

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ КАК СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

В работе строительные конструкции представлены в виде открытых сложных систем. Для изучения структуры таких систем предлагается ряд моделей, анализ которых позволит выделить структурные параметры, обеспечивающие безопасную работу конструкций.

### Введение

Одной из основных задач исследователей, проектировщиков и инженеров является обеспечение требуемого набора характеристик инженерных конструкций и их элементов при наименьшем расходе материалов. Эта задача, как показал накопленный опыт, может решаться различными путями. Эмпирический путь предполагает экспериментальное исследование конструкций и их моделей с большим перебором вариантов конструктивных решений. Теоретические исследования многих поколений ученых и инженеров заложили основы проектирования конструкций и их элементов с учетом обеспечения их прочностных и деформационных свойств. Теоретические исследования и накопившийся экспериментальный материал базируются на представлении материала в виде непрерывной среды, которую можно описать средними характеристиками (континуальный подход). Базовая модель тела как сплошной среды предполагает его естественное ненапряженное состояние (отсутствие начальных или остаточных напряжений). В основе изучения поведения тел как сплошных сред был принят феноменологический подход, суть которого сводится к первичности экспериментальных данных [1, 2, 3, 4].

Уровень конечных свойств материалов, как показали исследования последних десятилетий, определяется их структурой [5, 6]. В свою очередь параметры структуры зависят как от исходного состава, так и от технологических условий получения самих материалов и технологических способов их переработки в изделия [7, 8]. Внутренне противоречивая связь в последовательности «состав – технология – структура – свойства» легла в основу структурного подхода при анализе

композиционных материалов. К основным задачам структурного подхода можно отнести: - определение параметров структуры, которые формируют заданный уровень требуемых свойств; - анализ механизмов формирования заданных параметров структуры на различных уровнях структурных неоднородностей; - определение допустимых границ изменения выделенных структурных параметров в условиях воздействия эксплуатационных нагрузок.

Структурный подход достаточно продуктивно реализуется при представлении объекта анализа в виде открытой системы [9, 10]. Это можно обосновать тем, что систему нельзя представить вне ее структурного оформления и без строгого ориентирования для выполнения заложенных в нее целевых функций при взаимодействии с окружающей средой [10, 11]. Рассматривать материал в виде системы, по нашему мнению, непродуктивно, так как основные свойства материала проявляются в изделиях (представление строительных конструкций как специально организованных строительных материалов). В связи с этим целесообразно, по нашему мнению, при структурном анализе конструкций, представить ее в виде системы (понимая, что сама строительная конструкция является элементом более сложной системы в виде строительного объекта). Обоснованием представления строительной конструкции в виде системы является следующее [11, 12]: - строительная конструкция характеризуется некоторой целостностью; - она состоит из определенного набора подсистем, находящихся во взаимоотношениях и связях друг с другом; - строительная конструкция строго ориентирована на выполнения заложенной в нее цели; - свойства конструкции не сводятся к индивидуальным свойствам ее составляющих; - наличие в конструкции определенной организации (структуры), которая обеспечивает согласованное функционирование отдельных подсистем и составляющих их элементов.

Для анализа строительной конструкции как системы стоит задача выбора (принятия, разработки) ее моделей [12, 13]. Разработка моделей является необходимым условием представления объекта анализа в виде системы.

### **Характеристика моделей строительной конструкции как системы**

В качестве объекта исследований и анализа в качестве примера принимаем наружную железобетонную строительную конструкцию в виде изгибаемого элемента с характерными геометрическими размерами. Основное функциональное назначение принятой конструкции заключается в ее способности воспринимать внешние воздействия в тре-

буемый период времени без потери несущей способности. В данном случае под внешними воздействиями понимается комплекс нормируемых силовых (статических и/ или динамических) нагрузок и нагрузок, связанных с воздействиями среды эксплуатации (температурно-влажностные и агрессивные химические воздействия). Взаимодействие конструкции с окружающей средой позволяет представить конструкцию в виде открытой системы [12].

Выбор моделей анализируемого объекта определяются целью и задачами исследований. В силу того, что целостный объект для выполнения общей целевой установки - сохранение работоспособности в заданном временном интервале, вынужден определенным образом противостоять внешним воздействиям различного вида и интенсивности, то возникает необходимость разработки нескольких моделей. При этом речь идет не о построении приоритетного ряда моделей объекта, а о принятии различных моделей, каждая из которых должна адекватно отражать одну из характерных особенностей выделенного объекта.

Для обеспечения выполнения основных функций конструкции как сложной системы необходимо чтобы каждая подсистема не только обладала бы набором заданных свойств, но и была бы способной их трансформировать в свойства конструкции путем внутренних взаимодействий. Под внутренними взаимодействиями понимаются взаимодействия между отдельными структурными элементами каждой подсистемы и между самими подсистемами. Для выделения отдельных структурных элементов подсистем и самих подсистем необходимо разработать структуру конструкции как сложной системы. При описании структуры с последующим ее моделированием целесообразно провести декомпозицию. Декомпозиция предполагает поэтапное выделение подсистем, декомпозицию подсистем с определением существенных структурных параметров каждой подсистемы. Это дает возможность разработать модели структуры отдельных подсистем и интегральной модели конструкции. Проведенная декомпозиция позволила выделить следующие структурные составляющие конструкции как сложной системы: - расчетная схема конструкции в рамках феноменологического подхода; - зона взаимодействия бетона с рабочей арматурой; - бетон; - цементный камень.

Нормируемые силовые нагрузки вызывают распределение по сечению конструкции сжимающих и растягивающих напряжений. Предполагается, что материал конструкции представляется сплошным и отвечает заданным требованиям по прочности и деформативности. Такая модель принятого изгибаемого элемента позволяет проанализировать распределение напряжений по сечению конструкций.

Известно, что растягивающие напряжения в изгибаемом элементе воспринимает арматура. Это вызывает необходимость перейти к модели, которая учитывает работу бетона и арматуры. На основании таких моделей изгибаемых элементов разработаны и апробированы методы расчета несущей способности конструкций при действии на них силовых нагрузок. Применяемые модели могут претерпевать определенные трансформации при учете влияния упругой и неупругой составляющих материала на работу конструкций [14, 15]. Принятые модели изгибаемых элементов позволяют адекватно описывать распределение напряжений и деформаций в конструкциях в рамках феноменологического подхода. Однако они не позволяют оценить в должной мере безопасную работу конструкции при действии на нее среды эксплуатации.

Выделение в качестве самостоятельной подсистемы зону взаимодействия бетона и арматуры обосновано тем, что нарушение совместности работы арматуры и бетона изменяет расчетную схему конструкции и может привести к преждевременному выходу ее из строя. Изменение температурно-влажностного режима эксплуатации и агрессивное действие химических элементов могут привести к потере защитных свойств бетона и развитию необратимых электрохимических процессов коррозии арматуры. Поэтому в качестве модели предложена зона взаимодействия арматуры и бетона, которая включает в себя собственно арматуру и границу ее раздела с бетоном. Модель дает возможность проанализировать явления и процессы, которые протекают при взаимодействии конструкции как открытой системы с окружающей средой с целью стабилизации заданного уровня взаимодействия для безопасного функционирования конструкции.

Обоснование выделения бетона в виде подсистемы основывается на следующем: - бетон определяет форму и размеры изделий и конструкций; - механические и деформационные характеристики бетона являются основополагающими при определении несущей способности конструкций и ее материалоемкости; - бетон первым взаимодействует с окружающей средой и от его способности сохранять физико-механические и защитные свойства зависит сохранение работоспособности конструкции как системы; - бетон сам является сложноорганизованным материалом с определенным набором структурных составляющих.

В специальной литературе [16, 17, 18] рассматриваются различные модели структуры бетонов на плотных и пористых заполнителях с применением вяжущих различной природы. В качестве базовых моделей приняты модели структурных ячеек бетонов, которые включают в себя заполнители, окруженные раствором частью (матричным мате-

риалом). В зависимости от целей анализа в моделях могут изменяться количество и ориентирование заполнителей, свойства заполнителей и матричного материала. Модели структурных ячеек могут быть плоскими и объемными. Использование моделей структурных ячеек позволяет проанализировать механизмы взаимодействия твердеющего матричного материала с заполнителями, механизмы морозного разрушения и распределения между компонентами влажностных и температурных деформаций, оценивать трещиностойкость матричного материала, механизмы формирования механических и деформационных характеристик бетонов и других композиционных материалов и т.п. Применение различных моделей структурных ячеек бетонов дает возможность на качественном уровне с получением количественных зависимостей описать процессы тепло- и массопереноса, формирования интегральных и локальных остаточных деформаций, механизмы зарождения и развития внутренних поверхностей раздела и технологических трещин и т.п.

При представлении бетона как полиструктурного материала [19] в качестве самостоятельного объекта изучения и анализа выделяется микроструктура бетона, представленная вяжущим. Поэтому выделение вяжущих в отдельную подсистему представляется обоснованным по следующим соображениям: - сами вяжущие (минеральные и органические) представляют собой сложноорганизованные системы; - вид и природа вяжущих определяют область возможной эксплуатации конструкций; - количественные соотношения вяжущих и других составляющих матричного материала определяют технологические свойства смесей и физико-технические свойства затвердевших материалов; - незавершенность процессов гидратации минеральных вяжущих в период становления бетонов создают предпосылки дальнейшего углубления этих процессов в период эксплуатации, что способствует сохранению свойств бетона [20].

В качестве моделей микроструктуры бетонов приняты модели в виде дисперсных систем. На стадии схватывания и твердения композиции на основе минеральных вяжущих рассматриваются как высококонцентрированные грубодисперсные лиофобные системы с лиофильной границей раздела фаз. Подобные модели позволяют описать механизмы организации структуры как с позиций физико-механики, так и с позиций физико-химии. При этом появляется возможность выделить и количественно оценить параметры микроструктуры, которые определяют механические свойства бетонов и их стойкость в различных условиях эксплуатации.

Проведенный анализ по декомпозиции строительной конструкции как сложной открытой системы позволил выделить следующие подсистемы:

- подсистему в виде расчетной модели, в которой материал рассматривается как сплошная среда;
- подсистему в виде зоны взаимодействия арматуры и бетона;
- подсистему, представленную макроструктурой бетона как полиструктурного материала;
- подсистему в виде микроструктуры бетонов на уровне вяжущего, которое рассматривается как сложноорганизованный материал.

Для каждой выделенной подсистемы рассмотрены их модели, анализ которых даст возможность описать параметры их структуры и оценить их роль в формировании интегральной структуры конструкции как сложной открытой системы.

### **Заключение**

Проведенный анализ по моделированию конструкций как сложных открытых систем позволил в первом приближении представить их структуру, обеспечивающую выполнение целевой функции всей системы путем реализации функционального назначения отдельных подсистем. Авторами, на этом этапе исследований и анализа, не удалось разработать (предложить, принять) интегральную структуру конструкции как сложной открытой системы. Это связано, прежде всего, с сосуществующими практически независимо друг от друга феноменологическим и структурными подходами при оценке свойств и описании структуры сложноорганизованных систем. Кроме того, проявление когнитивных свойств как на уровне отдельных подсистем, так и на уровне всей системы, не позволяют через интегральную структуру оценить комплекс свойств конструкции. Это вызвало необходимость разработки характерных моделей описания структур отдельных подсистем, что может помочь преодолеть один из существующих парадоксов структурного (системного) подхода – оценки структурных особенностей сложноорганизованных объектов методами, принятыми для неструктурированных сред.

### **Литература**

1. Гастев В.А. Краткий курс сопротивления материалов. Изд. 2-е. – М.: Наука, 1977. – 456 с.

2. Болотин В.В. Механика композиционных материалов и конструкций из них // Строительная механика. Современное состояние и перспективы развития. – М.: Стройиздат, 1972. – С. 65 – 98.
3. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. – М.: Высшая школа, 1968. – 512 с.
4. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. – М.: Стройиздат, 1976. – 736 с.
5. Ван-Флек Л. Теоретическое и прикладное материаловедение. – М.: Атомиздат, 1975. – 472 с.
6. Композиционные материалы/ Под ред. Л.Браутмана и Р.Крока: в 8-ми т. – М.: Мир, Машиностроение, 1978.
7. Ристич М.М. Основы науки о материалах. – К.: Наукова думка, 1984.-152 с.
8. Томашевский В.Т. О задачах механики в технологии композиционных материалов// Механика композитных материалов. – 1982. № 3. – С.486 – 503.
9. Пранглишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. – М.: СИНТЕГ, 2000. – 528 с.
10. Могилевский В.Д. Методология систем. – М.: Экономика, 1999. – 251 с.
11. Берталанфи Л. Общая теория систем: критический обзор //Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – С. 23 – 82.
12. Корчак М.Д., Чепцов А.Ф. Синергетика в теории и практике. – Электро-сталь: ЭПИ МИСиС, 2006. – 434 с.
13. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Основания синергетики. Синергетическое мировидение. – М.: КомКнига, 2005. – 240 с.
14. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.
15. Прокопович И.Е., Зедгенидзе В.А. Прикладная теория ползучести. – М.: Стройиздат. – 240 с.
16. Состав, структура и свойства цементных бетонов / Г.И.Горчаков, Л.П.Орентлихер, В.И.Савин и др. – М.: Стройиздат, 1976. – 144 с.
17. Осетинский Ю.В., Подвальный А.М. О выборе модели для расчета собственных напряжений в бетоне //Механика композитных материалов. – 1982. № 5. – С. 789 – 796.
18. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Фиц С. Бетон в условиях ударных воздействий. – Одесса: Внешрекламсервис, 2004. – 271 с.
19. Соломатов В.И., Выровой В.Н., Бобрышев А.Н. и др. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов. – Ташкент: ФАН, 1991. – 345 с.
20. Чернявский В.Л. Адаптация бетона. – Днепр.: Нова Идеологія, 2002.- 116 с.