

## СТРУКТУРА - ОСНОВА СТРОЕНИЯ И ПРОЯВЛЕНИЯ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

**Выровой В.Н.** *д.т.н., профессор*

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,  
Украина*

### **Введение.**

Система научных взглядов, основанных на базовых модельных представлениях, которые определяют весь набор концептуальных, методологических, теоретических и экспериментальных положений, составляют содержательную часть каждой парадигмы [1, 2]. По мнению И.Пригожина [3], такая система естественнонаучных взглядов формирует научную идеологию. Он отмечал, что «...наука и есть в некотором смысле идеология: она ведь также укоренена в культуру» [с.49, 3]. Согласно научной идеологии, приверженцем которой был И.Пригожин, можно утверждать, что по мере назревания внутренних конфликтов внутри господствующей системы взглядов, траектория движения идей данной парадигмы попадает в зону бифуркации. Это ведет к сдвигу парадигмы и, тем самым, вызывает смещение научных идеологий. Смена идеологий, включая научные, процесс достаточно длительный, зачастую болезненный и трагичный. При этом следует учитывать, что речь не идет о смене плохого на хорошее, отсталого на прогрессивное и т.п. Дрейф или смена парадигмы предполагает формирование иной системы взглядов, основанных на принципиально иных базовых моделях.

Переход через точку бифуркации изменяет структуру парадигмы, определяя ее концептуальную содержательность, уровень методологического обеспечения, теоретическую насыщенность. Формируются иные идеологические установки, создаются научные направления и школы, пропагандирующие и развивающие идеи становящейся парадигмы. Примером этому может служить изменение базовых концепций в общенаучном, включая строительное, материаловедение.

### **Структурное материаловедение.**

Простая, понятная, принимаемая на веру, базовая модель строительных материалов в виде сплошной среды позволила разработать

методологию оценки их свойств на уровне среднего. Объяснения механизмов формирования свойств материалов основываются на идеологии редуционизма (лат. *reductio* – возвращение, приведение обратно), которая исходит из предположения, что целое может быть понято в том случае, если поняты его части. Идеи допустимых нагрузок и деформаций, которые должны быть ниже экспериментально определяемых предельных значений, легли в основу расчетных методов при проектировании изделий и конструкций. На этих базовых установках обучены и воспитаны многие поколения идеологов неструктурированной среды, ее анализа и способов расчета и проектирования, как отдельных конструктивных элементов, так и самих конструкций, зданий и сооружений различных видов и назначения.

Идеология неструктурированной среды предполагает неоднозначность восприятия и оценки действительности. Наблюдается определенный дуализм при описании окружающих предметов. С одной стороны – неповторимость и уникальность происходящих процессов и предметов, заключающиеся в их структурной несхожести. С другой – неструктурированная среда, оцениваемая усредненными показателями температуры, влажности и давления в которой находятся предметы, которые отличаются значениями плотности, прочности, коэффициентами теплопроводности, термического расширения и т.п. Реальность растворяется в средних показателях качества, принятых в идеологии неструктурированной среды.

Возникший дуализм можно рассматривать как начало внутреннего конфликта внутри действующей парадигмы. Успешно развивающиеся системный подход и синергетика априорно исходят из факта существования определенной структуры в объектах любых природы и назначения. Формируется идеология холизма (гр. *holos* – весь, целый), суть которого выразил Аристотель (384 – 322 г.г. до н.э.), который утверждал, что целое по своей сути включает в себя больше, чем содержится в простой сумме составляющей его частей. Возникновение и проявление нового связано, по мнению многих исследователей, со структурной организацией объектов-систем. Ключевым фактором порождения непредвиденного является структура. Приняв структуру как феномен существующий, можно заключить о начале смены идеологических научных установок. Уместны в данном случае слова Николая Гумилева «...весь мир для меня открывается внове». Формируется система взглядов идеологически ориентированных на ответственность структуры за проявление и поддержание свойств любых объектов.

При становлении иных подходов и взглядов стоит проблема терминологии. Как правило, на начальных этапах, используется существую-

щая терминология, в которую вкладывается дополнительный смысл. К такому, одному из самых употребляемых терминов в различных отраслях знаний, относится термин *структура*.

Повсеместное употребление любого термина расширяет, до размытости, его содержательность. Логично звучат выражения типа «структура языка», «структура общества», «структура металла», «структура бетона» и много других. Уместно используется данный термин в биологии, медицине, социологии, геологии, механике, физике, химии, материаловедении и других науках. Объединяющим принципом несхожих по своей сути объектов можно считать определенную иерархию их внутреннего строения, внутреннюю архитектуру, которая содержится в синтетическом термине *структура*.

В общем случае под структурой (лат. *structura* – строение, расположение, порядок) понимают совокупность устойчивых связей объекта, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе, т.е. сохранение основных свойств, при различных внешних и внутренних изменениях [4]. Такое определение предполагает, что структура отражает некоторое фиксированное состояние объекта, позволяющее на количественном и качественном уровнях оценить и описать его строение с учетом взаимодействия и взаиморасположения всей совокупности структурных элементов и их содружеств.

По мнению [5], структуру можно рассматривать как «остановленное движение», как моментальную фиксацию состояния системы в процессе ее развития, как определенную конфигурацию взаимодействий ее составляющих. Обращает на себя внимание, что без четкого определения сущностного содержания, термин «структура» с успехом используется при описании развития диссипативных систем [6], кооперативных явлений [7], процессов самоорганизации и адаптации систем различного вида [8]. Это послужило основанием внести в сущностное содержание понятия «структура» определенные динамику и самоподдержку при описании аутопоэзисных систем [9], систем, развитие которых происходит с обострением [10]. Предложено достаточно много частных определений термина «структура» при описании отдельных кристаллов, металлов, полимеров и других материалов.

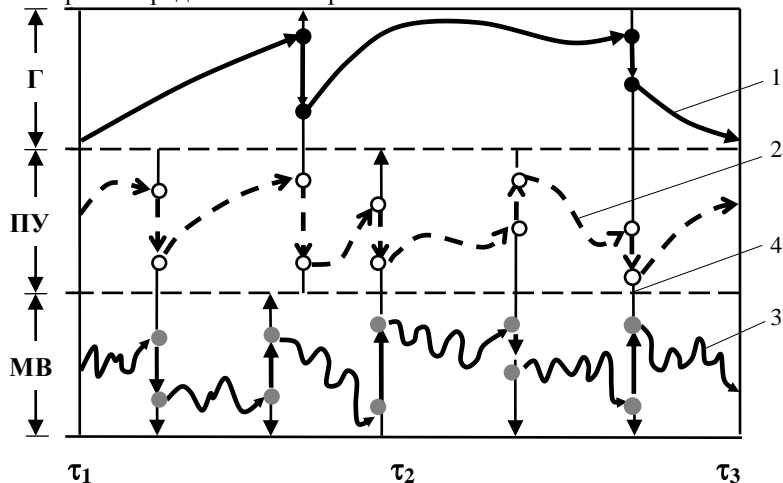
Множественность определений одного понятия предполагает его информационную ненасыщенность, определенную динамику становления, неготовность выхода на обобщенные всеудовлетворяющие смыслы. Поэтому представляется логичным направленное ограничение смысловой нагрузки термина, путем представления структуры в виде определенной *модели* (лат. *modulus* – мера, образец) объекта [11]. Такой прием позволяет концентрировать внимание на тех структурных

особенностях объекта, которые, по мнению конкретного субъекта, ответственны за проявление тех или иных свойств. Выбор модели структуры зависит от субъективных позиций конкретного исследователя - его идеологических позиций, целей исследований, методических, инструментальных и материальных возможностей и т.п. Субъективный характер «назначения» доминирующих элементов структуры содержится и в методике экспертных оценок, которые, в основном, позволяют оценить господствующую в данном временном интервале идеологию сообщества специалистов. Поэтому, при принятии той или иной модели, необходимо определить цель структурного описания конкретного объекта (механизма, процесса). Одной из целей структурного подхода является выявление управляющих факторов, позволяющих воспроизводить структуры с требуемым набором структурных элементов. Для этого необходимо установить границы масштабного описания и определить приоритетный ряд элементов структуры, обеспечивающих целевое назначение объекта анализа.

Выделению масштабных уровней по размерному принципу при описании строения материалов различной природы посвящено много исследований (например, [12, 13]). В работах [11, 14, 15] предложено выделять уровни структурных неоднородностей по принципу схожести механизмов их структурной организации, что позволяет описать интегральную структуру изделия или конструкции, представленных в виде системы определенного вида [16]. При установлении границ масштабов при анализе механизмов организации структуры исходили из установленного принципиального отличия процессов, которые реализуются под действием сил гравитации от процессов, которые практически не реагируют на действие сил тяжести. Вернадский В.И. [17] отмечал, что существует макроскопическая ниша, в которой царствует всемирное притяжение. Он подчеркивал, что пространственная разномасштабность связана с временной разномасштабностью. Это перекликается с мыслями Бергсона А. [18] утверждающего, что множественность уровней времени и множественность жизненных миров существуют на разных уровнях. Уместно, на наш взгляд, привести выводы Петито Ж. [19] о том, что для того, чтобы существовала и проявлялась эмерджентность (англ. emergence – возникновение, появление нового) необходимо два (по меньшей мере) различных уровня организации – один нижележащий «микро» и другой феноменальный «макро», которые наблюдаемы в различных пространственно-временных масштабах. Обращает на себя внимание обязательное присутствие временного ряда при рассмотрении сложного поведения сложных систем [20, 21, 22]. Не анализируя природу времени а priori будем исходить из инвариант-

ности (лат. *invarians* – неизменяющийся) времени на различных пространственных масштабных уровнях. При этом в течение определенного временного промежутка (кванта времени) количество протекающих и реализуемых событий принципиально различно, вплоть до неразличимости и, следовательно, нечувствительности [20].

Принципиальная схема сосуществования разномасштабных структур материала представлена на рис. 1.



### К В А Н Т Ы   В Р Е М Е Н И

Рис. 1. Схема разномасштабных взаимодействий:

Г – масштабный уровень, на котором действуют силы гравитации; МВ – масштабный уровень, на котором реализуются межчастичные взаимодействия; ПУ – масштабный уровень, на котором могут действовать силы гравитации и межчастичные взаимодействия.

1, 2, 3 – события на различных масштабных уровнях структуры; 4 – взаимодействия между структурными составляющими различных масштабных уровнях.

В отдельный выделен определенный уровень масштаба, который отнесен к пограничному уровню (ПУ), на котором отдельные частицы и их содружества могут находиться в метастабильном состоянии. В случае распада агрегата или отщепления от него отдельных частиц в результате протекания физико-химических, физических и физико-механических процессов, последние переходят на уровень, на котором силы тяжести не являются доминирующими. При объединении частиц в структурные агрегаты, масса которых превышает силы взаимодей-

ствий агрегатов частиц между собой, они автоматически попадают под действие силы тяжести. Можно предположить, что уровень ПУ является своеобразным связующим звеном (горизонтом событий) между двумя пространственными уровнями, отличающимися как причинами возникновения определенных событий, так и их количеством, протекающих за определенный квант времени.

Различие механизмов структурообразования на различных пространственных уровнях и принципиально не совпадающие времена реализации тех или иных актов организации структуры предполагают определенное независимое существование уровней. Процессы, протекающие на каждом уровне, подчиняются закономерностям, проявляющимся именно на данном уровне, и не могут, в большинстве случаев, осуществляться на другом уровне масштаба. Воздействия событий одного уровня на протекание событий на другом уровне относятся к рангу внешних и происходят, как правило, в несопадающих временных интервалах. Это предполагает определенную автономность развития событий на каждом уровне и определенное сосуществование разноплановых событий в целостной системе. Можно утверждать, что именно сосуществование, реализуемое через взаимовлияние разноплановых событий, обеспечивает возникновение новых (иных) качественных характеристик каждого масштабного уровня и системы в целом.

В данном случае под *событиями* понимаются совокупные процессы и явления различной природы, которые реализуются в различных пространственных масштабах в течение различных квантов времени. Возникает задача связать потоки взаимосвязанных, но принципиально различных по своей сущности событий, протекающих на разных пространственных шкалах и в течение различной временной протяженности. Для этого необходимо определить элементы, которые одновременно могут присутствовать на всех масштабных уровнях или принадлежать конкретному пространственному уровню и которые способны самим своим присутствием провоцировать рождение определенного события, рис. 1.

Для определения таких элементов стоит задача проследить историю становления структуры *конкретного* объекта. В работах [11, 14, 15] подчеркивается, что геометрические характеристики конкретного изделия оказывают существенное влияние на формирование структуры, составляющими которой являются локальные и интегральные поля остаточных (начальных, технологичных, наследственных) деформаций. Это позволяет заключить, что для направленной организации структуры с определенным набором структурных элементов, необходимо исходить из влияния индивидуальных особенностей конкретного изде-

лия. Геометрический образ конкретного объекта создает неповторимые качественные и количественные соотношения структурных составляющих на различных пространственных шкалах с темпоральным различием инициирования проявления событий. Геометрические параметры объектов следует рассматривать как существенные факторы управления процессами начальной организации структуры становящегося объекта-изделия. Таким образом, разрабатываемая *модель структуры должна соотноситься с конкретным объектом (изделием, конструкцией и т.п.)*.

Модели структуры конкретного объекта должны содержать элементы, которые направлены на обеспечение устойчивых связей, обеспечивающих целостность и тождественность объекта в условиях действия на него всего комплекса эксплуатационных нагрузок. Проведенный ранее анализ [14] позволил предложить классификацию структурных элементов, основанной на различии скорости реагировании разных элементов при воздействии на данный объект внешних и внутренних факторов. В общем случае выделены консервативные, метастабильные и активные элементы.

К *консервативным* (от лат. conservation – сохранение) структурным элементам относят элементы, которые достаточно медленно изменяют свои параметры в период выполнения объектом заложенных в него функций. Как правило, консервативные элементы принадлежат масштабному уровню, на котором доминирующими являются силы тяжести и на котором реализуются феноменологические подходы оценки свойств.

Элементы структуры, которые обладают относительной устойчивостью в данных условиях и которые способны самопроизвольно перейти в устойчивое или неустойчивое состояние при действии внешних или внутренних факторов, отнесены к *метастабильным* (от греч. meta – между, после, черз) элементам структуры.

Отличительным признаком *активных* (от лат. activus – деятельный) элементов структуры является их способность адекватно реагировать на испытанные воздействия в соразмерном временном интервале (одном темпоритме).

Под элементами (от лат. elementum – стихия, первоначальное вещество) структуры предложено понимать разномасштабные составные части системы, обладающими специфическими особенностями, обеспечивающими осуществлению определенных функций, которые содействуют достижению целей каждого структурного уровня и системы в целом. Элементы структуры могут представлять конкретные материальные образования (например, компоненты системы, поры и капилля-

ры, трещины и т.п.) и части системы, определяющие ее внутреннее состояние (например, локальные и интегральные технологические и эксплуатационные деформации, осмотические явления и т.п.).

Весь набор структурных элементов система в виде строительных изделий и конструкций [14] приобретает в технологический период получения бетона и его переработки в изделия. На этом этапе все исходные элементы активно участвуют в процессах разномасштабного структурного оформления с образованием новых элементов структуры становящейся системы. Не исключены ситуации, при которых возникающие промежуточные структурные образования инициируют зарождение и развитие принципиально иных элементов входящих в структуру конечного продукта. Характерно проявления эффектов *эквифинальности* (от лат. *aequus* – равный, соразмерный; *finalis* – конечный) – в нашем случае, реализация различных механизмов структурной организации, которые приводят к появлению качественно одинаковых элементов структуры. В качестве примеров рассмотрено зарождения технологических трещин: - при образовании дискретных структур на уровне продуктов новообразований и на уровне взаимодействия исходных зерен минеральных вяжущих; - при развитии градиентов собственных деформаций на границах раздела твердеющего матричного материала и заполнителей; - под действием возникающих градиентов деформаций на уровне изделий или конструкций [11, 14].

В результате взаимовлияния и взаимодействия всех элементов на всех уровнях неоднородностей создаются своеобразные «альбомы портретов» разномасштабных структур сосуществующих в различных временных шкалах. Под «альбомами портретов» понимается перманентная динамика структурных составляющих, совокупность которых определяет «семейный портрет» структуры в течение фиксированного временного интервала. В данном контексте сравнение с «семейным портретом» предполагает, что на нем одновременно присутствуют все элементы данной семьи-системы. Таким образом, в активную фазу функционирования конструкция-система вступает с определенным набором консервативных, метастабильных и активных элементов структуры. Дальнейшее безопасное функционирование конструкции-системы зависит от способности структурных элементов путем самоогласованных взаимодействий и путем трансформации собственных параметров обеспечивать сохранение свойств системы в заданных рамках в условиях непрерывного воздействия эксплуатационных нагрузок.

Обеспечение стабильности свойств в течение необходимого времени эксплуатации ставит задачи принятия и анализа моделей структуры, в которых могут реализовываться процессы *адаптации* (от лат. *adaptat-*



tion – приспособление) путем протекания явлений самоорганизации на всех разномасштабных и разновременных уровнях конструкции-системы. Вопросы адаптации бетонов [23, 24] следует отнести к основным факторам, определяющим жизнеспособность изделий-систем. Поэтому в моделях структуры следует определить приоритетный ряд элементов, способных изменять периоды наступления неблагоприятных событий. Это позволит выявить основные управляющие факторы, направленные на создание «семейного портрета» структуры конструкции-системы, эксплуатируемой в условиях неблагоприятных внешних воздействий.

### *Заключение*

Структурный подход на данном этапе своего развития следует рассматривать как «введение к объяснению» механизмов и процессов создания и функционирования систем различного вида и назначения. Он базируется на укореняющейся научной идеологии, базирующейся на идеях и методах системного подхода и синергетики для которых понятие «структура» является доминирующим понятием. Происходит сдвиг парадигм, основанных на базовых моделях сплошной среды, в сторону парадигм, базирующихся на моделях структурированной саморазвивающейся среды.

Проведенный анализ позволил заключить, что одним из факторов, влияющих на механизмы формирования структуры строительных изделий и конструкций, являются их геометрические характеристики. Поэтому рассматривать структуру материала без его оформления в определенные конструктивные формы бесперспективно. Кроме того, в силу размытости и информационной неопределенности обобщенного определения понятия «структура», предложено разрабатывать и анализировать модели структуры конкретных изделий и конструкций. При этом следует учитывать влияние пространственных разномасштабных уровней на механизмы организации индивидуальных структур каждого уровня, их взаимодействие и взаимовлияние, с учетом несовпадения количества реализуемых событий в течение фиксированного кванта времени, на формирование интегральной структуры конструкции-системы. Это позволяет рассматривать структуру в определенной динамике развития, как при становлении системы, так и при действии на нее эксплуатационных нагрузок. Предложено классифицировать элементы структуры по времени их реакции на внешние и внутренние воздействия на консервативные, метастабильные и активные элементы отдельных подсистем и самой системы.

## Summary

**Formation of the scientific ideology based on the basic model of the structured medium, demands the formalization of the term «structure». In this paper is offered to present objects-systems in the form of models. It is shown that the mechanism of structure formation on the solid level, where gravity prevails, differ from mechanism of structure formation on the level where forces of interparticle interactions dominate. It is asserted that geometrical characteristics of products define conditions of the organization of its integral structure. Rather independent coexistence of various solid levels assumes spontaneous realization of various events interaction of which provides a wholeness and safe functioning of a construction-system.**

## *Литература*

1. Кун Т. Структура научных революций / Кун Т. – М.: АСТ МОСКВА, 2009. – 317 с.
2. Латур Б. Наука в действии: следуя за учеными и инженерами внутри общества / Латур Б. – СПб.: Издательство Европейского университета в Санкт Петербурге, 2013. – 414 с.
3. Пригожин И. Философия нестабильности / И. Пригожин // Вопросы философии. – 1991. – Вып.6. – С. 45-57.
4. Советский энциклопедический словарь. – М.: Советская Энциклопедия, 1980. – 1600 с.
5. Сороко Э.М. Золотые сечения, процессы самоорганизации и эволюции систем: Введение в общую теорию гармонии систем / Сороко Э.М. – М.: КомКнига, 2006. – 264 с.
6. Николис Г. Познание сложного: Введение / Г. Николис, И. Пригожин. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 352 с.
7. Хакен Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам / Хакен Г. – М.: Мир, 1991. – 240 с.
8. Синергетика: Исследование и технологии. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 224 с.
9. Матурана У. Древо познания: Биологические корни человеческого понимания / У. Матурана, Ф. Варела – М.: Изд-во «Прогресс - Традиция», 2001. – 224с.
10. Князева Е.Н. Основы синергетики. Синергетическое мировидение / Е.Н. Князева, С.П. Курдюмов. – М.: КомКнига, 2005. – 240 с.
11. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / Соломатов В.И., Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Сиренко А.В. – К.: Будівельник, 1991. – 144 с.
12. Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ / Рыбьев И.А. – М.: Высшая школа, 1978. – 309 с.
13. Шейкин А.Е. Структура, прочность и трещиностойкость цементного камня / Шейкин А.Е. – М.: Стройиздат, 1974. – 192 с.

14. Выровой В.Н. Композиционные строительные материалы и конструкции. Структура, самоорганизация, свойства / Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. – Одесса: ТЭС, 2010. – 163 с.
15. Fic S.B. Procesy samoorganizacji struktury kompozytowych materialow budowlanych / Fic S.B., Vyrovoy V.N., Dorofeev V.S. – Lublin: Politechnika Lublenska, 2013. – 143 p.
16. Выровой В.Н. Системный подход при анализе структуры строительных конструкций / В.Н. Выровой, А.В. Дорофеев, В.Г. Суханов // Ресурсекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2008. – Вип.41. – Ч.1. – С.133-139.
17. Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста / Вернадский В.И. – М.: Наука, 1998. – 520 с.
18. Бергсон А. Творческая эволюция. Материя и память / Бергсон А. – Мн.: Харвест, 1999. – 1408 с.
19. Петито Э. Семиофизика и метафизический реализм / Петито Э. // Синергетика. Антология. – М.; СПб.: Центр гуманитарных инициатив, 2013. – С. 329-342.
20. Алюшин А.Л. Темпомиры: Скорость, восприятия и шкалы времени / А.Л. Алюшин, Е.Н. Князева. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 240с.
21. Пригожин И. Время, хаос, квант / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Прогресс, 1994. – 272 с.
22. Хокинс С. Три книги о пространстве и времени / Хокинс С. – СПб: ЗАО «Торгово-издательский дом «Амфора», 2014. – 503 с.
23. Шейнич Л.А. Процессы самоорганизации структуры строительных композитов / Л.А. Шейнич, Е.К. Пушкарева. – К.: Гамма-Принт, 2009. – 153 с.
24. Чернявский В.Л. Адаптация абиотических систем: бетон и железобетон / Чернявский В.Л. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2008. – 412 с.