

УДК 666: 519.8

ХАРАКТЕРНІ ЕЛЕМЕНТИ МАКРОСТРУКТУРИ БЕТОНУ

ХАРАКТЕРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МАКРОСТРУКТУРЫ БЕТОНА

SPECIFIC ELEMENTS OF MACROSTRUCTURE OF CONCRETE

Коробко О.О., к.т.н., доц., Вировой В.М., д.т.н., проф., Уразманова Н.Ф., асистент, Тофанило В.Ю., аспірант (Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса)

Коробко О.А., к.т.н., доц., Вировой В.Н., д.т.н., проф., Уразманова Н.Ф., ассистент, Тофанило В.Ю., аспирант (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Korobko O. A., candidate of technical sciences, docent, Vyrovoy V.N., doctor of technical sciences, professor, Urazmanova N.F., assistant, Tofanilo V.U., post-graduate student (Odessa State Academy Civil Engineering and Architecture)

В якості характерних елементів макроструктури бетону виділені структурні чарунки, відмітною особливістю яких є їх рівноправність при несхожості параметрів. Взаємозв'язок та взаємодія чарунок визначає прояв інтегральних властивостей бетону як їх сукупності.

В качестве характерных элементов макроструктуры бетона выделены структурные ячейки, отличительной особенностью которых является их равноправие при несхожести параметров. Взаимосвязь и взаимодействие ячеек определяет проявление свойств бетона как их совокупности.

As specific elements of macrostructure of concrete structural cells are allocated, their distinctive feature is equality at dissimilarity parameters. The interrelation and interaction of cells defines manifestation of properties of concrete as their aggregates.

Ключові слова:

Бетон, макроструктура, структурні чарунки, тріщини, поверхні розділу, різноманіття, взаємовплив, сітки.

Бетон, макроструктура, структурные ячейки, трещины, поверхности раздела, разнообразие, взаимовлияние, сети.

Concrete, macrostructure, structural cells, cracks, inner surfaces of partition, variety, interference, networks.

Введение.

Обеспечение безопасного функционирования строительной конструкции преимущественно связано с проявлением механизмов адаптации путем самоорганизации за счет сохранения отношений между теми элементами ее структуры, которые способны путем изменения собственных параметров адекватно реагировать на внешние и внутренние воздействия. В работе [1] такие элементы классифицированы как активные, и к их числу отнесены технологические трещины и внутренние поверхности раздела, развивающиеся в материале конструкции в периоды ее изготовления и самопроизвольной перестройки структуры при эксплуатации. Эти элементы являются необъемлемыми составляющими структуры как самого материала, так и конструкции. Структура материала находится в постоянной динамике, что позволяет предположить взаимообусловленность взаимодействий всех структурных составляющих, совокупность которых определяет ее потенциал. Такой подход предусматривает представление конструкции в виде системы определенного вида [2, 3], что раскрывает дополнительные возможности при выделении любого строительного изделия в качестве объекта изучения.

При декомпозиции строительной конструкции как системы выделяют определенные подсистемы, обеспечивающие ее целостность и выполнение заложенных в нее функций. В виде одной из подсистем, оказывающей доминирующее влияние на формирование структуры конструкций, может быть представлен бетон в виде сложноструктурированной среды с определенной структурной иерархией. Важной, зависимой и определяющей составляющей структуры бетона является структурная неоднородность на уровне «матрица – заполнители». Качественные и количественные характеристики заполнителей в сочетании с условиями взаимодействия твердеющего матричного материала с их поверхностью предопределяют потребительские свойства всего материала. Стохастическое распределение заполнителей затрудняет принятие рациональных рецептурных и технологических решений по созданию правильной прогнозируемой укладке заполнителей. Поэтому актуальной задачей следует считать выявление обобщающих зависимостей формирования структуры с учетом разнообразия строения структурных ячеек бетона.

Анализ характерных элементов макроструктуры бетона.

Различие исходных компонентов по составам и размерам предполагает проявление сразу нескольких качественно отличных механизмов структурообразования бетона [1]. На уровне частиц вяжущего реализуются межчастичные взаимодействия с образованием сложной взаимосвязанной совокупности разномасштабных кластерных структур. На уровне продуктов гидратации нанометрическая размерность ионов новой фазы обуславливает протекание термофлуктуационных эффектов, что ведет к возникновению множества агрегатов стабильных зародышей, формирующих собственную

структурную целостность. На уровне «заполнители – матричный материал» организация общей структуры бетона определяется способностью заполнителей создавать собственные поля деформаций в растворной части при межфазных взаимодействиях. Одновременное проявление различных механизмов структурообразования обеспечивает получение бетона как материала полиструктурного строения с определенным набором отдельных уровней структурных неоднородностей, взаимодействующих через границы раздела. Это предполагает, что все неоднородности и их подструктуры находятся в иерархическом и сетевом соподчинении [4], при котором одни уровни являются составной частью других уровней и объединены между собой проявлением обратных связей. Таким образом, все составные части структуры бетона сосуществуют в общей согласованности взаимодействий, определяющей их способность инициировать структурное построение друг друга. Иерархический порядок организации предполагает стремление систем к формированию многоуровневых структур путем образования «систем внутри других систем». При этом каждая система будет представлять собой интегрированное целое, структурные и функциональные особенности которого обеспечиваются посредством взаимодействий его частей, оставаясь при этом частью целого более высокого уровня сложности.

Отличительной особенностью бетонов всех видов и назначений является их геометрическое разнообразие на уровне макроструктуры. Это подтвердил анализ, проведенный на образцах-кернах, взятых из реальных конструкций (рис.1). Несмотря на то, что заполнители располагаются произвольно по отношению друг к другу, в объеме образцов можно выделить своеобразно-упорядоченные структурные ячейки, образованные группами заполнителей, ограничивающих часть матричного материала. Ячейки различаются типом укладки и ориентирования заполнителей, размерами и соотношением адгезионно-когезионных сил связи на границах раздела между матрицей и заполнителями. Было установлено, что объем каждого из образцов-кернах на уровне макроструктуры включает неповторяемый набор структурных ячеек с различным сочетанием параметров и индивидуальным проявлением свойств заключенного в них матричного материала. Самоподобие иерархического строения макроструктуры [5, 6] на отдельных уровнях ее организации позволяет представить данную неоднородность как сложную взаимосвязанную совокупность структурных ячеек в структурных ячейках.

Структурные ячейки в качестве элементов включены в оформление макроструктуры, которая, являясь системой для своих составных частей, связывает их в единое целое. Это означает, что формирование структуры бетона на макроуровне выполняется одновременно во всех ячейках, но ее реализация индивидуальна для каждой отдельной ячейки в зависимости от ее параметров. Таким образом, геометрическое разнообразие макроструктуры необходимо учитывать при определении сетевой взаимосвязи несхожих по составу, состоянию и свойствам структурных ячеек.

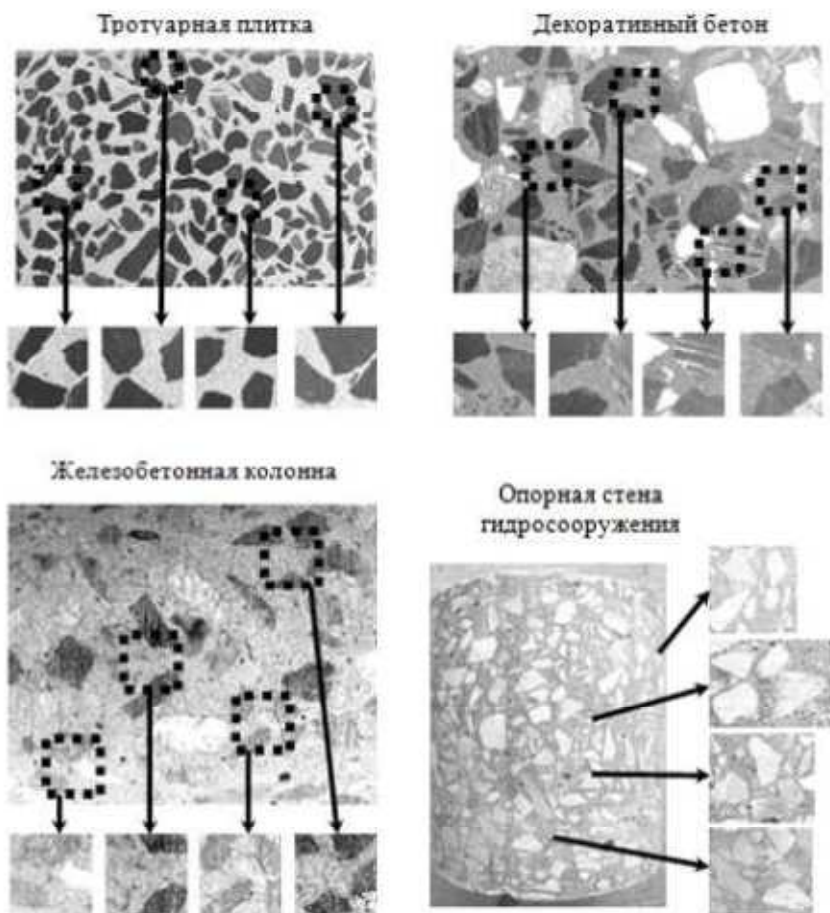


Рис.1. Разнообразие параметров структурных ячеек бетона различных составов в реальных конструкциях.

Системы, организованные в иерархической последовательности из отдельных структур, «вложенных» одна в другую, можно называть иерархиями, но их существование и выполнение целевых установок не подразумевает жесткого подчинения одних структур другим.

В таких системах отсутствует доминирующий центр, строго детерминирующий всю целостность, но может образовываться несколько центров с ограниченным влиянием на всю систему. При организации интегральной структуры бетона это предполагает проявление взаимообусловленности, взаимовлияния и согласованности взаимодействий всех его структурных уровней и составляющих их подструктур. «Иерархии» неоднородностей проявляют себя как сети, все элементы которой взаимосвязаны кооперативными отношениями. При сетевом способе организации любой структурный элемент сложной системы сам является сетью, включает в себя сети и как сеть взаимодействует с другими системами-сетями, образуя «сети внутри сетей» [4]. При таких условиях целесообразно изучать системы не как физические объекты, что предполагает вторичность вероятных отношений между ними, а анализировать и описывать их в виде сетей взаимоотношений.

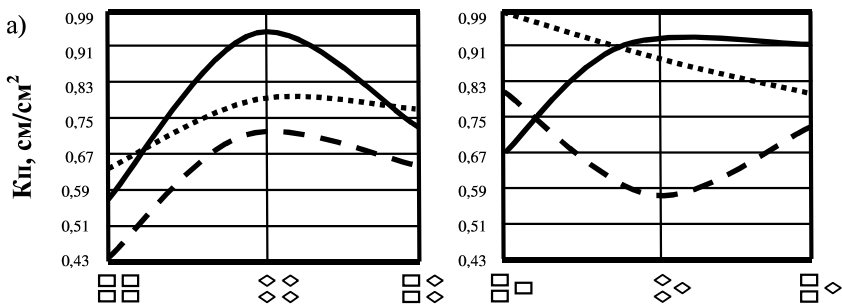
Представление бетона и уровней его структурных неоднородностей, включая границы раздела, как сложноорганизованные сети предполагает проявление определенных свойств, характерных для систем такого типа [4, 7], определяющих их способность организовывать и регулировать самих себя, создавая новые или преобразуя уже существующие структуры путем взаимного инициирования разнообразных процессов своего самопостроения. Отсюда следует, что направленное изменение начальных параметров одного из структурных уровней позволяет обеспечить наведенные пути реализации требуемого структурного оформления бетона, которые будут выполняться материалом в соответствии с потенциалом его структурных составляющих и учетом их самостоятельности в выборе ответных реакций на влияние своего окружения. Это подтверждается результатами исследований по определению влияния параметров макроструктуры как совокупности структурных ячеек на поврежденность бетона начальными дефектами (рис.2) и на разрушение и прочность образцов-моделей при сжатии (рис.3).

Каждая структурная ячейка неповторима по конфигурации и объему матричного материала, а также рельефу и состоянию поверхности заполнителей, поэтому параметры внутренних и внешних границ раздела уровней макроструктуры отличаются существенным разнообразием. Кроме того, поля деформаций, создаваемых заполнителями в матричном материале, возникают локально, но в силу сложной взаимообусловленной организации макроструктуры, они объединены в единую сеть и совместно с деформациями, проявляющимися на поверхностях раздела макроуровня, определяют структурообразование и свойства всего материала.

Сети трещин и внутренних поверхностей раздела в структурных ячейках различных параметров будут отличаться по протяженности, ориентированию и количеству составляющих их элементов. Проанализировать различие ячеек по параметрам технологических дефектов можно через коэффициент поврежденности по методике, позволяющей определить суммарную длину

трещин на фиксированной площади поверхности, $K_p = \Sigma L/S$, см/см². Опыты показали (рис.2, а), что значения K_p структурных ячеек могут отличаться до 3,5 раз.

Для определения влияния способов укладки заполнителей, их взаимного ориентирования и состояния поверхности на поврежденность матричного материала исследования проводили на моделях структурных ячеек (рис.2, б). Результаты показали, что при кубической упаковке заполнителей значения K_p изменялись до 2 раз, при гексагональной укладке – до 2,5 раз, а при различном состоянии поверхности заполнителей – до 40%.



Способы укладки заполнителей в структурных ячейках

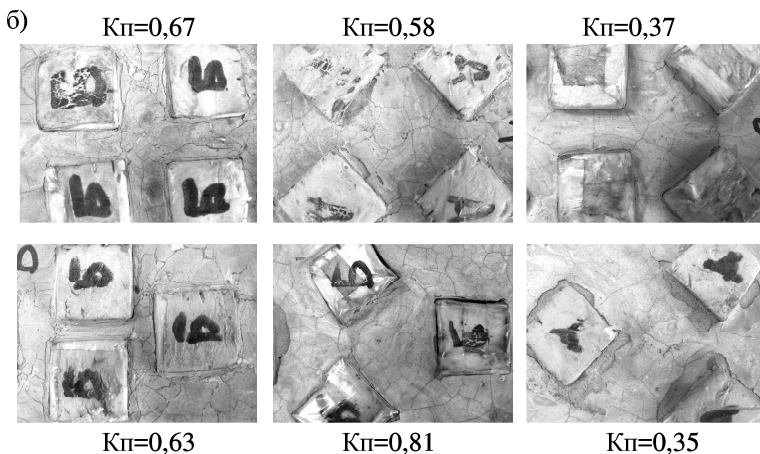


Рис.2. Влияние параметров структурных ячеек на поврежденность бетона начальными дефектами:

— контрольные образцы (Б); — образцы с обработкой ПАВ (А);
 образцы с избирательной обработкой ПАВ.

Исключительность локальных условий формирования макроструктуры должна отразиться общей гетерогенности всего материала и его способности противостоять разрушающим нагрузкам. Опыты показали (рис.3), что характер разрушения моделей образцов бетона уникален для каждого принятого типа упаковки заполнителей, их ориентирования и соотношения адгезионно-когезионных сил связи на границах раздела между ними и матрицей. В зависимости от пространственного расположения заполнителей прочность образцов на сжатие может изменяться до 2 раз, в зависимости от укладки – до 45%; при изменении состояния поверхности заполнителей – до 27%.

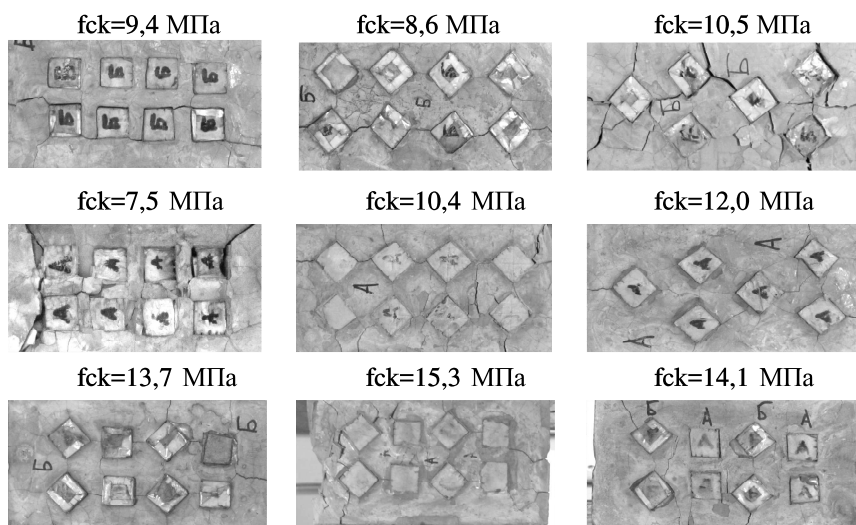


Рис.3. Влияние структурного разнообразия на разрушение и прочность бетона при сжатии в изделиях.

Тем самым подтверждается избирательность формирования и проявления свойств в отдельных объемах структуры бетона. Это свидетельствует о том, что разнообразие структурного оформления материала определяет его функциональные возможности в период работы в конструкциях. В то же время нельзя выделить какую-либо конкретную геометрию структурных ячеек, которая была бы наиболее предпочтительна по сравнению с организацией структуры своих соседей, поскольку согласно рис.1, все ячейки одинаково равноправны. Таким образом, именно взаимообусловленность и взаимодействие равноправных, но неодинаковых по практически всем параметрам структурных ячеек будет обеспечивать проявление интегральных свойств их совокупности – бетона.

Выводы.

Проведенный анализ позволяет заключить, что структура бетона как материала строительной конструкции представляет собой взаимосвязанную совокупность различных структурных неоднородностей, состоящих из собственных подструктур. Все структурные части инициируют организацию друг друга через обратные связи, определяя формирование общей структуры бетона, отличительной особенностью которой является ее разнообразие на уровне макроструктуры, представленной неоднородностью типа «матрица – заполнитель». В свою очередь данная неоднородность может быть выделена как совокупность структурных ячеек, образованных группами заполнителей в матричном материале. Все ячейки проявляют себя как характерные элементы макроструктуры, несхожие между собой практически по всем параметрам, но каждая из них вносит равноправный вклад в формирование интегральной структуры бетона. Взаимосвязь структурных ячеек и взаимообусловленная организация всех уровней неоднородностей определяет проявление свойств бетона. Неповторимость локальных объемов макроструктуры обуславливает разнообразие возникающих в ячейках новых структурных элементов в виде сетей технологических трещин и внутренних поверхностей раздела, что повышает стойкость всего материала при действии разрушающих нагрузок. Это подтверждается изменением коэффициента поврежденности образцов-моделей до 3,5 раз и повышением их прочности при сжатии до 2 раз в зависимости от параметров ячеек. Таким образом, для безопасного функционирования строительной конструкции необходимо обеспечить требуемые взаимосвязи всех составляющих структуры бетона. Для этого следует учитывать потенциал структурного разнообразия в проявлении механизмов самоорганизации и адаптации для надежной работы материала в конструкциях.

1. Выровой В.Н. Композиционные строительные материалы и конструкции. Структура, самоорганизация, свойства / В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, В.Г. Суханов. – Одесса: Изд-во «ТЭС», 2010. – 169с. **2.** Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности / И.В. Прангишвили. – М.: «Синтег», 2000. – 519 с. **3.** Выровой В.Н. Системный подход при анализе структуры строительных конструкций / В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, В.Г. Суханов. // Збірник наукових праць «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди». – Рівне, 2008. – Вип.16. – Ч.1. – С.133-139. **4.** Капра Ф. Паутина жизни. Новое научное понимание живых систем / Ф. Капра. – К.: «София»; М.: ИД «София», 2003. – 336 с. **5.** Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М.: ИКИ, 2002. – 656 с. **6.** Коробко О.А. Свойства бетона как функция структурного разнообразия / О.А. Коробко, В.Ю. Тофанило, Е.П. Кусова, А.Э. Стус // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2015. – Вип.58. – С. 198-205. **7.** Матурана У. Древо познания: Биологические корни человеческого понимания / У. Матурана, Ф. Варела. – М.: «Прогресс - Традиция», 2001. – 224 с.