

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ БЕТОНА ПРИ ПОПЕРЕМЕННОМ УВЛАЖНЕНИИ И ВЫСУШИВАНИИ

Коробко О.А., к.т.н., доцент,
Уразманова Н.Ф.,
Тофанило В.Ю.,

Одесская государственная академия строительства и архитектуры
korobko1971@mail.ua

Аннотация. Проведен анализ структурных преобразований бетона при периодических воздействиях внешней среды с учетом многовариантности его структуры на макроуровне. В конструкции бетон проявляет себя как самоорганизующаяся подсистема, которая структурно связана со средой эксплуатации. Многовариантность макроструктуры бетона улучшает его способность путем спонтанных структурных перестроек адаптироваться к изменяющимся внешним условиям. Определены факторы управления параметрами активных элементов (начальных трещин и внутренних поверхностей раздела), обеспечивающих самоподдержку структурной стабильности бетона при отрицательном действии окружающей среды.

Ключевые слова: открытая система, структурные изменения, активные элементы, поврежденность.

СТРУКТУРНІ ЗМІНИ БЕТОНУ ПРИ ПОПЕРЕМІННОМУ ЗВОЛОЖЕННІ ТА ВИСУШУВАННІ

Коробко О.О., к.т.н., доцент,
Уразманова Н.Ф.,
Тофанило В.Ю.,

Одеська державна академія будівництва та архітектури
korobko1971@mail.ua

Анотація. Проведено аналіз структурних перетворень бетону при періодичних впливах зовнішнього середовища з урахуванням багатоваріантності його структури на макрорівні. В конструкції бетон проявляє себе як підсистема, що самоорганізується, яка структурно зв'язана із середовищем експлуатації. Багатоваріантність макроструктури бетону поліпшує його здатність шляхом спонтанних структурних змін адаптуватися до зовнішніх умов, що змінюються. Визначені фактори керування параметрами активних елементів (початкових тріщин та внутрішніх поверхонь розподілу), які забезпечують самопідтримку структурної стабільності бетону при негативній дії оточуючого середовища.

Ключові слова: відкрита система, структурні зміни, активні елементи, пошкодженість.

STRUCTURAL CHANGES OF CONCRETE AT ALTERNATE WETTING AND DRYING

Korobko O. A., PhD., Assistant Professor,
Urazmanova N.F.,
Tofanilo V.U.,

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture
korobko1971@mail.ua

Abstract. The researches are devoted to a problem of ensuring safe functioning of building constructions in periodically changing operating conditions. The construction resists to the destructive influence of external environment by the compensating transformations of structure of material from which it is made. It causes need of the analysis of the structural elements of concrete, able to respond in due time to external influences, taking into account the multi-variant of its structure at the macro level that has defined the purpose and problem of the research. Self-Support concrete structural stability under the influence of external factors is defined by the possibility of redistribution responses material structure, which in turn depends on the set macro structural parameters. The originality of the approach to achievement of the purpose of research is to representation concrete macrostructure as the interconnected set of the structural cells formed by fillers in matrix material. At the same time it is supposed that real concrete include all possible set of macro structural forms. This ensures uniqueness and unpredictability of the response of concrete reactions in the form of spontaneous structural changes to external influences. Increase of the concrete structural complexity results in improvement of its ability to adapt to the changing conditions that is confirmed by experimental results. Damage difference samples after 6 cycles of alternate wetting and drying has made 10-24% depending on parameters of structural cells. The influence of structural differences on the behaviour of material persists at each cycle of interaction of the construction with the operation environment. Thus, the appointment of concrete compositions should be considered a variety of material structures of the l constructions for increase of safety of their functioning.

Keywords: open system, structural changes, active elements, damage.

Введение. Строительные конструкции рационально представлять в виде открытых сложных самоорганизующихся систем [1, 2]. Это предполагает, что в процессе эксплуатации конструкция способна воспринимать воздействия окружающей среды и приспосабливаться к ним путем компенсирующих структурных изменений. Как правило, работая в среде, периодически меняющей параметры, конструкции вынуждены постоянно адаптироваться к череде внешних воздействий с установлением между конструкцией как открытой системой и ее окружением особого вида взаимоотношений – непрерывного структурного связывания [3, 4, 5]. В ответ на каждое действие среды конструкция должна откликаться определенной перестройкой структуры, что ведет к изменению ее поведения и, следовательно, условий взаимодействия со средой.

Основополагающее значение в процессах адаптации конструкции к изменчивым внешним обстоятельствам имеет структурный потенциал материала, из которого она изготовлена. Это особенно актуально для бетона, сохранение целостности и возможность выполнения функций которого обеспечиваются многовариантностью его структуры [6, 7]. При одном и том же составе в бетоне на уровне макроструктуры можно выделить разнообразные по форме и свойствам ячейки, образованные группами заполнителей в матричном материале. Совокупность таких структурных ячеек проявляет себя как единое целое, а их различие повышает способность бетона в конструкции противостоять внешним факторам без катастрофического нарушения своей целостности. Это возможно только путем своевременных изменений структуры материала при отрицательном влиянии окружающей среды.

Цели и задачи. Исходя из вышеизложенного, была поставлена цель работы – проанализировать структурные преобразования бетона в ответ на периодически повторяющиеся внешние воздействия с учетом многовариантности его строения. Для достижения цели определена задача – показать влияние структурного разнообразия на поврежденность бетона в условиях попеременного увлажнения и высушивания.

Объекты и методы анализа. Строительная конструкция как открытая система воспринимает внешние воздействия, и материал вынужден откликаться на них путем структурных изменений. Спонтанные изменения структуры материала конструкции в период ее функционирования являются результатом изменения параметров структурных элементов,

способных адекватно реагировать на внешние и внутренние воздействия. До эксплуатации в структуре конструкции уже присутствует определенный набор таких активных элементов, к числу которых относят трещины и внутренние поверхности раздела, сосуществующие на всех уровнях структурных неоднородностей [8]. Суммарное количество трещин и внутренних поверхностей раздела определяет гетерогенность и поврежденность материала конструкции начальными дефектами. Воздействие среды эксплуатации на конструкцию вызывает локальные и интегральные изменения массы и объема материала, что инициирует избирательные перестройки его блочной структуры с соответствующим изменением параметров начальных трещин и внутренних поверхностей раздела. Таким образом, по изменению протяженности этих элементов можно количественно оценить вынужденные структурные преобразования материала конструкции под действием внешних факторов.

В конструкции бетон выступает как самоорганизующаяся подсистема, которая связана с окружающей средой через повторяющиеся акты периодичных взаимодействий. Каждый такой акт ведет к очередным структурным преобразованиям, вид которых определяется предыдущим и влияет на последующее. При этом ответ системы на внешнее воздействие зависит только от возможностей ее структуры. Среда лишь инициирует структурные перестройки, но не определяет каким способом и какими путями они будут происходить.

К началу функционирования конструкция приобретает конкретную структуру и присущий исключительно ей набор активных элементов. Многовариантность структуры бетона на уровне «заполнители – матричный материал» предполагает, что в каждой структурной ячейке выполняются собственные условия структурообразования матричного материала, и формируется своя неповторимая сеть наследственных трещин и внутренних поверхностей раздела (рис. 1). При этом сочетание ячеек в объеме бетона любой конструкции сугубо индивидуально, что еще в большей мере усложняет структурное разнообразие и интегральную поврежденность материала. Поэтому даже при одинаковом составе бетона внутренний потенциал конструкций отличается, что определяет несовпадение возможных поведенческих реакций их структуры под действием среды эксплуатации. Это было подтверждено результатами экспериментальных исследований на моделях структурных ячеек, которые подвергались попеременному увлажнению и высушиванию.

Модели представляли собой образцы размером 160x90x40 мм, изготовленные на основе цементного вяжущего одного состава, с имитаторами заполнителей в виде призм, расположенных таким образом, чтобы получить ячейки кубической и гексагональной формы. Каждая модель включала по три ячейки, объединенных в одно изделие. Различие моделей обеспечивали изменением типа укладки и ориентирования имитаторов в ячейках и изменением соотношения сил связи на границах раздела между матричным материалом и включениями. Изменение состояния поверхности призм осуществляли путем их обмазки поверхностно-активным веществом с повышенной адгезией к цементу.

Изменения структуры моделей под действием внешних факторов оценивали с помощью коэффициента интегральной поврежденности $K_p = \sum L_i / L$, который определяли как соотношение фактической длины трещины $\sum L_i$ к длине геодезической линии L (кратчайшее расстояние между точками выхода фактической трещины на торцевые поверхности образца) [8]. Измерение проводили по двум боковым (ложковым) сторонам каждой модели, вычисляя K_p как среднее арифметическое из двух значений.

Периодическое изменение условий внешней среды осуществляли путем попеременного увлажнения и высушивания моделей в течение 6 циклов. Предварительная подготовка образцов выполнялась по стандартной методике. Высушенные до постоянной массы образцы погружали в раствор танина на 4 часа, что обеспечивало в среднем 85-90% их водонасыщения от водонасыщения образцов за 24 часа. Затем образцы высушивали при $T=100 \pm 5^\circ\text{C}$ в течение 12 часов до требуемого показателя и давали остыть до $T=35-40^\circ\text{C}$. После этого цикл повторялся с увлажнением образцов в новом растворе танина. Фотофиксацию и оценку изменения поврежденности моделей проводили после каждого цикла увлажнения и высушивания.

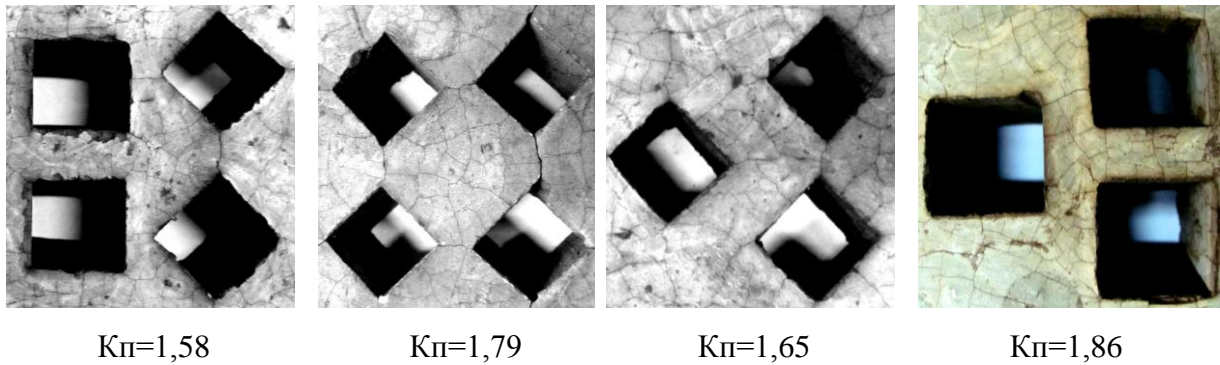


Рис. 1. Характер изменения поврежденности бетона в зависимости от макроструктурных параметров (модели структурных ячеек с различным ориентированием имитаторов заполнителей).

Результаты исследований. Развитие трещин при увлажнении и высушивании материала с блочной структурой можно представить как дискретно-непрерывный процесс, что связано с цикличностью воздействий и постоянным увеличением длины каждой отдельной трещины, как при увлажнении, так и при высушивании [9, 10]. При увлажнении материала происходит развитие начальных трещин (проявление «эффекта Ребиндера»). Полное насыщение трещины водой приостанавливает ее рост, но при этом на весь период увлажнения сохраняется метастабильное состояние трещины, являющейся потенциально «чувствительной» к возможному изменению внешних условий. Удаление воды из трещины провоцирует проявление капиллярных эффектов, на которое сразу реагирует трещина, изменяя свои геометрические характеристики. При полном удалении воды из объема трещины ею достигается очередное метастабильное состояние, при котором замедляется ее развитие. Следующий цикл увлажнения и высушивания приводит к повторению поведенческих реакций объекта, но их реализация будет теперь определяться новыми структурными параметрами. Вынужденные отклики структуры на повторяющуюся череду внешних воздействий зависят от нее самой, поэтому поведение материала при эксплуатации конструкции изначально непредсказуемо и неповторимо на всех этапах взаимодействия с внешней средой.

Результаты, полученные на моделях с различным сочетанием ячеек, показали (рис. 2), что влияние структурных отличий на перестройку структуры сохраняется при каждом цикле воздействий. В условиях экспериментов коэффициент поврежденности K_p , косвенно отражающий самопроизвольное изменение структуры материала, через 6 циклов периодического увлажнения и высушивания повысился при различных способах укладки и ориентирования заполнителей на 10-24%, а при различном состоянии поверхности заполнителей в ячейках – на 7-19%. Изменение типа укладки заполнителей привело к снижению поврежденности образцов в среднем на 9-16%, изменение соотношения сил связи на границах раздела между заполнителями и матричным материалом – в среднем на 13%.

Наиболее интенсивно преобразования структуры большинства образцов проявились после первого цикла воздействий, значения K_p изменились в среднем на 7%. После третьего цикла изменение K_p составило 11%, после шестого цикла – 13%. Изменение поврежденности образцов с ячейками, включавших заполнители с избирательной обработкой ПАВ, происходило, как правило, равномерно, без резких перепадов. Это может быть связано с обеспечением параметров активных элементов, улучшающих способность материала своевременно подстраиваться под изменяющиеся внешние условия путем соответствующих структурных перестроек. Реальные бетоны содержат весь возможный набор макроструктурных параметров, что ведет к перераспределению возникающих реакций материала и, тем самым, к самоподдержке структурной стабильности на макроуровне.

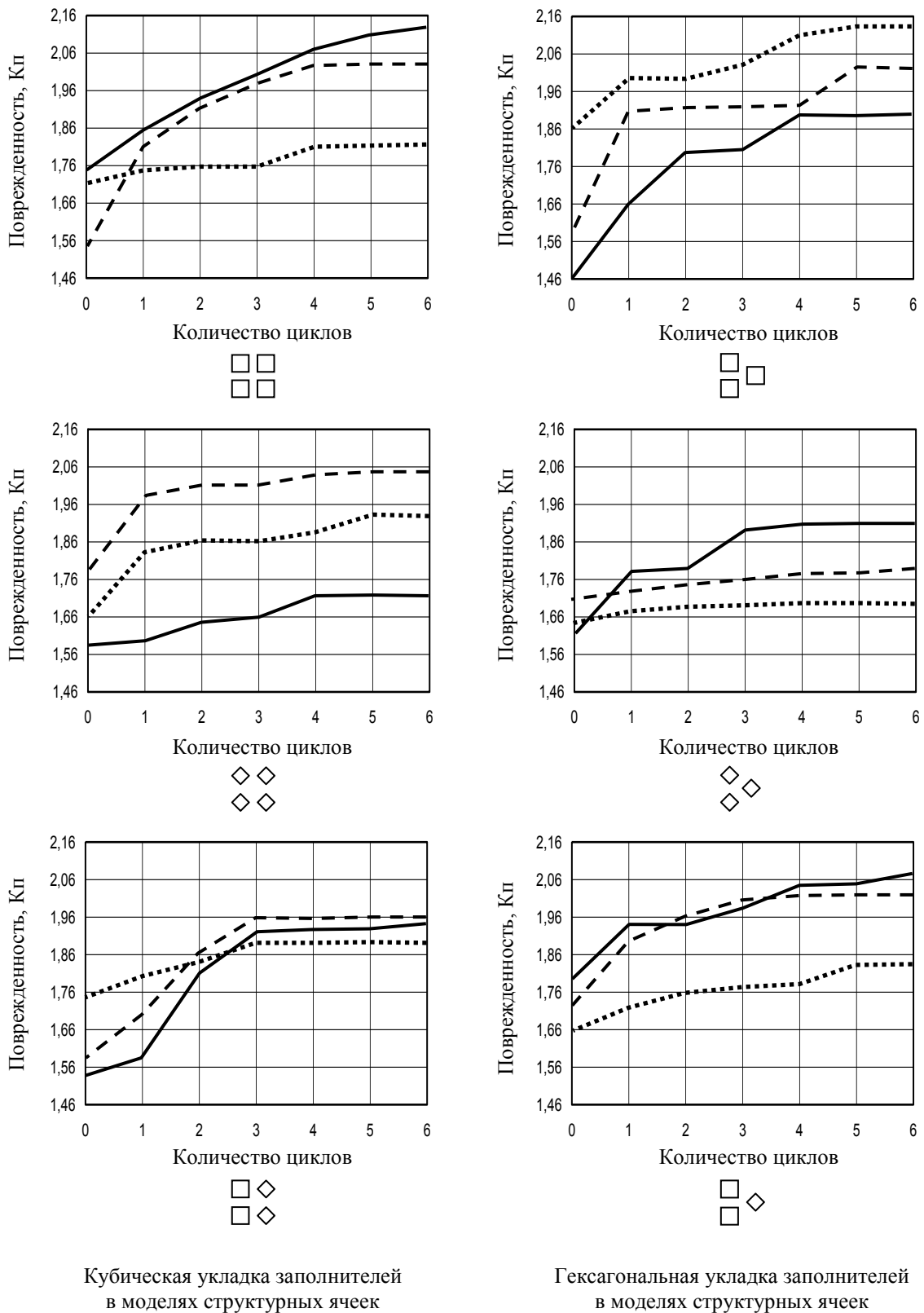


Рис. 2. Влияние макроструктурных параметров на изменение поврежденности бетона после 6 циклов попеременного увлажнения и высушивания:
 --- образцы без обработки; — образцы с обработкой ПАВ;
 образцы с избирательной обработкой ПАВ.

Выводы. Проведенные исследования и анализ позволяют заключить, что в период эксплуатации строительная конструкция как открытая самоорганизующаяся система способна адаптироваться к действиям внешних факторов путем спонтанных структурных преобразований. Это обусловлено присутствием в структуре материала конструкции элементов в виде трещин и внутренних поверхностей раздела, которые своевременно реагируют, через изменение собственных параметров, на эксплуатационные воздействия. Бетон как подсистема конструкции включает разнообразный набор макроструктурных форм (структурных ячеек), для каждой из которых характерны индивидуальные условия их формирования и возникновения сетей активных элементов, общее количество которых определяет начальную поврежденность материала. Многовариантность макроструктуры обеспечивает неповторимость структурных преобразований бетона как вынужденных откликов на периодические изменения внешней среды, тем самым, улучшая его способность противостоять агрессивным воздействиям. Так, различие значений коэффициента поврежденности образцов через 6 циклов попеременного увлажнения и высушивания составило 10-24% в зависимости от параметров структурных ячеек. Следовательно, при назначении составов бетона необходимо учитывать разнообразие структуры материала конструкций для повышения безопасности их службы.

Литература

1. Выровой В.Н. Строительные изделия и конструкции как открытые сложные самоорганизующиеся системы / В.Н. Выровой, О.А. Коробко, В.Г. Суханов, Р.В. Пархоменко. // Сборник статей по материалам 7-й международной науч. конф. – Воронеж: ВГАСУ. – 2013. – Т.1. – С.107-115.
2. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности / И.В. Прангишвили. – М.: «Синтег», 2000. – 519 с.
3. Матурана У. Древо познания: Биологические корни человеческого понимания. Монография / У. Матурана, Ф. Варела. – М.: Изд-во «Прогресс - Традиция», 2001. – 224с.
4. Варела Ф. Автономность и аутопоэз (Autonomy and Aiilopoiesis) [Электронный ресурс] / Ф. Варела // Rolh G., Schwegler H. (Eds.) Self-organizing Systems. – 1981. – P. 14-23. – Режим доступа: http://v2.circle.ru/info/52/Franticisko_Varela2.doc.
5. Капра Ф. Паутина жизни. Новое научное понимание живых систем / Ф. Капра. – К.: «София»; М.: ИД «София», 2003. – 336 с.
6. Выровой В.Н. Бетон в условиях ударных воздействий / В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, С.Б. Фиц. – Одесса: Изд-во «Внешрекламсервис», 2004. – 270с.
7. Коробко О.А. Свойства бетона как функция структурного разнообразия / О.А. Коробко, В.Ю. Тофанило, Е.П. Кусова, А.Э. Стус. – Вісник ОДАБА. – 2015. – Вип.58. – С. 198-205.
8. 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. – 169 с.
9. Суханов В.Г. Структура материала в структуре конструкции / В.Г. Суханов, В.Н. Выровой, О.А. Коробко. – Одесса: ПОЛИГРАФ, 2016. – 244 с.
10. Сильченко С.В. Изменение поврежденности цементного камня в условиях многократного увлажнения и высушивания / С.В. Сильченко, В.Н. Выровой, Л.И. Резникова, А.В. Дорофеев // Вісник ОДАБА. – 2005. – Вип.20. – С.148-154.