

## УСЛОВИЯ БЕЗОПАСНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ КАК СЛОЖНЫХ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ

**В.Г. Суханов, В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, А.С. Чернега**

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

**В работе рассмотрены вопросы влияния консервативных, метастабильных и активных элементов структуры материала на безопасную работу конструкции при действии эксплуатационных нагрузок.**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Принципиально отличные по механизму действия процессы организации структуры бетонов на различных уровнях структурных неоднородностей приводят к самозарождению новых по качественным признакам активных элементов структуры – технологических трещин и внутренних поверхностей раздела (своеобразное проявление эффектов эквивалентности). Их активность заключается, во-первых, в перманентном неравномерном распределении деформаций и напряжений в материале как в среде, во-вторых, в потенциальной возможности самопроизвольно изменять свои параметры и, в-третьих, первыми реагировать на внутренние и внешние воздействия. Кроме того, в полиструктурных материалах распределены локальные и интегральные остаточные (наследственные, технологические, начальные) деформации. В материале конструкции после завершения технологического цикла ее получения присутствует определенный набор нестабильных элементов, к которым следует отнести и реликтовые зерна минеральных вяжущих, и нестабильное деформативно-напряженное состояние, что позволяет заключить о его неравновесности. Таким образом, конструкция вступает в активную функциональную фазу как открытая сложная неравновесная система. Это предполагает, что под действием внутренних и внешних факторов отдельные подсистемы и системы в целом способны структурно трансформироваться для перехода в более стабильное состояние. Такие структурные изменения должны находиться в пределах, которые обеспечивают сохранение функциональных свойств системы. Иными словами, структурные изменения материала должны быть направлены на обеспечение безопасности конструкции как открытой сложной динамической системы.

В. Д. Могилевский [1] отмечает определенный смысловой дуализм в определении термина "безопасность". С одной стороны сама система, как самостоятельный объект, способна оказывать определенную опасность своему окружению и, с другой стороны, внешнее окружение может угрожать безопасности системы. В связи с этим при системном подходе различают для конкретной системы внешнюю и внутреннюю безопасности [1, 2].

Под внешней безопасностью понимают способность системы при ее взаимодействии с окружающей средой не вызывать изменения основных параметров, характеризующих состояние среды. Внутренняя безопасность характеризует способность системы сохранять свою целостность и основные функциональные свойства в условиях внутренних и внешних воздействий. При этом подчеркивается, что внутренняя безопасность определяется показателем гомеостаза системы [2]. Гомеостаз системы предполагает ее устойчивость (жизнеспособность и выживаемость) при действии на нее внутренних и внешних факторов. В свою очередь устойчивость системы можно рассматривать, как ее способность самостоятельно поддерживать свой гомеостазис путем самопроизвольного изменения структурных параметров (самоорганизации) и проявления, тем самым, механизмов адаптации. Это позволило определить задачи анализа – установить основные причины возможного снижения уровня безопасного функционирования конструкции как сложной открытой системы в период ее эксплуатации.

## АНАЛИЗ УСЛОВИЙ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ

Объектом анализа принята строительная конструкция, которая, в виде подсистемы, входит в состав более сложной системы (здания, сооружения, их частей). Это предполагает ее взаимодействие с окружающими другими подсистемами, с самой системой и со средой эксплуатации. В данном случае под средой эксплуатации понимается экологическая среда, в которой находится система. Основное назначение конструкции как подсистемы заключается в: содружестве с себе подобными подсистемами; обеспечении целостности и выполнении функционального назначения зданием или сооружением, как сложноорганизованной открытой системой. В связи с этим целесообразно, по нашему мнению, выделить в виде важного атрибута конструкции как подсистемы ее внешнюю безопасность. Такое выделение внешней безопасности как важного свойства обосновывается тем, что нарушение устойчивости системы (изменение гомеостаза) может нести угрозу (опасность) соседним конструктивным элементам, что может привести к снижению уровня их безопасного функционирования.

Внешняя безопасность конструкции определяется комплексом требований, к которым можно отнести: корректность проектирования на всех его стадиях и этапах; учет реальных условий эксплуатации; соблюдение нормативов по выполнению ремонтных работ. Выполнение этих требований должно обеспечить безотказность работы конструкции, которая должна сохранять работоспособность в течение нормируемого времени в заданных условиях эксплуатации, тем самым, гарантировав ее внешнюю безопасность. Поэтому в круг нашего анализа не включены вопросы, связанные с ошибками при проектировании, изготовлении и эксплуатации.

Исторически сложилось, что бетон является универсальным материалом с широким спектром применения (кроме специальных бетонов). Основным свойством бетона является его класс (марка) по прочности на сжатие, по которому назначаются все остальные и, в том числе, деформационные характеристики.

Этих показателей, как правило, достаточно в виде исходных данных, необходимых для проектирования строительных конструкций широкой номенклатуры. В оговоренных случаях к материалу конструкции предъявляются дополнительные требования (например, водонепроницаемость, морозостойкость, истираемость и т.п.). При проектировании составов бетона заданного класса технологи должны обеспечить реологические свойства бетонных смесей в зависимости от способов изготовления конструкций, скорость набора прочности бетона и дополнительные, если это требуется, свойства. Это достигается за счет использования химических и комплексных добавок как узконаправленного, так и полифункционального действия. Использование добавок, региональное изменение свойств крупных и мелких заполнителей, применение цементов различных видов и активности, различные способы приготовления бетонных смесей и бетонирования ведут к получению бетонов требуемого класса при различных количественных соотношениях исходных составляющих. Изменение количественных соотношений исходных составляющих и интенсивности технологических воздействий вызывают структурную несхожесть бетонов с равными механическими характеристиками. Структурное разнообразие бетонов одного класса предполагает, что для каждого бетона будет своя насыщенность активными и нестабильными структурными элементами, что, в свою очередь, предполагает, что они по-разному должны реагировать на действие среды эксплуатации. В силу того, что не исключены ситуации, при которых в объекте взаимодействуют конструкции, изготовленные из бетона разных классов, то их реакция на внешние воздействия будет различна. Различными будут структурные изменения во времени и, следовательно, с разной скоростью будут изменяться прочностные и деформативные характеристики. Это приведет к изменению условий работы отдельного

конструктивного элемента, что может нести в себе угрозу для безопасности работы конструкций, находящихся в функциональных связях и взаимоотношениях.

Для повышения внешней безопасности отдельной конструкции следует учитывать дуализм при ее описании и анализе. С одной стороны, она представляет собой элемент структуры (подсистему) более сложной системы и, с другой стороны самостоятельный объект, который представлен в виде открытой динамичной системы. Дуализм предполагает, что поддержание внешней безопасности конструкции как подсистемы должно быть обеспечено параметрами гомеостаза. В то же время известно, что изменение параметров в определенных диапазонах отдельных подсистем может стимулировать структурное развитие других подсистем, что не выводит систему из равновесного состояния. В связи с этим при изменении свойств конструкции как подсистемы, соседние конструктивные элементы, сохраняя свою целостность и устойчивость, должны дробить, рассеивать опасные воздействия, например, в виде распределения усилий (напряжений). Поэтому, по нашему мнению, для сложных открытых систем, целесообразно выделить в отдельные общеструктурные закономерности, не только внешнюю и внутреннюю безопасности, но и комплексную безопасность.

Под комплексной безопасностью в нашем случае понимается состояние сложной динамичной системы, при котором обеспечивается такое сочетание внешней и внутренней безопасности как комплекса взаимодействующих подсистем, которое позволяет сохранить устойчивость системы.

Одним из путей проявления эффектов комплексной безопасности можно считать самосогласованность работы активных и метастабильных элементов структуры. Обращает на себя внимание то, что пути, направленные на сохранение гомеостаза системы для различных подсистем различны. Для активных элементов характерно изменение их параметров при возможном взаимопревращении, в то время как метастабильные элементы изменяют материальную составляющую системы, провоцируют явления массопереноса как внутри структурных блоков, так и между ними и т.п. Совпадение определенных темпоритмов взаимодействия активных и нестабильных структурных элементов при действии на систему внутренних и внешних воздействий является одним из важных факторов обеспечения внутренней и, через нее, комплексной безопасности.

В [3,4] проанализированы возможные механизмы спонтанных структурных превращений материалов строительных конструкций при действии на них эксплуатационных нагрузок. Особенно подчеркивается созидательная роль начальных трещин в последующих структурных превращениях материала. В термине «трещина» содержится, по нашему мнению, смысловая двойственность, являющийся отражением его диалектической противоречивости. Поэтому следует разделить смысловую нагрузку термина «трещина» в зависимости от той роли, которую она выполняет в материале. По нашему мнению, в общем случае смысл термина «трещина» следует рассматривать, понимая их созидательную и разрушительную роль в структурном преобразовании материала конструкций.

Трещины-созидатели (ТС) - это трещины, которые самозародились на различных уровнях структурных неоднородностей в период становления материала и которые способны, изменяя свои параметры: стабилизировать метаморфозы структуры на своем уровне неоднородностей; включать в работу метастабильные элементы; превращаться во внутренние поверхности раздела и, тем самым, релаксировать деформации и напряжения; воспринимать и перераспределять на своих берегах объемные деформации и т.п.. К трещинам-созидателям относятся технологические трещины (ТТ), которые естественным образом превращаются в эксплуатационные трещины. Наличие в материале ТС делает структуру такого материала диссипативной, а их присутствие на различных структурных уровнях позволяет заключить о фрактальном строении материала конструкции. Таким образом, созидательная роль трещин, как объективно существующих элементов структуры, заключается в их влиянии на локальные структурные изменения материала,

направленные на сохранение его свойств при действии на конструкцию всего комплекса нормируемых и ненормируемых эксплуатационных нагрузок.

По определению разрушение - разделение материала на две и более частей берегами трещин при действии на материал внешних нагрузок. Таким образом, согласно существующим представлениям, разрушение представляет собой конечный результат развития трещин в материале. Это позволяет отнести к трещинам-разрушителям (ТР) трещины, которые способны разделить своими берегами материал образцов, конструкций, зданий, сооружений и других объектов на отдельные части. Такие трещины, как правило, не возникают в материале сразу (за исключением катастрофических ситуаций). Они проходят определенные этапы развития [5, 6]. Предполагается, что каждая трещина должна пройти этапы зарождения, подрастания, роста до магистральной или разрушающей трещины и необратимого роста до выхода фронта трещины на поверхность разрушаемого объекта. В силу того, что зарождение ТТ и, следовательно ТС, происходит одновременно с организацией структуры материала, то ТР появляются в структуре материала как результат исчерпания созидательных функций ТС. Это предполагает, что при определенных структурных преобразованиях ТС данного уровня неоднородностей могут прорасти на следующий уровень с одновременным увеличением площади поверхности берегов и протяженности фронта. Это ведет к увеличению концентрации напряжения у устья трещины, что предполагает ее преимущественное развитие по сравнению с более "короткими" ТС и превращение ее в магистральную трещину. Кроме того, не исключены ситуации, при которых увеличивается количество ТС в единице объема структурного блока с их спонтанным укрупнением до размера ТР (объемное разрушение). Для полиструктурных материалов зарождение и начальное развитие трещин происходит в технологический период получения материала и его переработки в готовое изделие. Дальнейшая сопротивляемость разрушению в значительной степени будет зависеть от инфляции созидательной роли начальных трещин и их переход в ранг трещин разрушения, что определяет потенциал внутренней и, в итоге, комплексной безопасности конструкции. Для этого необходимо определить, выделить, сформулировать показатели безопасности.

Под показателями безопасности (критериями безопасности) будем понимать оценку параметров активных элементов структуры, которая позволяет численно определить фазу перехода созидательных трещин в трещины разрушения. Это ставит задачи оценки состояния системы, которое должно нести информацию о структурных изменениях и определять допустимые границы изменений, превышение которых может привести к нарушению целостности системы. Следует иметь в виду, что состояние системы есть результирующая реакция всех ее структурных составляющих на весь комплекс эксплуатационных воздействий. Поэтому возможно определить доминирующие критерии, влияющие на безопасность, предельные границы их допустимых изменений и методы их определения и оценки.

В работах [7, 8] предложены методы, позволяющие оценить механические свойства бетонов, их защитные свойства по отношению к арматуре, состояние арматуры и, таким образом, состояние строительной конструкции. Разработаны способы и методы обследования и оценки состояния зданий и сооружений и отдельных конструкций, предложены способы восстановления функциональных свойств конструкций путем их ремонта и восстановления. Внедряются способы постоянного контроля изменения деформаций в ответственных строительных объектах с определением предельных состояний. Предложенные и разработанные методы оценки текущего состояния и оценки аварийных состояний отдельных строительных объектов и конструкций работают достаточно эффективно, особенно с применением современных материалов для восстановления и ремонта конструкций различного назначения. Однако это не снимает необходимости переходить от изучения изменения состояния, при котором возможна потеря целостности системы, к изучению причин, которые вызвали это состояние.

Выяснение причин, вызывающих угрозу целостности системы, делает возможным более обоснованно прогнозировать (управлять) возникновение в системе структурных элементов и структур, которые оказывают требуемое сопротивление возникающим в процессе эксплуатации угрозам.

Выявление причин наступления кризисных ситуаций при эксплуатации строительных объектов достаточно сложная задача, которая, по нашему мнению, не может быть полностью решена в рамках существующей парадигмы. Обоснованием такого заключения является следующее:

- не установлена причинная связь между структурными особенностями строительных материалов и их свойствами;
- не раскрыта роль структуры материалов в работе конструкций;
- нет информации о возникновении очень локализованного процесса разрушения материала путем развития трещины при среднем распределении деформаций и напряжений в конструкции.

В связи с этим, перспективным направлением выявления причин снижения безопасности следует считать, по нашему мнению, анализ структурных особенностей конструкции как сложной динамической системы. При этом в качестве управляющих факторов определяются элементы структуры, которые способны путем изменения собственных параметров поддерживать гомеостаз системы и, тем самым, обеспечивать ее внутреннюю и комплексную безопасность.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Проведенный анализ позволяет заключить, что обеспечение безопасного функционирования конструкции, как открытой динамической системы, связано с направленной организацией ее начальной структуры, в которую должен быть заложен, в качестве управляющего фактора, определенный набор активных, метастабильных и консервативных элементов. В зависимости от вида внешних нагрузок и воздействий эти элементы – через изменения собственных параметров, путем взаимообусловленных взаимодействий и взаимовлияния – должны способствовать сохранению целостности системы и ее безопасному функционированию.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Могилевский В.Д. Методология систем.– М.: Экономика, 1999, – 251 с.
2. Прагнашвили И.В. Системный подход и общественные закономерности. – М.: СИНТЕГ, 2000. –528 с.
3. Выровой В.Н. Моделирование конструкций как сложных систем / Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г.// Вестник ОГАСА, вып. 28, – Одесса: Внешрекламсервис, 2007. – с. 64-70.
4. Выровой В.Н. Структура материала строительных конструкций / Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г., Чернега А.С.// Будівельні конструкції, вип. 72, – Київ: ДП НДІБК, 2009. – с. 44-51.
5. Брок Д. Основы механики разрушения. – М.: Химия, 1981. – 208 с.
6. Мороз Л.С. Механика и физика деформаций и разрушения материалов. – Л.: Машиностроение, 1984. – 224 с.
7. Кузнецов Ю.Д. Обеспечение долговечности железобетонных конструкций при реконструкции промышленных предприятий / Кузнецов Ю.Д., Заславский, И.Н. – Киев.: Будівельник, 1982. – 112 с.
8. Чернявский В.Л. Адаптация абиотических систем: бетон и железобетон. – Днепропетровск: ДНУЖТ, 2008. – 412 с.