

Гарькина И. А., д-р техн. наук, доц.,
Данилов А. М., советник РААС, д-р техн. наук, проф.,
Логанина В. И., д-р техн. наук, проф.

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

ПРИЛОЖЕНИЕ МЕТОДА ПАТТЕРН К КОНСТРУИРОВАНИЮ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ*

fmatem@pguas.ru

Рассматриваются приложения метода ПАТТЕРН и его различных модификаций к конструированию композиционных материалов; приводится пример реализации.

Ключевые слова: синтез сложных систем, композиты, системный подход, модификации метода ПАТТЕРН.

Проектирование сложной системы – уникальная проблема, требующая не только разносторонней культуры, но и изобретательства и таланта. Налицо потребность и демонстрация возможностей разработок в области конструирования систем. Классическая наука добилась значительных успехов за счет существенных ограничений, в рамках которых невозможен востребованный жизнью синтез систем. Основной проблемой при проектировании сложных систем является усиливающаяся фрагментация знания. Выбор, какие компоненты в данной системе считаются элементарными, относительно произволен и в большей степени определяется исследователем. Но всегда проектируемая сложная система будет результатом модернизации более простой системы; в большинстве случаев трудно рассчитывать, что спроектированная с нуля сложная система будет функционировать. Требуется аппарат синтеза, основанный на интеграции результатов междисциплинарных исследований с развитием до уровня математической теории, в основе которой лежит идеальный объект, заданный в системе аксиом и способный выходить на уровень приложений в разных областях. Еще в сороковых годах XX века Людвиг фон Берталанфи была выдвинута программа построения общей теории систем. Были сформулированы *общие принципы и законы поведения систем (независимо от вида и природы составляющих элементов и отношений между ними)*. Созданы основы синтеза научного знания в результате выявления и изоморфизма законов, относящихся к различным сферам реальности. При реализации этой программы одновременно выявились философско-методологические противоречия и трудности (связаны с *неправомерным приданием обшей теории систем статуса философии современной науки*).

К настоящему времени уже накоплен значительный опыт конструирования сложных систем на основе *системного подхода*. *Первым таким подходом можно считать метод ПАТ-*

ТЕРН (Planning Assistance Through Technical Relevance Number, англ. - помощь планированию посредством относительных показателей технической оценки) для решения задач планирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок в условиях неопределенности.

Предусматривалось выделение в сложной противоречивой системе функциональных подсистем на основе четкой формулировки целей по уровням. Количество целей не ограничивалось, но предполагалась их детализация с указанием взаимосвязей. Использовался принцип деления сложной проблемы на более мелкие с использованием результатов количественной экспертной оценки каждой из подпроблем, исходя из различных критериев. Метод, в основном, предназначался для прогноза, насколько сформулированные цели могут быть достигнуты.

Определялись перечень конечных целей, суммарные веса целей (показатели научно-технической значимости; сумма коэффициентов относительной важности для каждого уровня иерархии принимались равной единице). На заключительном этапе осуществлялось рациональное распределение ресурсов в соответствии с уровнем этих коэффициентов.

Системный подход позволяет уменьшить или даже исключить неопределенность, свойственную решаемой проблеме, реконструировать ее в моделях, отвечающих целям исследования; выявлять объекты, свойства и связи исследуемой системы с учетом взаимного влияния внешней среды.

Для повышения степени обоснованности принимаемого решения, выбора варианта из числа альтернативных (с указанием оптимальных) использовались модели, отражающие все те факторы и взаимосвязи реальной ситуации, которые могли проявиться в процессе осуществления решения.

Метод позволил определить классы критериев оценки относительной важности, взаимную

полезность, состояние и сроки выполнения научно-исследовательских разработок, а также необходимость разумного баланса между внутренней логикой науки и ее практической значимости (его нарушение приводит к безразличию общества к науке или потере перспектив в фундаментальных исследованиях).

Сложные иерархические структуры в соответствии с методикой ПАТЕРН можно рассматривать и как набор определенным образом типологизированных элементов и связей между ними (многоуровневое представление структур). Переход с одного уровня на другой осуществляется путем выделения определенных подструктур, которые, в свою очередь, можно рассматривать в качестве *макроскопических* элементов, связанных между собой более простым и понятным образом. Элементы более низкого уровня могут рассматриваться как *микроскопические*. Тогда система при ее проектировании конфигурируется с использованием, так называемых, *паттернов* (англ. *pattern* – образец, пример, принцип; *не путать* с методикой ПАТТЕРН!). Паттерн можно рассматривать как некое удачное типовое решение проблемы или как систематически повторяющийся фрагмент или последовательность элементов системы (широко применяется при создании программного обеспечения). В общем случае *паттерн-проектирование* представляет собой формализованное описание часто встречающейся задачи проектирования. Важнейшим на начальном этапе при работе с паттернами является адекватное моделирование рассматриваемой предметной области. Низшим уровнем представления системы является описание ее в терминах классов (со своими атрибутами и операциями) и соответствующих им объектов, выступающих в качестве микроскопических элементов, и отношений между ними, играющих роль связей. Примером макроскопического элемента следующего уровня является системная архитектура, представляющая собой базовую подструктуру рассматриваемой системы. Высшим уровнем является интеграция отдельных систем, которые рассматриваются в качестве макроскопических элементов. Описание системы в терминах классов является низшим уровнем ее представления. При моделировании системы на уровне классов проводится дополнительная типологизация: описывается структура системы в терминах микроскопических элементов и указывается, насколько система соответствует требуемому значению функционала.

Модель системы, построенная в терминах паттернов проектирования, является структурированным выделением *значимых* при решении

поставленной задачи элементов и связей. Правильно сформулированный паттерн проектирования дает возможность *пользоваться* однажды удачно найденным решением *многократно*.

Рассмотрим возможность использования метода ПАТТЕРН при разработке композиционных материалов, исходя из представления их в виде *сложных систем* [1]. Многими авторами понятия «большая система» и «сложная система», несмотря на различия между ними, используются как синонимы.

Понятие «*большая система*» широко использовалось в период становления системных исследований (особенно после появления книги [2] для того, чтобы подчеркнуть принципиальные особенности объектов и проблем, требующих применения системного подхода). Понятие «большая система» связывается с величиной системы, количеством элементов (даже относительно однородных), или в качестве признаков большой системы рассматриваются наличие:

- иерархической структуры (сужается класс, отображающих систему, структур);
- больших потоков информации;
- большого числа алгоритмов ее переработки.

Одним из признаков рассматривается и эргатичность (взаимодействие технологических и человеческих факторов; трудноформализуемая). Её другая особенность заключается в невозможности значительного уменьшения числа показателей без утраты качественной определенности системы (*без изменения ее свойств*). Иногда большой системой рассматривают ту, которую невозможно исследовать иначе, как по подсистемам.

Сложная система определяется как составной объект, части которого также можно рассматривать как системы, закономерно объединённые в соответствии с определенными принципами в единое целое или связанные между собой заданными отношениями. Ее можно (*не обязательно единственным образом*) расчленить на конечное число частей (подсистем). Каждую подсистему (высшего уровня) можно в свою очередь расчленить на конечное число более мелких подсистем и т. д., вплоть до получения подсистем первого уровня (элементов; объективно не подлежат расчленению на части, либо относительно их дальнейшей неделимости имеется соответствующая договорённость). Свойства каждого из элементов в общем случае зависят от условий, определяемых поведением других элементов. Свойства сложной системы определяются не только свойствами элементов, но и характером взаимодействия между ними.

Сложность системы проявляется в нелинейности, значительном числе степеней свободы, наличии «памяти» и других свойств, приводящих к слабой предсказуемости поведения системы. Две системы с попарно одинаковыми элементами, но с различными взаимодействиями между ними, должны рассматриваться как две разные системы.

Основное различие между большой и сложной системами заключается в характере их моделирования: большая система может быть описана на одном языке, с помощью единого метода моделирования, хотя и по частям, по подсистемам; модели же подсистем сложных систем разрабатываются и изучаются в рамках различных дисциплин (системный подход требует междисциплинарных исследований). В частности, формирование основных физико-механических характеристик композиционных материалов может изучаться на основе методов ретроспективной идентификации динамических систем [3]. Определение условий флокуляции в дисперсной системе возможно на основе ее представления как системы частиц, движущихся под действием сил гравитационного и парного взаимодействий, взаимодействия с границами и дисперсионной средой [4]. Эффективный подбор вида и количества модифицирующей добавки, например, для получения серного связующего с высокими показателями прочности и стойкости радиационно-защитного композита в различных агрессивных средах [5], возможно на основе изучения влияния модификатора на свойства серы. И так далее

Полезность системного подхода зависит от того, насколько успешно выделен системообразующий фактор и насколько полно установлено его значение для формирования системы. Полезными будут лишь те математические выкладки, которые сформулированы с учетом важных системообразующих факторов.

Таким образом, систему следует рассматривать, как комплекс избирательно вовлеченных компонентов, у которых взаимодействие и взаимоотношения принимают характер взаимодействия компонентов на получение полезного результата. Системный подход позволяет разобраться в связях между отдельными фактами и на более высоком уровне осуществлять исследования. Теоретическое значение системного подхода состоит в определении общих закономерностей, изоморфных для различных классов (или явлений). Наиболее важным критерием изоморфности, естественно, является изоморфность системообразующего фактора.

Рассмотрим далее модификацию методики ПАТТЕРН, как одну из возможных методологий

конструирования систем. В ее основе - общая формулировка технического задания на проектирование (рис.1). Наблюдаемое в настоящее время усложнение решаемых задач приводит к увеличению сложности и стоимости проектирования; возрастают трудоемкость изготовления и время полного цикла создания. В частности, композиционные материалы нового поколения существенно отличаются от уже известных, традиционных, даже от их предшественников десяти-, двадцатилетней давности. Хотя цель проектирования остается прежней, но меняется подход и методология проектирования: разработка (синтез) проекта осуществляется методом моделирования (разработка частных моделей для описания отдельных свойств системы). Предполагается, множество взаимосвязанных моделей будет с необходимой точностью описывать систему, отражая всю совокупность ее свойств.

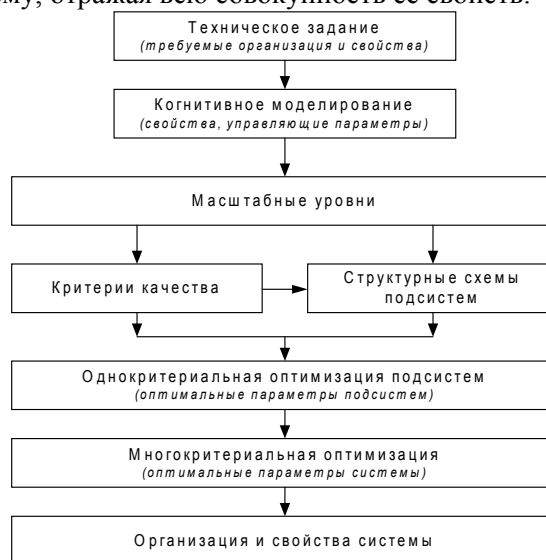


Рисунок 1. Синтез сложной системы

Сначала методом экспертных оценок осуществляется качественный анализ системы. По его результатам строится когнитивная карта (структурная схема причинно-следственных связей; в математике - знаковый взвешенный ориентированный граф (орграф)). На карте элементы системы A и B изображаются как вершины графа и соединяются ориентированной дугой: если A – причина, а B – следствие, и увеличение A ведет к увеличению (усилению) B , то связь $A \xrightarrow{+} B$ считается положительной, если увеличение A при прочих равных условиях приводит к уменьшению (ослаблению) B , то связь $A \xrightarrow{-} B$ будет отрицательной. При необходимости на каждой дуге указывается вес, характеризующий степень влияния; либо вводятся лингвистические переменные («сильно», «умеренно», «слабо» и т.п.), либо используется числовая

шкала с введением соответствующей метрики (качественным значениям переменных присваиваются числовые значения при выбранной шкале). На схеме знак «+/-» указывает на экстремальный характер зависимостей эксплуатационных свойств от рецептурных факторов. Оценка

влияния рецептурных факторов может проводиться и по комплексным факторам (состоящим из элементарных). Так, на рис. 2 приводится знаковый ориентированный граф для радиационно-защитного бетона.

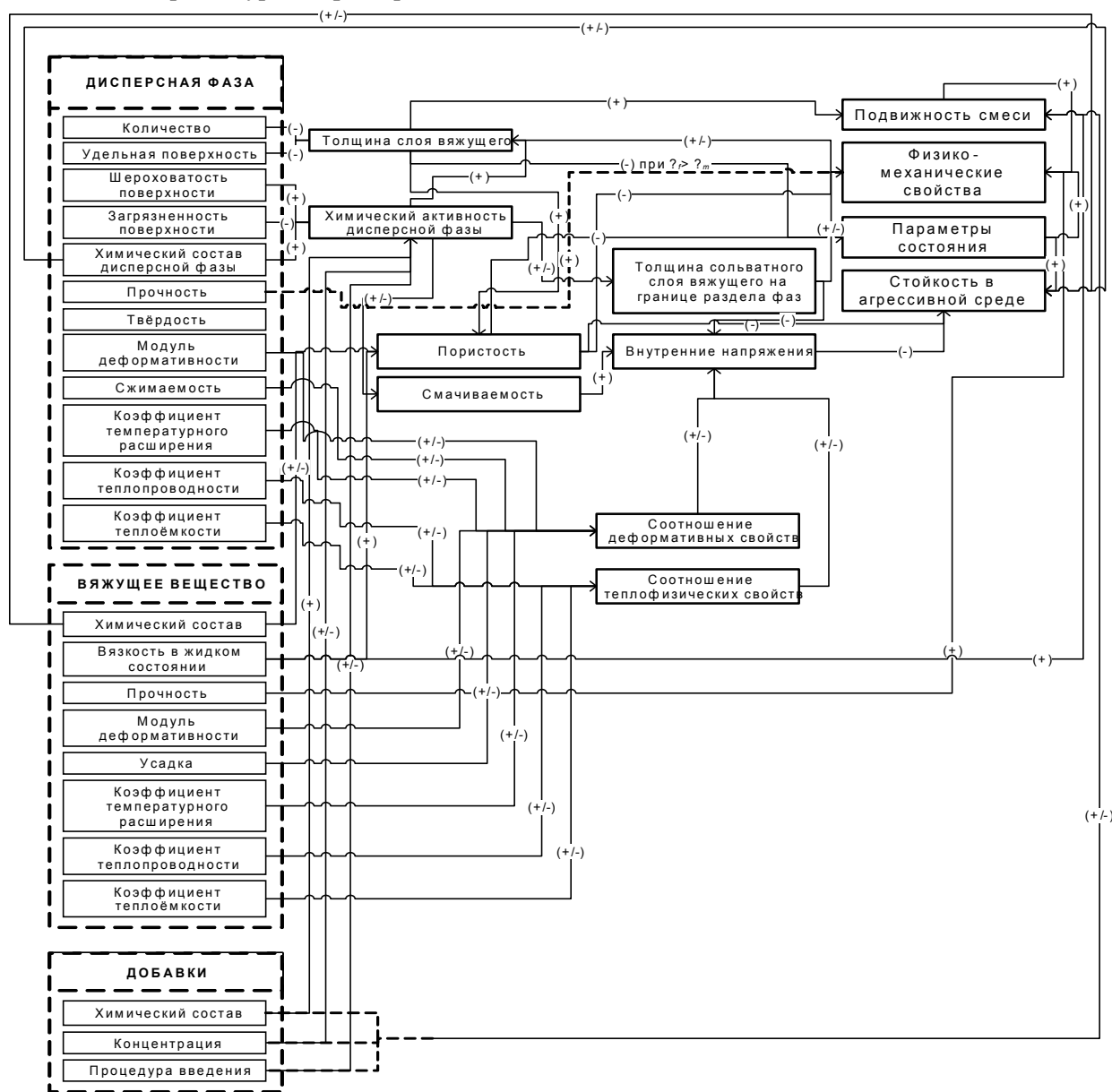


Рисунок 2. Знаковый ориентированный граф для радиационно-защитного бетона

Несомненно определяющая роль результатов когнитивного моделирования для составления иерархических структур критериев качества (рис. 3) и собственно композиционного материала, которые служат основой всего комплекса разработок.

В общем случае в иерархической структуре критериев качества на верхнем (первом) уровне находятся следующие основные критерии: полезность системы (выходные характеристики материала, важность, актуальность, перспективность, область применения (критерии второго

уровня)); качество функционирования (помехозащищенность, точность, надежность, чувствительность, качество управления); организация системы (совершенство структуры, сложность и т.д.); эволюционная эффективность (осуществимость, ресурсы, возможности модификаций и др. характеристики развития); экономическая эффективность. Декомпозиция системы в рамках этой иерархии продолжается до получения на нижнем уровне элементов, принадлежащих разработанным типам, или формулируются технические задачи по созданию необходимых эле-

ментов. При применении каждого критерия в отдельных задачах, возникающих на рассматриваемом этапе разработки материала, естественно, предусматриваются количественные показатели, единицы и способы измерения (расчетные, экспериментальные или экспертные оценки).

Альтернативой им являются лишь бездоказательные суждения о качестве системы. Зависимости между критериями определяются методами факторного анализа и математической статистики.

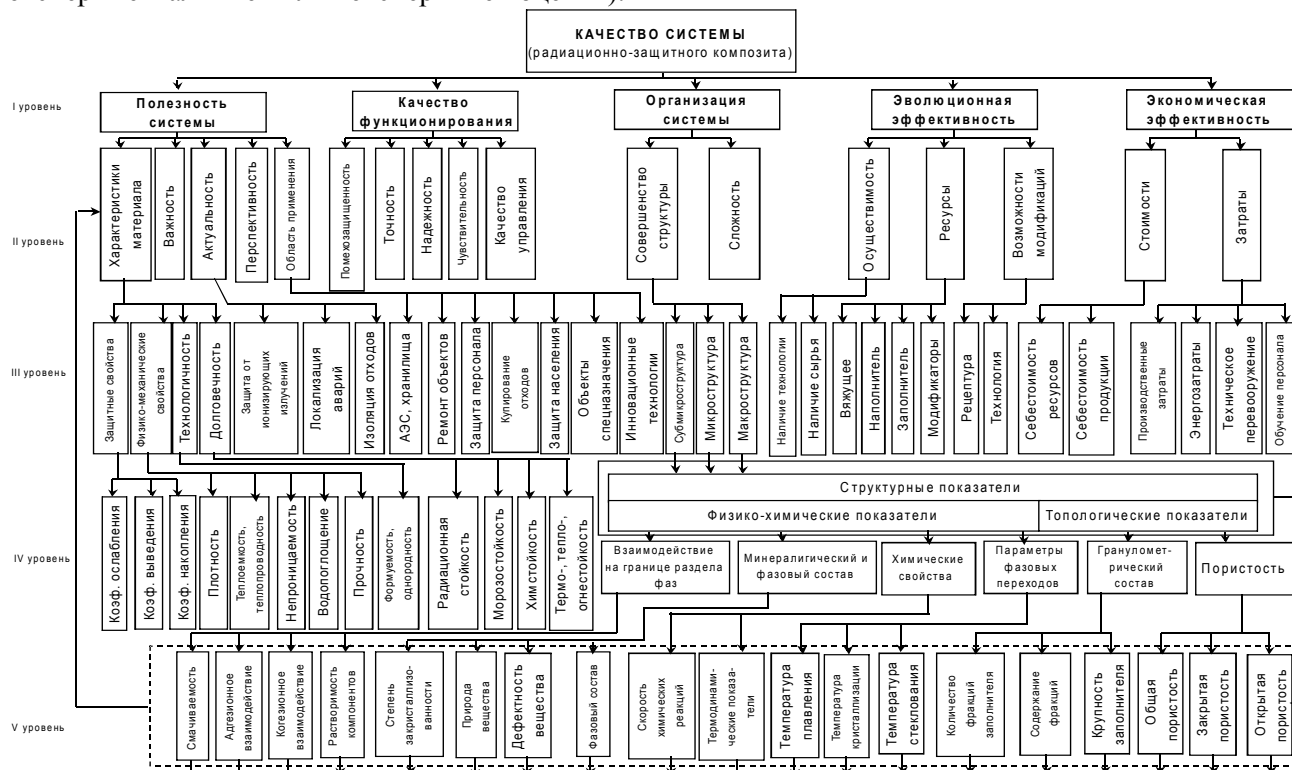


Рисунок 3. Иерархическая структура критериев качества радиационно-защитного композита

Таким образом, становится возможным с использованием результатов когнитивного моделирования и принципа моделируемости представить сложную систему как конечное множество моделей, отражающих определенную грань сущности системы. Каждое из свойств исследуется на одной или нескольких упрощенных (узкоориентированных) моделях. Нарастивание множества упрощенных моделей позволяет выявить новые свойства часто и без построения обобщающей модели. Сложная система определяется как взаимодействие упрощенных моделей. Модель всегда проще самой системы, так как она ориентируется на определенную группу ее свойств. Создание полной модели практически невозможно, ибо она будет столь же сложной, как сама система.

Качество сложной системы как целого в общем случае определяется векторным критерием, а приближенно, исходя из принципа целенаправленности - некоторым обобщенным функционалом. Качество подсистем определяется частными критериями, которые не должны противоречить критерию качества всей системы (соблюдение организмического принципа [6]). Их балльная оценка может производиться на

основе областей равных оценок, построенных по разработанным функционалам качества, характеризующим каждое из свойств системы.

Отдельные вопросы создания специальных методов идентификации и обработки экспериментальных данных, а также разработка функционалов качества рассматривались в [1, 3, 7]. В силу некорректности обратных задач неизвестные параметры определялись на основе сравнения значений функциональных и структурных характеристик сложных систем, устанавливаемых экспериментально и в результате моделирования. Результаты использовались для определения поправок к первоначальным значениям параметров для обеспечения достаточной точности оценки неизвестных параметров методом последовательных приближений.

Таким образом, проектирование сложной системы фактически сводится к построению ее обобщающей модели: реализация проекта системы осуществляется с учетом частных, взаимосвязанных, взаимообусловленных моделей. Проект представляет собой ряд зависимостей между целями проектирования, возможными целями их достижения, окружающей средой и ресурсами. Его можно рассматривать и как

сложную модель, отражающую все интересующие свойства будущей реальной системы.

Выбор некоторого проектного решения из возможных альтернативных вариантов (средство достижения целей проектирования) осуществляется на основе некоторого показателя (критерия выбора), обобщенно характеризующего степень достижения поставленной цели тем или иным вариантом проекта. На этом этапе система рассматривается как совокупность взаимосвязанных, управляемых подсистем, объединенных общей целью функционирования для решения заданной проблемы в некотором диапазоне условий. При выборе рационального варианта и оптимизации его параметров желательно учесть показатель «эффективность-стоимость» (соотношение между эффективностью решения поставленной задачи и суммарными затратами на решение: обеспечение максимальной эффективности при заданных затратах или обеспечение минимальной стоимости при заданном уровне эффективности). При решении некоторых специальных задач, в том числе в интересах обороны страны, этот показатель иногда по существу и не учитывается.

При проектировании системы с длительным периодом эксплуатации следует учитывать не только сегодняшнее состояние среды, но и прогнозируемые изменения (долговечность): на систему влияют любые изменения внешней среды, а свойства внешней среды изменяются в результате работы системы.

Наконец, так как изменения параметров любого из компонентов сложной системы вызывают изменение работы всей системы и ее выходных параметров, то необходимо предусмотреть и возможные отказы (нарушение работоспособности) подсистем; обеспечить передачу функций одной подсистемы другой (в настоящее время широко используется при строительстве высотных зданий, стадионов и т.д.). Для этого можно предусмотреть резервирование подсистем (простейший случай - дублирование).

Естественно, отсутствие абсолютной уверенности в прогнозировании функционирования проектируемой системы приводит к необходимости предусмотреть возможность ее различных модификаций.

Выводы

1. Предложена модификация метода ПАТ-ТЕРН для конструирования с системных пози-

ций (проектирование части целого как элемента целого; критерий оценки - обобщенный показатель, обеспечивающий в принятом смысле оптимальность всей системы) сложных систем (проектирование зданий и сооружений, разработка строительных материалов и др.).

2. Эффективность использования различных модификаций подтвердилась при разработке ряда композиционных материалов [1, 3, 7].

**Работа выполнена по заказу Минобрнауки РФ на 2011-2013 гг. (тема: «Физико-химические основы синтеза тонкодисперсных наполнителей на основе гидросиликатов для композиционных материалов. Разработка составов, технологий»)*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гарькина, И.А.* Строительные материалы как системы [Текст] / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Строительные материалы. – 2006. – № 7. – С.55-58
2. *Гуд, Г.Х.* Системотехника: Введение в проектирование больших систем [Текст] / Г.Х. Гуд, Р.З. Макол. – М.: Советское радио, 1962. – 383 с.
3. *Гарькина, И.А.* Управление качеством материалов со специальными свойствами [Текст] / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Проблемы управления. – 2008. – № 6. – С. 67-74.
4. *Гарькина, И.А.* Флокуляция в дисперсных системах [Текст] / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, В.А. Смирнов // Системы управления и информационные технологии. – 2008. – № 2.3(32). – С. 344-347.
5. *Гарькина, И.А.* Модификаторы для серных композитов специального назначения [Текст] / И.А. Гарькина // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. – 2008. – № 5. Т.51 – С.70-75.
6. *Таран, В.А.* Эргатические системы управления: Оценка качества эргатических процессов [Текст] / В.А. Таран. - М.: Машиностроение, 1976. - 186 с.
7. *Гарькина, И.А.* Когнитивное моделирование при синтезе композиционных материалов как сложных систем [Текст] / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Известия вузов. Строительство. - 2009. - №3/4. – С.30-37.