

И. А. ГАРЬКИНА, д-р техн. наук, доц. ПГУАС, г. Пенза, Россия;
А. М. ДАНИЛОВ, д-р техн. наук, проф. ПГУАС, г. Пенза, Россия

РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ КАК СЛОЖНЫХ СИСТЕМ: МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ПАТТЕРН¹

Приводиться алгоритм синтезу композиційних матеріалів на основі їхнього подання як складних систем з модульною структурою. Здійснюється розробка модифікації методу ПАТТЕРН для її реалізації при проектуванні радіаційно-захисних композитів із системних позицій.

Приводится алгоритм синтеза композиционных материалов на основе их представления как сложных систем с модульной структурой. Осуществляется разработка модификации метода ПАТТЕРН для ее реализации при проектировании радиационно-защитных композитов с системных позиций.

The algorithm of the synthesis of composite materials is derived on the base of representation of composites as complex systems with modular structure. The adjustment of the PATTERN method for the algorithm is performed during design (which is based on system approach) of the radiation-protective composites.

Введение. Важность системных исследований при математическом моделировании и проектировании сложных систем в разных отраслях в настоящее время стала очевидной. В сложных системах отдельные части (подсистемы) системы настолько сильно взаимосвязаны между собой множеством прямых и обратных связей, что изменение одной из них часто ведет к значительным изменениям в других ее частях. Становятся затруднительными декомпозиция всей системы и исследование отдельных более простых ее частей с возможностью синтеза системы из этих частей. Возникает необходимость оценки и анализа системы как целостной.

Постановка задачи. К настоящему времени уже накоплен значительный опыт конструирования сложных систем на основе *системного подхода*. *Первым таким подходом можно считать метод ПАТТЕРН* (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. В нем 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. 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 перспективы в фундаментальных исследованиях).

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. Сложные иерархические структуры в соответствии с методикой ПАТТЕРН 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

¹ Работа выполнена в соответствии с заказом Минобрнауки РФ на 2011–2013 гг. (№ 11-ГБ-2).

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 *множественно*.

Модификация метода ПАТТЕРН для разработки композитов. Рассмотрим возможность использования метода ПАТТЕРН при разработке композиционных материалов, исходя из их представления в виде *сложных систем* [1]. Проектирование композитов должно производиться с соблюдением основных принципов системного подхода:

- иерархичность; каждая система или элемент рассматривается как отдельная система;
- структурность; возможность описания системы через описание связей между ее элементами;
- взаимозависимость; проявление свойств системы только при взаимодействии с внешней средой;
- множественность описания; описание системы множеством взаимодействующих математических моделей;
- проектирование части с учетом целого.

В *случае* больших *сложных систем*, сформированных по *модульному принципу* (в том числе и композиционных материалов), легко осуществить декомпозицию системы на сепаратные подсистемы, обладающие определенной степенью автономности (*интегративные свойства приближенно можно определить на основе автономных исследований сепаратных подсистем*). Здесь каждый элемент иерархической структуры качества системы определяет автономное (без учета всех межсистемных связей) качество сепаратной системы. Результаты автономных исследований модулей можно использовать для определения интегративных свойств (определяются связями между модулями, уровнями и на каждом из уровней; в основном, лишь на качественном уровне). Возможность использования результатов автономных исследований сепаратных подсистем при конструировании системы в целом напрямую связана с необходимостью устранения межсистемных связей. Это можно сделать введением настраиваемых эталонных моделей с одновременной децентрализацией модулей по входам. Условия для переноса результатов автономных исследований на систему в целом определяются полнотой понимания процессов формирования структуры и свойств системы. В частности, при определении некоторых свойств материала в зависимости от гранулометрического состава можно использовать ингредиенты из других материалов, но с тем же гранулометрическим составом, что и в синтезируемом материале. Однако необходимо обеспечить аналогичные, по возможности точные, межсистем-

ные связи (например, смачиваемость). При переносе результатов автономных исследований смачиваемости на формирование структуры и свойств материала необходимо знать параметры смачиваемости входящих компонентов в стесненных условиях. Принципиально это можно обеспечить использованием настраиваемой эталонной модели, предусматривающей регулирование давления между компонентами. Настройку можно обеспечить с использованием экспериментальных данных на образцах.

Используемые традиционно в строительном материаловедении данные о **кинетических** процессах формирования структуры и физико-механических характеристик материала [2] по существу являются автономными исследованиями отдельных сепаратных модулей. Здесь требуемые параметры кинетических процессов определяются с учетом межсистемных связей. Неявно присутствуют эталонные модели, предусматривающие одновременную децентрализацию по входам.

При конструировании радиационно-защитных композитов использовалась *модификация* методики ПАТТЕРН, как одна из возможных методологий *конструирования систем*. В ее основе – *общая формулировка технического задания на проектирование*. 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.

Цель проектирования остается прежней, но меняется подход и методология **проектирования**: *разработка (синтез) проекта осуществляется методом моделирования* (разработка частных моделей для описания отдельных свойств системы). Множество взаимосвязанных моделей с необходимой точностью описывало систему, отражая всю совокупность ее свойств.

Качественный анализ системы осуществлялся методом экспертных оценок. По его результатам строилась *когнитивная карта* (структурная схема причинно-следственных связей; в математике – знаковый взвешенный ориентированный граф (*орграф*; [3])).

Результаты когнитивного моделирования играли определяющую роль при составлении *иерархических структур критериев качества* сложной системы [4]. Они являлись *основой всего комплекса разработок*.

С использованием результатов когнитивного моделирования и принципа *моделируемости* сложная система представлялась как *конечное множество моделей, отражающих определенную грань сущности системы*. Каждое из свойств исследовалось с использованием одной или нескольких упрощенных (узкоориентированных) моделей.

Наращивание множества упрощенных моделей позволяло выявить новые свойства и без построения обобщающей модели. *Сложная система определялась как взаимодействие упрощенных моделей*. Естественно, 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* (с этим связано большинство проблем имитационного моделирования, подготовки операторов эргатических систем с использованием технических средств обучения).

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*. Последние не должны противоречить критерию качества всей системы (соблюдение *организмического принципа* [5]).

Балльная оценка, как систем, так и подсистем может производиться, в частности, на основе *областей равных оценок*, построенных по *разработанным функционалам качества*, характеризующим *каждое из свойств системы* [6].

Во многих случаях возникает необходимость разработки специальных методов идентификации, функционалов качества и обработки экспериментальных данных. *В силу некорректности обратных задач* при определении неизвестных параметров должно производиться сравнение значений функциональных и структурных характеристик сложных систем, устанавливаемых экспериментально и в результате моделирования. Результаты сравнения нами использовались для *определения поправок* к первоначальным значениям параметров с целью обеспечения *требуемой точности оценки* неизвестных параметров методом последовательных приближений.

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 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*.

Заключение. Эффективность использования разработанной модификации метода ПАТТЕРН подтвердилась при разработке ряда сложных систем [1–3].

Список литературы: 1. *Гарькина И. А.* Строительные материалы как системы / *И. А. Гарькина, А. М. Данилов, Е. В. Королев* // Строительные материалы. – 2006. – № 7. – С. 55–58. 2. *Гарькина И. А.* Математические методы в строительном материаловедении. Монография / *И. А. Гарькина, А. М. Данилов, А. Л. Прошин [и др.]* / под ред. акад. РААСН В. И. Соломатова. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2001. – 188 с. 3. *Гарькина И. А.* Когнитивное моделирование при синтезе композиционных материалов как сложных систем / *И. А. Гарькина, А. М. Данилов, Е. В. Королев* // Известия вузов. Строительство. – 2009. – № 3/4. – С. 30–37. 4. *Данилов А. М., Гарькина И. А.* Управление качеством материалов со специальными свойствами / *А. М. Данилов, И. А. Гарькина* // Проблемы управления. – 2008. – № 6. – С. 67–74. 5. *Таран В. А.* Эргатические системы управления: Оценка качества эргатических процессов / *В. А. Таран*. – М. : Машиностроение, 1976. – 186 с. 6. *Прошин А. Л.* Разработка и управление качеством строительных материалов с регулируемой структурой и свойствами для защиты от радиации / *А. Л. Прошин, А. М. Данилов, Е. В. Королев [и др.]* // Идентификация систем и задачи управления SICPRO' 03: Труды II Международной конференции, ИПУ РАН. – М., 2003. – С. 2437–2460.

Надійшла до редколегії 28.03.2011