Г. Суханов. – Одесса: «ГЕС», 2010. – 167с.
4. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. – М.: СИНТЕГ, 2000. – 528с.
5. Могилевский В.Д. Методология систем: Вербальный подход. – М.: Экономика, 1999. – 251с.
6. Князева Е.Н. Законы эволюции и саморганизации сложных систем // Е.Н. Князева, С.П. Курдюмов. – М.: Наука, 1994. – 236с.