

УДК 691 001.891.57 519.8 69:51-7

Гарькина И.А. – доктор технических наук, доцент

Данилов А.М. – доктор технических наук, профессор, советник РААСН

E-mail: regas@pguas.ru

Ермолаева Е.И. – кандидат педагогических наук

E-mail: fmatem@pguas.ru

Зарецкий А.М. – аспирант

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ МОДУЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ: КОМПОЗИТЫ, АВТОНОМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕПАРАТНЫХ ПОДСИСТЕМ*

АННОТАЦИЯ

Рассматривается системный подход к проектированию сложных систем. На основе представления композиционных материалов как сложных систем модульной структуры разрабатывается алгоритм их конструирования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сложные системы, композиты, модульная структура, методология проектирования, системный подход.

Garkina I.A. – doctor of technical sciences, associate professor

Danilov A.M. – doctor of technical sciences, professor, advisor RAASN

Ermolaeva E.I. – candidate of technical sciences

Zaretsky A.M. – post-graduate student

Penza State University of Architecture and Construction

COMPLEX SYSTEMS OF MODULAR STRUCTURE: THE COMPOSITES, INDEPENDENT STUDY OF SEPARATELY SUBSYSTEMS

ABSTRACT

System approach to design of complex systems is considered. An algorithm to construct composite materials as a complex systems with modular structure is developed.

KEYWORDS: complex systems, composite materials, the modular structure, design methodology, system approach.

Технический прогресс порождает необходимость разработки новых композитов с заранее заданными свойствами, технологии их производства и методов расчета. Современная наука о таких материалах представляется чрезвычайно разветвленной и далекой от своего завершения. Экспериментальное определение свойств композиционных материалов требует большого объема дорогостоящих исследований. Возникает целесообразность автономных исследований сепаратных подсистем в иерархической структуре и построения их теоретических моделей при конструировании композитов.

Проектирование композитов как сложных систем 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.

Центральным этапом является построение математических моделей отдельных подсистем и описание их взаимодействия.

* 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, технологии»)

В связи с размытостью представлений об идентификации как об особом типе человеческой деятельности идентификационный подход к настоящему времени еще окончательно не оформился. Пока в нём доминирует математический уровень строгости; математический язык рассматривается как наилучшее средство представления системы. В большинстве работ ограничиваются лишь постановкой и исследованием математических задач и не затрагиваются содержательные и человеческие аспекты практической идентификации. Подобная избирательность во многом определяется тем, что при значительном объеме представлений о потенциально возможных способах исследования не в состоянии разработать детальную общую схему идентификации, ориентированную на использование определенной системы научных понятий, достаточных с точки зрения большинства исследователей для обоснования. Не сформулированы пока и понятия, отражающие роль человека при определении целей идентификации.

Нами в качестве субъекта идентификации рассматривается группа специалистов, способная выполнить все операции (любая человеческая деятельность, объединенная единым замыслом и направленная на достижение определенной цели) для реализации процесса идентификации. Поскольку идентификация носит междисциплинарный характер, то, естественно, группа должна состоять из специалистов различного профиля (при синтезе радиационно-защитных материалов – материаловеды, физики, химики, математики, управленцы, специалисты в области системного анализа и др.). Каждый из представителей играет доминирующую роль при определении отдельных фрагментов системы; а межэлементные связи определяются группой в целом. Операцию нельзя формализовать, ее можно лишь так структурировать, чтобы ее отдельные этапы можно было эквивалентно заменить специально подобранным алгоритмическим процессом. Операциональная модель субъекта идентификации включает как физические, так и мысленные (ментальные) операции. Операциональная модель имеет ярко выраженный описательный (феноменологический) характер. Она не содержит объяснения механизмов, с помощью которых субъект способен выполнить операции.

До определенного уровня декомпозицию материала можно осуществить на основе когнитивного моделирования (построение орграфа), и синтез целостной системы приближенно свести к решению задач синтеза подсистем. Так, когнитивные модели позволили выявить класс математических моделей при оптимизации структуры и свойств радиационно-защитных композитов [1, 2]. Входящие в состав материала (объекта) отдельные фрагменты рассматривались как подсистемы; указывались способы измерения свойств каждой из подсистем. Естественно, предполагалось, что в идеале существует истинная математическая модель, позволяющая заменить объект идентификации во всех необходимых случаях (при реально многоуровневой иерархической структуре материала (многовязной системы) ее получение – несбыточная мечта [3]). Возникла задача описания материала на основе формализации его свойств (которые, впрочем, определяют и его структуру). По традиции оценка материала осуществлялась по совокупности ряда физико-механических характеристик [4]. Каждое из свойств при оптимизации рассматривалось как один из частных критериев (в общем случае – противоречивых).

Нетривиальная задача выбора математической модели для описания свойства связана со структурной идентификацией (выбор класса моделей); решением общей задачи идентификации в выбранном классе моделей с последующим решением частной задачи идентификации – параметрической. Одним из главных требований к моделям считается простота интерпретаций физического смысла входящих в модели коэффициентов. Учитывалось, что регрессионные модели при синтезе материалов по существу не применяются; а модели, полученные математическими методами планирования эксперимента, в основном, также носят иллюстративный характер и редко используются для решения задач прогноза и целенаправленного изменения значений факторов.

Большой практический интерес имеют математические модели, представленные семейством уравнений с заданным кортежем параметров (параметры классического типа – буквенные константы; неклассического типа – множество допустимых значений параметра классического типа, метапараметр [5]). При описании каждой из физико-механических характеристик материала нами задавался пробный класс математических моделей, которому, по мнению участников когнитивного моделирования, гипотетически могла бы принадлежать истинная ее модель. Было признано целесообразным описание каждой из эксплуатационных характеристик материала в виде асимптотического значения решения (кинетический процесс формирования физико-механической характеристики) некоторого дифференциального уравнения. Такое представление не является единственным (при необходимости возможна замена пробного класса).

Учитывалось, что задача идентификации относится к классу некорректных задач. Если при приближенном решении обратной задачи использовать какой-либо классический алгоритм формально без учета некорректности задач, то возможно получение результата, не имеющего ни научной, ни прикладной ценности. Игнорировать некорректность постановки задачи нельзя. Для ее преодоления можно использовать дополнительную информацию об искомом решении либо воспользоваться методами регуляризации некорректно поставленных задач. Нами в качестве дополнительной информации об искомом решении использовалось сравнение результатов экспериментальных исследований с теоретическими. Была показана возможность моделирования основных кинетических процессов (набор прочности, изменение модуля упругости, контракция и усадка, нарастание внутренних напряжений, тепловыделение, химическая стойкость, водопоглощение и водостойкость) в классе обыкновенных дифференциальных уравнений n -го порядка. А именно, четвертого порядка с постоянными коэффициентами и с действительными корнями характеристического полинома [6].

Поиск адекватной модели состоял из трех стадий: структурной, параметрической и непараметрической идентификации. На этапе структурной идентификации осуществлялись: выбор пробного класса и пробных значений для всех метапараметров из заданного кортежа параметров пробного класса; выбор пробного множества моделей объекта в результате замены всех метапараметров из заданного кортежа параметров пробными значениями; интерпретация выбранных пробных значений метапараметров как приемлемых для данной стадии приближений к адекватным значениям; интерпретация выбранного пробного множества моделей объекта как приемлемого приближения к адекватному множеству моделей объекта. На этапе параметрической идентификации осуществлялась интерпретация выбранных пробных значений параметров классического типа как приемлемых приближений к адекватным значениям (при непараметрической идентификации имеется хотя бы один функциональный параметр, допустимыми значениями которого являются функции).

В случае больших сложных систем, сформированных по модульному принципу (в том числе и композиционных материалов), легко осуществить декомпозицию системы на отдельные подсистемы, обладающие определенной степенью автономности (интегративные свойства приближенно можно определить на основе автономных исследований отдельных подсистем). Здесь каждый элемент иерархической структуры качества системы определяет автономное (без учета **всех** межсистемных связей) качество отдельной подсистемы. 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 отдельных 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, межсистемные 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 по существу являются автономными исследованиями отдельных отдельных 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 нами использовался приводимый на рисунке алгоритм синтеза.

В его основе лежит техническое задание с указанием организации и свойств системы. Возможность создания композита и реализация технического задания первоначально определяются

на этапе когнитивного моделирования с установлением интенсивных и экстенсивных свойств с выделением управляющих параметров. На основе когнитивной карты определяются иерархические структуры критериев качества, а в соответствии с выделенными критериями качества – соответствующие структурные схемы системы (для каждого выделенного масштабного уровня). Далее осуществляется формализация критериев качества системы и разрабатываются математические модели в соответствии с каждым из критериев. Наконец, на основе решения задач однокритериальной оптимизации с использованием найденных оптимальных значений осуществляется формализация многокритериальной задачи и ее решение (определяются оптимальные организация и свойства системы).

По результатам апробации при разработке ряда материалов специального назначения предлагаемый алгоритм синтеза получил положительную оценку.

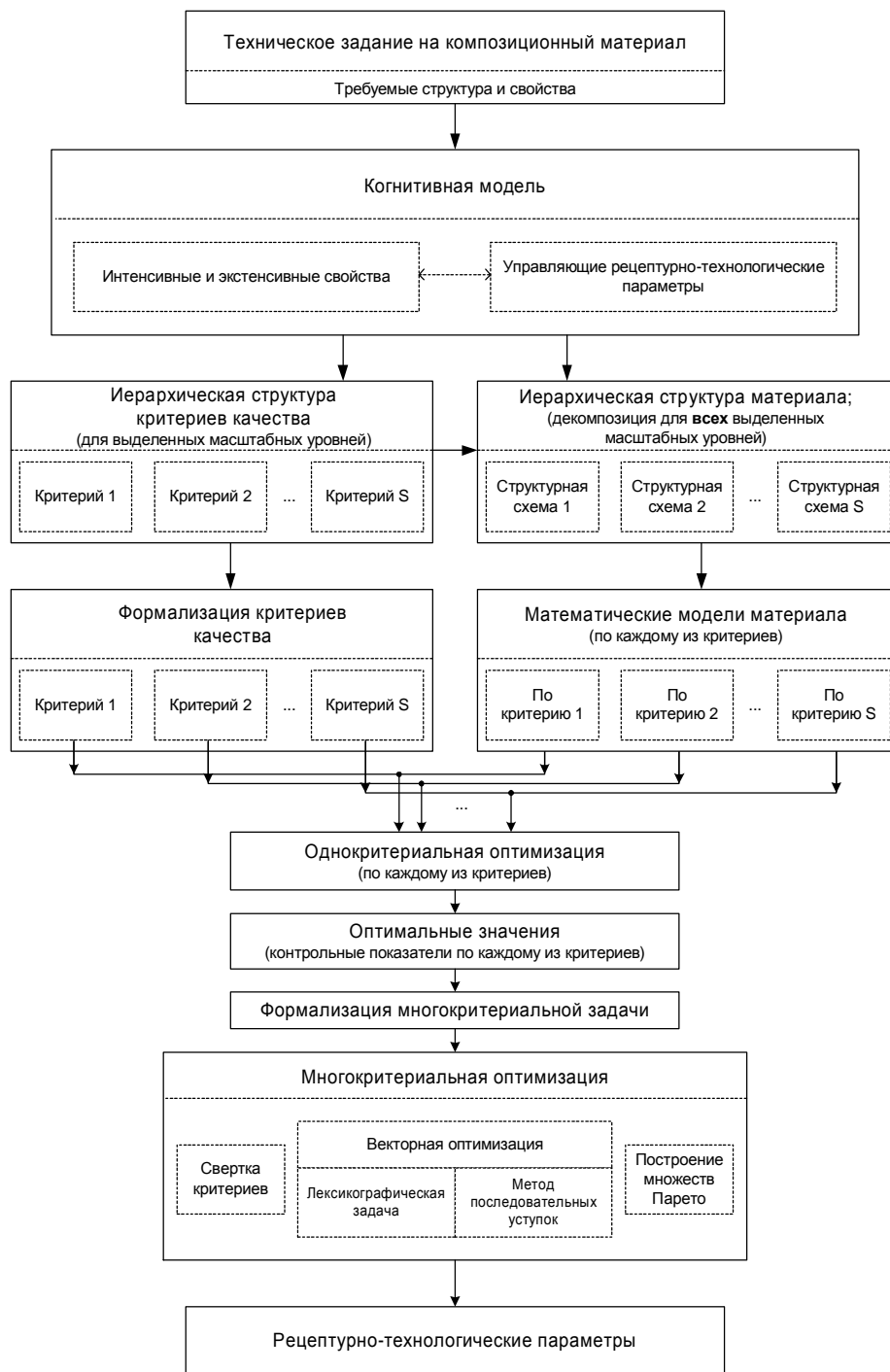


Рис. Алгоритм синтеза композиционного материала

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гарькина И.А., Данилов А.М., Королев Е.В. Когнитивное моделирование при синтезе композиционных материалов как сложных систем // Известия вузов. Строительство, 2009, № 3/4. – С. 30-37.
2. Гарькина И.А., Данилов А.М., Королев Е.В., Смирнов В.А. Флокулообразование в композиционных материалах: предельные системы // Региональная архитектура и строительство, 2008, № 1 (4). – С. 124-131.
3. Бутковский А.Г. К философии и методологии проблем управления // Идентификация систем и задачи управления SICPRO`03: Пленарные доклады II Международной конференции. Москва, 29-31 января 2003, ИПУ РАН им. В.А.Трапезникова. – С. 36-43.
4. Гарькина И.А., Данилов А.М., Королев Е.В. Строительные материалы как системы // Строительные материалы, 2006, № 7. – С. 55-58.
5. Гинсберг К.С. III Международная конференция «Идентификация систем и задачи управления» // Проблемы управления, 2004, № 4. – С. 96-99.
6. Гарькина И.А., Данилов А.М. Управление качеством материалов со специальными свойствами // Проблемы управления, 2008, № 6. – С. 67-74.

REFERENCES

1. Garkina I.A., Danilov A.M., Korolev Y.V. Cognitive Modeling in the synthesis of composite materials such as complex systems // Proceedings of the higher education institutions. Building, 2009, № 3/4. – P. 30-37.
2. Garkina I.A., Danilov A.M., Korolev Y.V., Smirnov V.A. The emergence of clusters in composite materials: the limiting system // Regional architecture and engineering, 2008, № 1 (4). – P. 124-131.
3. Butkovskiy A.G. By philosophy and methodology of management problems // System Identification and Control Problems SICPRO `03: Plenary session of the II International Conference. Moscow, January 29-31, 2003, ISP RAS. VA Trapeznikov. – P. 36-43.
4. Garkina I.A., Danilov A.M., Korolev Y.V. Building materials as systems // Building materials, 2006, № 7. – P. 55-58.
5. Ginsberg K.S. III International Conference «System Identification and Control Problems» // Control Sciences, 2004, № 4. – P. 96-99.
6. Garkina I.A., Danilov A.M. Quality management of the materials of special properties // Control problems, 2008, № 6. – P. 67-74.