

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

*Д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой
производства строительных изделий и конструкций В.Н.
Выровой*

*Украина, г. Одесса, тел.: +3(8097)4984979;
e-mail: vyrovoy@ukr.net*

*К-т техн. наук, доцент кафедры архитектурных
конструкций, реставрации и реконструкции зданий,
сооружений и их комплексов О.А. Коробко*

*Украина, г. Одесса, тел.: +3(8096)3690522;
e-mail: korobko.oksana@list.ru*

*К-т техн. наук, доцент кафедры железобетонных и
каменных конструкций В.Г. Суханов*

Украина, г. Одесса, тел.: +3(8097)4804113;

*Львовский государственный университет безопасной
жизнедеятельности МЧС Украины*

*К-т техн. наук, доцент, заместитель директора
института пожарной и техногенной безопасности*

Р.В. Пархоменко

Украина, г. Львов, тел.: +3(8067)6880572.

*Odessa State Academy Civil Engineering and Architecture
D.Sc.in Engineering, Professor, Chief of chair "Production
of Building Products and Constructions" V. N. Vyrovoy
Ukraine, Odessa, tel.: +3(8097)4984979;*

e-mail: vyrovoy@ukr.net

*C.Sc.in Engineering, Assistant professor of chair
"Architectural Constructions, Restoration and
Reconstruction of Buildings, Constructions and their
Complexes" O. A. Korobko*

Ukraine, Odessa, tel.: +3(8096)3690522;

e-mail: korobko.oksana@list.ru

*C.Sc.in Engineering, Assistant professor of chair
"Reinforced Concrete and Stone Constructions" V. G.
Suhanov*

Ukraine, Odessa, tel.: +3(8097)4804113;

Lviv State University Life Safety MOE

*C.Sc.in Engineering, Assistant professor, Associate director
of Institute of Fire and Technogenic Security R.V.
Parkhomenko*

Ukraine, Lviv, , tel.: +3(8067)6880572.

В.Н. Выровой, О.А. Коробко, Р.В. Пархоменко, В.Г. Суханов

СТРОИТЕЛЬНЫЕ ИЗДЕЛИЯ И КОНСТРУКЦИИ КАК ОТКРЫТЫЕ СЛОЖНЫЕ САМООРГАНИЗУЮЩИЕСЯ СИСТЕМЫ

Постановка задачи. Ключевым фактором является представление строительной конструкции в виде открытой сложной самоорганизующейся системы.

Результаты. Сформулированы исходные теоретические положения о процессах самоорганизации материала конструкций как в период ее получения, так и в период действия на конструкцию совокупности эксплуатационных нагрузок. Обосновано выделены активные элементы структуры материала, образующие взаимосвязную разномасштабную фрактальную сеть, которые в значительной степени определяют функциональные свойства конструкций.

Выводы. Представление конструкции в виде системы позволяет определить управляющие факторы, от активности которых зависит безопасное функционирование конструкции-системы в системе себе подобных конструкций.

Ключевые слова: конструкция-система, система конструкций систем, активные элементы структуры, взаимосвязная сеть (паутина).

Problem definition. The key factor is the concept of a building construction in the form of open complex self-organizing systems.

Results. Initial theoretical positions about processes of self-organizing of a material of constructions as during its receiving, and during action on a design of set of operational loads are formulated. It is proved active elements of structure of the material, forming mutually coherent heterogeneous scale fractal network which substantially define functional properties of constructions are allocated.

Conclusions. The concept of a construction in the form of system allows to define operating factors on which activity safe functioning a construction-system in system of similar constructions depends.

Keywords: construction-system, system of constructions of systems, active elements of structure, mutually coherent network (web).

Введение. В работах [1, 2] показано, что в качестве объекта изучения целесообразно принять строительную конструкцию в виде системы определенного вида. Это дает возможность исследовать саму конструкцию как систему и проанализировать ее роль в системе конструкций-систем (зданий, сооружений). Такой подход позволяет обосновано включить материал при анализе состояния строительных объектов-систем. Существующая практика обследования и диагностики зданий и сооружений показала, что определение текущего состояния материала в конструкциях и сооружениях является необходимой и обязательной процедурой и входит в состав комплекса работ по обследованию как составная часть методики их проведения. Логичным обоснованием таких методик является, по нашему мнению, представление конструкции-системы в системе конструкций-систем.

Строительные конструкции как открытые сложные самоорганизующиеся системы.

Многотысячелетний опыт эксплуатации строительных объектов различного назначения показал, что разрушение (гибель) всего объекта или отдельного конструктивного элемента происходит в результате развития в нем трещин. Разрушение, которое представляет собой разделение объекта на невзаимодействующие фрагменты, может происходить в локальных зонах (например, эффект сглаживания ребер и граней, шелушение поверхности и т.п.) и в значительных объемах (например, развитие трещин в стенах зданий, опорах мостов, плотинах гидротехнических сооружений и т.п.). Объем трещины, по сравнению с объемом изделия, в котором она возникает, очень незначительный. Рост трещины происходит в локализованных участках конструкции, вызывая в ней катастрофически необратимые процессы. Эти процессы происходят в среде, которая принята сплошной и состояние которой можно оценить средними деформациями и прочностными характеристиками. Характерно, что трещины возникают не в стенах зданий, не в опорах мостов и не в дамбах плотин. Трещины возникают в материалах стен, опор и дамб. Трещины растут в материалах конструкций с удобным для них прорастанием на материал соседних конструктивных элементов до выхода на внешние границы изделия или сооружения. Объективное существование трещин в материале эксплуатируемых конструкций дает основания отнести их к элементам структуры как самого материала, так и конструкции. Таким образом, даже на интуитивном уровне, следует заключить о существовании определенной структурной организации материала и, следовательно, изготовленной из него конструкции. Представление конструкции как системы предполагает существование определенного ее структурного оформления, позволяющего приобрести комплекс заданных свойств, которые должны сохраняться в допустимых пределах в нормируемый период активного функционирования. Поэтому стоит задача – обосновано определить к каким видам систем должна быть отнесена конструкция для выделения управляющих факторов, позволяющих направленно изменять (регулировать) требуемый набор структурных составляющих.

В книге «Скрытые связи» Фритьоф Капра [3], основываясь на позиции Умберто Матураны и Франциско Варелы [4], отмечает, что различие между неживым и живым определяется по способам взаимодействия с окружающей средой. В качестве доказательства утверждается, что если ударить по камню, то он среагирует на удар и его поведение можно рассчитать, используя основные законы механики Ньютона. В то же время, если ударить собаку, то она отреагирует на удар структурными преобразованиями, что изменит ее дальнейшее поведение. Отмечается, что непрерывные структурные изменения в ответ на воздействия среды – и, соответственно, постоянная структурная адаптация – это ключевая характеристика поведения всех живых существ. Нам представляется, что такое сравнение не совсем удачное. По сути, сравниваются две модели объектов: с одной стороны – модель сплошной неструктурированной среды, с другой стороны – модель структурированной, способной к проявлению эффектов самоорганизации, среды. Если предположить, что камень определенным образом структурированный, то внешнее воздействие в виде удара приведет, в зависимости от силы удара, к локальным или масштабным изменениям структуры. Это, как следствие, окажет влияние на изменение свойств камня (его поведения). И в то же время этот пример показывает, что все системы, независимо от их природы, воспринимают внешние воздействия и соответствующим образом реагируют на них.

Строительные изделия и конструкции независимо от их назначения и месторасположения в зданиях и сооружениях вынуждены постоянно отражать атаки окружающей среды. Это говорит о том, что строительные конструкции являются открытыми системами. Это предполагает непрекращающиеся взаимодействия конструкций со своим окружением.

В работах [2, 5] показано, что конструкцию можно рассматривать в виде специально оформленного материала. В свою очередь материал состоит из различных по природе, количеству, размерам исходных компонентов, которые через достаточно сложные физико-химические процессы гидратации и физико-механические процессы структурообразования приобретают требуемый набор физико-механических характеристик. Профессор В.И. Соломатов предложил рассматривать строительные материалы как композиционные полиструктурные материалы, организованные по принципу «структура в структуре» или «композит в композите». Полиструктурный подход базируется на модели сложноструктурированной среды с определенной структурной иерархией. По сути, полиструктурный подход является системным подходом, поскольку предполагает рассматривать строительные материалы с холистических позиций.

Сложность строительных конструкций как открытых систем связана не только со сложными минералогическими составами минеральных вяжущих, многокомпонентностью, но и с многогранными явлениями и процессами, которые происходят как в период становления материала конструкций, так и в период эксплуатации. На сложность структуры материала накладываются процессы силового стационарного и динамического воздействия, что ведет к развитию локальных и общих деформаций в материале. Это, в свою очередь, провоцирует перераспределение усилий между компонентами, локальное изменение структурных параметров, диффузионную миграцию поровой жидкости и т.п. В силу того, что материал полиструктурный, состоящий из различных по механизмам организации структурных неоднородностей, то на каждом уровне наблюдается как своя сложность, так и характерные для данного уровня свойства. Все перечисленное позволяет отнести строительные конструкции к открытым сложным системам.

Построенные человеком здания и сооружения из камня, дерева, кирпича и бетона способны сохранять свои функции на протяжении столетий и тысячелетий. За такие периоды времени случались землетрясения, ураганы и смерчи, войны и другие катаклизмы. Возникает закономерный вопрос, почему, за счет каких внутренних механизмов материал сохранил свои свойства и, следовательно, сохранили свои свойства конструкции-системы в системе конструкций систем? В работах [6, 7] показано, что многие открытые системы обладают удивительным свойством преобразовывать свою структуру под действием внешних факторов таким образом, чтобы сохранить свойства системы в допустимых нормах. Такие спонтанные структурные перестройки относятся к процессам самоорганизации. Одним из первых, кто обратил внимание на подобные явления, был Иммануил Кант. В работе «Критика чистого разума» он отмечал, что организм является как организованным, так и самоорганизующимся. Обычно под самоорганизацией понимают самопроизвольное изменение структуры без вмешательства извне.

Процессы самоорганизации в материале конструкций можно разделить на два вида:

- процессы самоорганизации в технологический период изготовления конструкций;
- процессы самопроизвольной перестройки структуры в период эксплуатации конструкций.

Организация структуры материала в технологический период получения конструкции в значительной степени зависит от геометрических характеристик последней [8]. В работах [2, 8] показано, что в материале на различных уровнях структурных неоднородностей самозарождаются принципиально новые элементы структуры в виде трещин и внутренних поверхностей раздела. Кроме того, на уровне конструкции в этот период формируются локальные и интегральные поля технологических (начальных, остаточных, наследственных) деформаций. В результате взаимообусловленных процессов структура системы состоит из активных, метастабильных и консервативных элементов, по классификации, предложенной в [2]. Таким образом, конструкция как открытая сложная система вступает в активную фазу функционирования с определенным набором элементов структуры, самозародившихся в

технологический период ее получения. Принципиальная схема структурных изменений конструкции как открытой сложной системы в периоды ее жизни представлена на рис. 1.

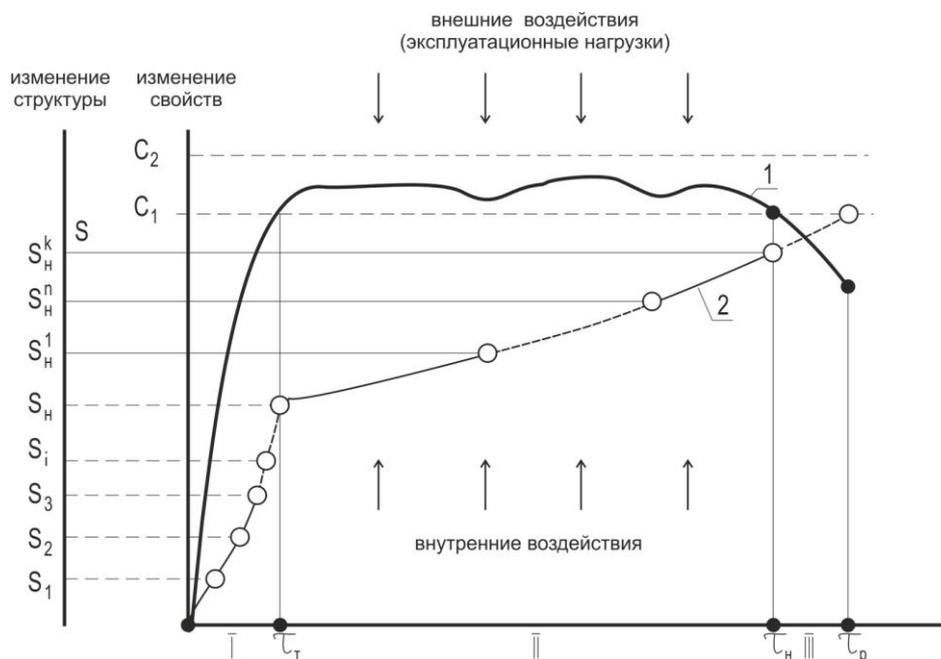


Рис.1. Структурные изменения конструкций как открытых сложных систем в периоды становления, эксплуатации и гибели:

- 1 – жизненные циклы конструкции как системы; 2 – структурные изменения системы в периоды ее становления, функционирования и гибели;
- I – период организации структуры и формирования свойств системы;
- II – период активного функционирования системы;
- III – период потери функциональных свойств (разрушение) системы.

- C_1, C_2 – предельно допустимые значения свойств системы;
- $S_1 \dots S_i$ – структурные становления системы;
- S_n – структуры системы (конструкции) после завершения технологического периода ее получения;
- $S_n^1 \dots S_n^N$ – структурные изменения системы в период действия эксплуатационных нагрузок;
- S_n^k – структура разрушенной конструкции (системы).

Отличительной особенностью активных элементов структуры материала и, следовательно, конструкции является их адекватное реагирование практически на любые внешние и внутренние воздействия. Под внешними воздействиями понимаются все виды воздействия внешнего окружения, включая среду эксплуатации, на конструкцию-систему. Внутренние воздействия носят более сложный характер и связаны со следующими факторами:

- перманентное протекание реакций гидратации реликтовых объемов моно- и полидисперсных зерен цемента, что сопровождается локальным изменением объема, температуры, концентрации продуктов новой фазы;

- процессы диффузионного массопереноса, обусловленные градиентами концентраций ионов в каждом структурном блоке и структурными особенностями строения (наличие «стоков» в устьях несплошностей, проявление эффектов «холодного спекания» и т.п.);

- деформационные и тепловые «волны», возникающие при образовании новых поверхностей раздела на всех уровнях структурных неоднородностей;

- наличие концентрации деформаций и напряжений в участках смыкания противоположных берегов трещин, что позволяет заключить о постоянном неравновесном состоянии всех характерных для конкретного материала подуровней (подсистем) и самой системы.

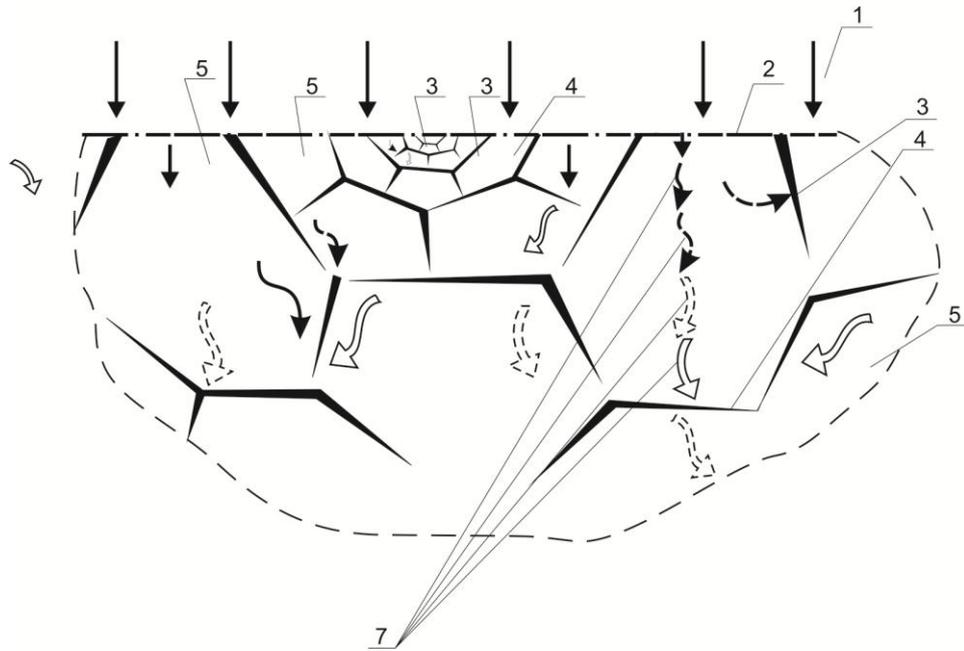
Адекватное реагирование на внешние и внутренние воздействия предполагает, что «чувствительные» к конкретным видам воздействий активные элементы изменяют свои параметры в одном темпоритме с воздействиями. Под понятием «чувствительность» в данном случае понимается способность и скорость реагирования на конкретное по виду воздействие. Например, наличие в материале несплошностей (пор, капилляров, трещин, внутренних поверхностей раздела), размер которых позволяет воде находиться в свободном состоянии, делает перечисленные элементы структуры более чувствительными к понижению температуры ниже 0°C , чем к влажностным деформациям.

Реагирование в одном темпоритме с воздействиями предполагает, что любые воздействия, включая динамические высокоскоростные, выведут из равновесного состояния соответствующие активные элементы. При этом следует отметить, что скорость воздействий на любой объект всегда имеет конечное значение и, в большинстве случаев, ограничивается скоростью звука в воздухе. Передача воздействий в виде деформационных волн ограничивается скоростью звука в данном материале.

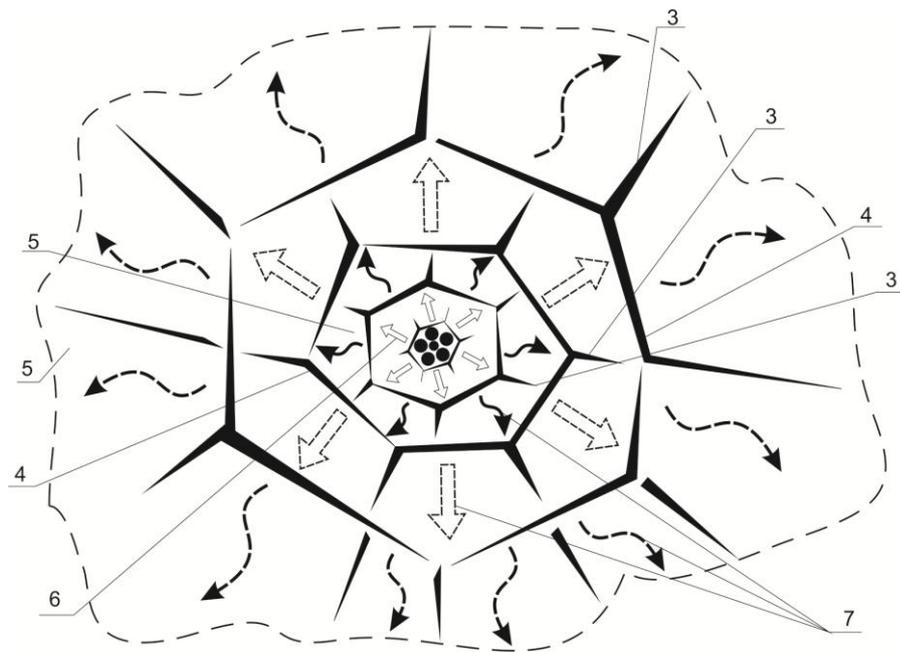
По нашему мнению, развитая сеть трещин и внутренних поверхностей раздела связывает в единую диссипативную систему все иерархические уровни материала, рис.2.

Внешние воздействия воспринимаются всеми уровнями структурных неоднородностей, рис.2, а. По мере перехода через границы раздела самой неоднородности, между неоднородностями одного уровня и между неоднородностями разных уровней деформации, вызванные внешними воздействиями, меняют свою величину. Часть энергии деформирования рассеивается на внутренних поверхностях раздела и берегах трещин, часть энергии вызывает подрастание трещин с образованием новых площадей поверхности берегов и часть энергии передается на соседние структурные блоки материала. При подрастании трещин одновременно происходят два процесса: - релаксация деформаций и напряжений в зоне вновь образовавшихся берегов; - выделение энергии за счет образования новых поверхностей раздела. И тот, и другой процессы ведут к структурным перестройкам как отдельных уровней неоднородностей (подсистем), так и всей системы. Локальные структурные изменения индивидуальны по характеру в каждой ячейке (блоке, кластере, агрегате) данной неоднородности. Это ведет к разнообразию структурных «рисунков» сложной системы при действии внешних нагрузок (кривая 2, рис.1).

Внешние воздействия провоцируют возникновение внутренних по отношению к системе воздействий путем высвобождения энергии при образовании новых площадей поверхности берегов трещин. Кроме того, к внутренним источникам воздействий следует отнести, как отмечалось раньше, непрекращающиеся физико-химические процессы гидратации реликтовых зерен цемента [9, 10]. В работах [2, 11] отмечается, что изменение параметров трещин как активных элементов структуры инициирует включение в деятельность по структурным преобразованиям метастабильных элементов. Объемные и температурные деформации, которые возникают при этом, очень локализованы в кластерных образованиях исходных частиц вяжущего. Поэтому логично предположить, что источниками дополнительных деформаций являются кластерные образования исходных зерен. Это ведет к развитию внутренних воздействий по принципу «снизу - вверх», рис.2, б.



а



б

Рис.2. Характерные схемы реакции структуры материала на внешние (а) и внутренние (б) воздействия:

1 – внешние воздействия; 2 – условная граница поверхности материала (конструкции);
 3 – технологические трещины; 4 – внутренние поверхности раздела; 5 – структурные блоки;
 6 – внутренние воздействия; 7 – реакции активных элементов на различных уровнях структурных неоднородностей на внешние и внутренние воздействия.

В силу того, что каждый кластер микроструктуры содержит неповторимые по количественному и качественному составу клинкерные минералы, то в микроструктуре будут развиваться различные по величине и времени проявления деформации. В результате происходит структурная перестройка микроструктуры, которая входит в общие структурные изменения системы в процессе ее эксплуатации (кривая 2, рис.1).

Структурные изменения, которые возникли как реакция системы на внешние и внутренние воздействия, следует отнести к процессам самоорганизации конструкции-системы в период ее эксплуатации. Таким образом, конструкцию можно представить как открытую сложную самоорганизующуюся систему.

Мотивированным источником проявления процессов самоорганизации можно считать активные элементы в виде трещин и внутренних поверхностей раздела, которые являются неотъемлемыми составляющими отдельных подсистем. Используя терминологию, предложенную У. Матураной и Ф. Варелой для биологических систем, активные элементы бетона как абиотической системы, по В. Чернявскому, образуют связную сеть или паутину, возможная схема которой представлена на рис.3.

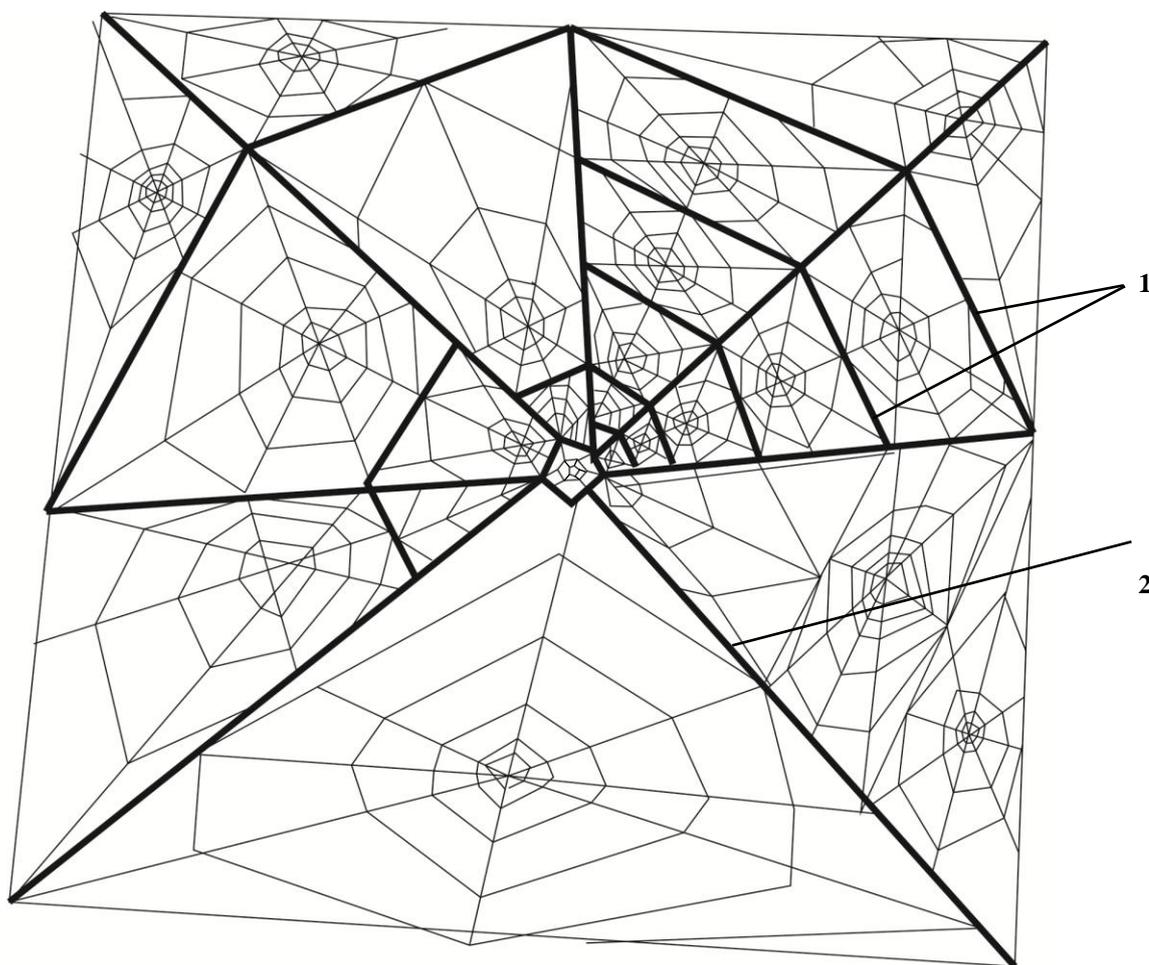


Рис.3. Принципиальная схема взаимосвязанной сети (паутины) активных элементов структуры в сложной системе (конструкции):

1 – различные уровни структурных неоднородностей (подсистем);

2 – зоны взаимодействия подсистем.

«Большая сеть» включает в себя внутренние сети составляющих. Каждая такая паутина на Большой сети представляет собой набор определенных активных элементов на определенном уровне структурных неоднородностей (подсистем). При таком графическом представлении сети конструкции-системы обязательно возникают зоны взаимодействия разноуровневых паутин-составляющих. На первый взгляд, кажется, что происходит нарушение определенного порядка как Большой сети, так и сетей-паутинок. Нам представляется, что происходит формирование иного порядка в зоне перехода. Автоматически возникают иные для каждой индивидуальной сети структуры, но которые являются единственно возможными для обеспечения взаимосвязной сети активных элементов в сложной системе. В случае невозможности вмонтирования сеток-паутинок в глобальную сеть, происходит нарушение взаимосвязности структурных элементов, возникает неравномерная нагрузка на отдельные нити, прекращается передача информации о состоянии отдельных подсистем и нарушается, тем самым, принцип автоподдержки, что в результате ведет к формированию принципиально иной структуры. Новая структура является активной, поскольку она появилась как отклик на образование активных элементов с критическими параметрами. Стремясь к саморазвитию, новая структура превращает базовую систему в склерономную. Базовая система теряет способность выполнять заложенные в нее функции.

Одним из путей обеспечения безопасного функционирования конструкции-системы в системе конструкций-систем при отрицательном действии среды эксплуатации является сохранение взаимосвязанных отношений активных элементов на всех уровнях подсистем. Этого можно достичь за счет направленной организации структуры с учетом явлений самоорганизации в технологический период изготовления конструкций. К моменту начала работы конструкции в системе с себе подобными в материале должен быть создан определенный набор активных элементов на всех уровнях структурных неоднородностей. Определенный набор предполагает проектирование взаимосвязной и взаимообусловленной сети активных элементов с учетом их взаимодействия и самоподдержки в период действия на систему внешних и внутренних нагрузок. Таким образом, будет реализован принцип самоорганизации системы в течение всего периода ее функционирования, что дает возможность реализоваться всему комплексу адаптационных механизмов и избежать, тем самым, кризисных для систем ситуаций.

Выводы.

Проведенный анализ позволяет заключить следующее:

1. Конструкция-система при эксплуатации в системе конструкций-систем воспринимает весь комплекс внешних и внутренних нагрузок, которые возникают в результате действия окружающей среды. Это позволяет сделать тривиальное, но необходимое заключение, что конструкция может и должна быть представлена в виде открытой системы.

2. Многокомпонентность материала и сложность организации самой конструкции, комплекс физико-химических процессов гидратации вяжущего и физико-механические процессы организации структуры на всех иерархических уровнях открытой системы, постоянные структурные трансформации в период эксплуатации позволяют заключить, что конструкция должна быть представлена сложной системой.

3. Спонтанные процессы структурной организации конструкции в период ее получения вызывают в ней самозарождение и развитие до определенных пределов все многообразие структурных элементов, которые классифицированы на активные, метастабильные и консервативные. Особенное внимание следует уделять активным элементам, поскольку они способны изменять собственные параметры под действием внешних и внутренних факторов. Изменение параметров активных элементов вызывает изменение параметров структуры

системы. В зависимости от начального набора активных элементов, в открытой системе в результате самопроизвольных процессов структурных преобразований под действием внутренних и внешних факторов могут возникать различные по отношению к системе ситуации. При достижении критических параметров саморазвивающихся активных элементов может возникнуть катастрофическая потеря функциональных свойств с досрочным выходом системы-конструкции из строя. Благоприятные структурные изменения, связанные с самоподдержкой и саморазвитием сети активных элементов, дают возможность проявления эффектов адаптации, что позволяет конструкции-системе функционировать в течение нормируемого периода. Важность процессов самоорганизации в периоды создания и эксплуатации конструкции-системы позволяют ее отнести к самоорганизующейся системе. Таким образом, строительная конструкция может быть представлена в виде открытой сложной самоорганизующейся системы.

Библиографический список

1. Выровой В.Н. Системный подход при анализе структуры строительных конструкций / Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. // Збірник наукових праць «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди». – Рівне: Вид-во НУВГП. – 2008. – Вип.16. – Ч.1. – С.133-139.
2. Выровой В.Н. Композиционные строительные материалы и конструкции. Структура, самоорганизация, свойства. Монография / Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. – Одесса: Изд-во «ТЭС», 2010. – 169с.
3. Капра Ф. Скрытые связи. Монография – М.: ООО Издательский дом «София», 2004. – 336с.
4. Матурана У. Древо познания: Биологические корни человеческого понимания. Монография / Матурана У., Варела Ф. – М.: Изд-во «Прогресс - Традиция», 2001. – 224с.
5. Коробко О.А. Взаимовлияние структурных неоднородностей при структурообразовании полимерных композитов / Коробко О.А., Выровой В.Н. // Збірник наукових праць «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди». – Рівне: Вид-во НУВГП. – 2011. – Вип.22. – С.101-106.
6. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. – М.: «Синтег», 2000. – 519с.
7. Могилевский В. Д. Методология систем: (вербальный подход). Монография – М.: Экономика, 1999. – 251с.
8. Соломатов В.И. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости. Монография / Соломатов В.И., Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Сиренко А.В. – К.: Будівельник, 1999. – 144с.
9. Чернышев Е.М. Неоднородность структуры и сопротивление разрушению конгломератных строительных композитов. Монография / Е.М. Чернышев, Е.И. Дьяченко, А.И. Макеев. – Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2012. – 98с.
10. Чернявский В.Л. Адаптация абиотических систем: бетон и железобетон. Монография – Днепропетровск: Изд-во Днепропетр. нац. ун-та железн. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2008. – 412с.
11. Суханов В.Г. Роль трещин в разрушении материала конструкций / Суханов В.Г., Выровой В.Н., Чернега А.С., Елькин А.В., Дорофеев А.В. // Сборник трудов «Современные конструкции из металла и древесины». – Одесса: ООО «Внешрекламсервис». – 2011. – Вып.15. – Ч.4. – С.141-148.