

## СИНТЕЗ КОМПОЗИТОВ: ЛОГИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

<sup>1</sup>Будылина Е.А., <sup>2</sup>Гарькина И.А., <sup>2</sup>Данилов А.М., <sup>2</sup>Сорокин Д.С.

<sup>1</sup>Московский государственный университет машиностроения (МАМИ), e-mail: bud-ea@yandex.ru

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, Россия (440028, Пенза, ул.Германа Титова, 28 ), e-mail: fmatem@pguas.ru

Рассматриваются логико-методологические модели, используемые при анализе и синтезе композиционных материалов как сложных систем. Учитываются специфические особенности диагностики: сложность объекта познания (многомерность, многосвязность); дефицит времени диагностики; неполнота диагностической информации; сложность диагностической интерпретации анализируемых факторов; относительный и вероятностный характер диагностической информации. Указываются основные ошибки при построении диагностической концепции (неправильная логическая схема, устанавливающая связь основных факторов с диагностическим заключением). Рассматривается и модель диагноза, основанная на правдоподобных рассуждениях (на аналогии). Приводится диагностика с учетом вероятностных связей. Дается приложение к построению когнитивной карты (орграф) для синтеза материалов специального назначения.

Ключевые слова: композиционные материалы, синтез, диагностика свойств, синергия, логико-методологические модели, когнитивная карта.

## SYNTHESIS OF COMPOSITES: LOGICAL AND METHODOLOGICAL MODELS

<sup>1</sup>Budylyna E.A., <sup>2</sup>Garkina I.A., <sup>2</sup>Danilov A.M., <sup>2</sup>Sorokin D.S.

<sup>1</sup>Moscow state university of mechanical engineering (MAMI) (Russia, 107023, Moscow, str. B.Semenovskaya, 38), e-mail: bud-ea@yandex.ru

<sup>2</sup>Penza state university of architecture and construction (Russia, 440028, Penza, Titov str., 28), e-mail: regas@pguas.ru

Considered logical and methodological models used in the analysis and synthesis of composite materials such as complex systems. Taking into account the specific features of diagnosis: the complexity of the object of knowledge (multidimensionality, multiply); lack of time diagnostics; relative and the probabilistic nature of the diagnostic information. Identifies the main errors in the construction of the diagnostic concept (incorrect logic that establishes a connection with the main factors diagnostic conclusion). Considered and diagnosis model based on plausible reasoning (on the analogy). Provides diagnosis based on probabilistic relations. An application to construct a cognitive map (digraph) for the synthesis of special purpose is considered.

Keywords: composite materials, synthesis, properties diagnostics, synergy, logical and methodological models, cognitive map.

При анализе и синтезе композиционных материалов для установления связи структуры и свойств от факторов (включая синергию: суммирующий эффект взаимодействия двух или более факторов; их действие существенно превосходит эффект каждого отдельного компонента в виде их простой суммы) нередко используются логико-методологические модели [2,3,10]. Диагностические познания представляют собой процесс становления определённого знания. Выделяются следующие специфические особенности диагностики: сложность объекта познания (многомерность, многосвязность); дефицит времени диагностики; неполнота диагностической информации; сложность диагностической интерпретации анализируемых факторов. Относительный и вероятностный характер диагностической информации обуславливает необходимость использования методов как конкретного, так и абстрактно-

логического познания, когда каждый новый логический этап продолжает предыдущий и служит исходной предпосылкой для предыдущего.

Основной вопрос, на который следует дать ответ при диагностике: как, каким образом наиболее оптимально осуществлять формирование навыков диагностического поиска, то есть установление абстрактного образа диагностируемого класса (в медицине - нозологическая единица, в статистической теории распознавания образов - эталон класса). Указанный абстрактный образ нельзя путать с индивидуальным диагнозом, определяющим индивидуальные особенности объекта или процесса (в медицине - клинический диагноз; нозологический диагноз не позволяет прогнозировать особенности течения процесса - болезни у конкретного пациента, но является основой для клинического диагноза). Как видим, процесс распознавания осуществляется поэтапно от факторов к группе факторов, а далее к классу (в медицине - от симптомов к синдромам и далее к нозологической единице). В общем случае следует помнить, что не всякая группа факторов даёт специфическую совокупность внутренне взаимосвязанных факторов, присущих данному классу. Так, в медицине указанной совокупности соответствует синдром, характеризующий одну из сторон сущности распознаваемой болезни; степень схватывания композиционного материала, остаточная прочность и т.д. - в строительном материаловедении.

Наиболее сложен именно семиотический анализ по достоверности и специфичности факторов. Ясно, что непротиворечивые выводы, независящие от смыслового содержания высказываний, могут быть выражены лишь в их логической форме. Поэтому, естественно, в основе диагностики должна лежать логико-методологическая модель. При этом, *создание информативных, экспертных, специальных диагностических систем, ставка на компьютеризацию обречены на провал, если в основе лежат ошибочные логико-математические модели.* Основные ошибки при построении диагностической концепции связаны с неправильной логической схемой, устанавливающей связь ключевых факторов с диагностическим заключением (в строительном материаловедении – возможность получения ложной связи в когнитивной карте, рис.1; в медицине - не изменяющиеся во времени симптомы, которые могут выступать фоном для симптомов, подвергающихся динамике). Так, естественно приходим к постановке задач экспертизы и диагностики, а также решению связанных с ними вопросов построения логико-методологических моделей.

Рассмотрим простую *модель диагностики.* Пусть, например, имеется конечный перечень результирующих характеристик материала  $D_1, D_2, \dots, D_n$ . Они определяются набором свойств. Пусть свойства являются бинарными. Предположим, что имеется конечный набор наблюдаемых свойств  $S_1, S_2, \dots, S_m$ . Так что, перед постановкой диагноза возможны два ти-

па знаний: относительно каждого из свойств  $S_1, S_2, \dots, S_m$  известно - обладает ими материал или нет; о связи результирующих  $D_i$  и их проявлениями.

Пусть для определённости имеются только две характеристики  $D_1$  и  $D_2$  (например, гидрофобность и появление грибков) и только три наблюдаемых свойства  $S_1, S_2$  и  $S_3$ . Пусть имеются знания:  $D_1 \rightarrow S_1; D_2 \rightarrow S_2; S_3 \rightarrow D_1 \vee D_2$ . Конъюнкция этих утверждений эквивалентна

$$\begin{aligned} \bar{D}_1 \&\bar{D}_2 \&\bar{S}_3 \vee \bar{D}_1 \&S_2 \&\bar{S}_3 \vee \bar{D}_2 \&S_1 \&\bar{S}_3 \vee S_1 \&S_2 \&\bar{S}_3 \vee \\ &\vee D_1 \&\bar{D}_2 \&S_1 \vee D_1 \&S_1 \&S_2 \vee D_1 \&D_2 \&S_2 \vee D_2 \&S_1 \&S_2. \end{aligned}$$

Если у материала наблюдается  $S_1 \&\bar{S}_2 \&S_3$ , то эти данные вместе со сформулированной выше системой знаний в дизъюнктивной нормальной форме дают  $D_1 \&\bar{D}_2 \&S_1 \&\bar{S}_2 \&S_3$  (любую формулу логики высказываний можно привести к дизъюнктивной нормальной форме, то есть дизъюнкции конъюнкций простых высказываний и их отрицаний; именно это даёт возможность построения абстрактной модели при диагностике). И отсюда получим искомый результат  $D_1 \&\bar{D}_2$ , то есть рассматриваемый материал имеет характеристику  $D_1$ , а не  $D_2$ . Конечно, можно было не использовать технику приведения к нормальной форме, а просто построить вывод. Но заметим, что приведённая выше процедура использования нормальных форм даёт процедуру поиска диагноза, тогда как при выводе заранее должны знать, что хотим вывести.

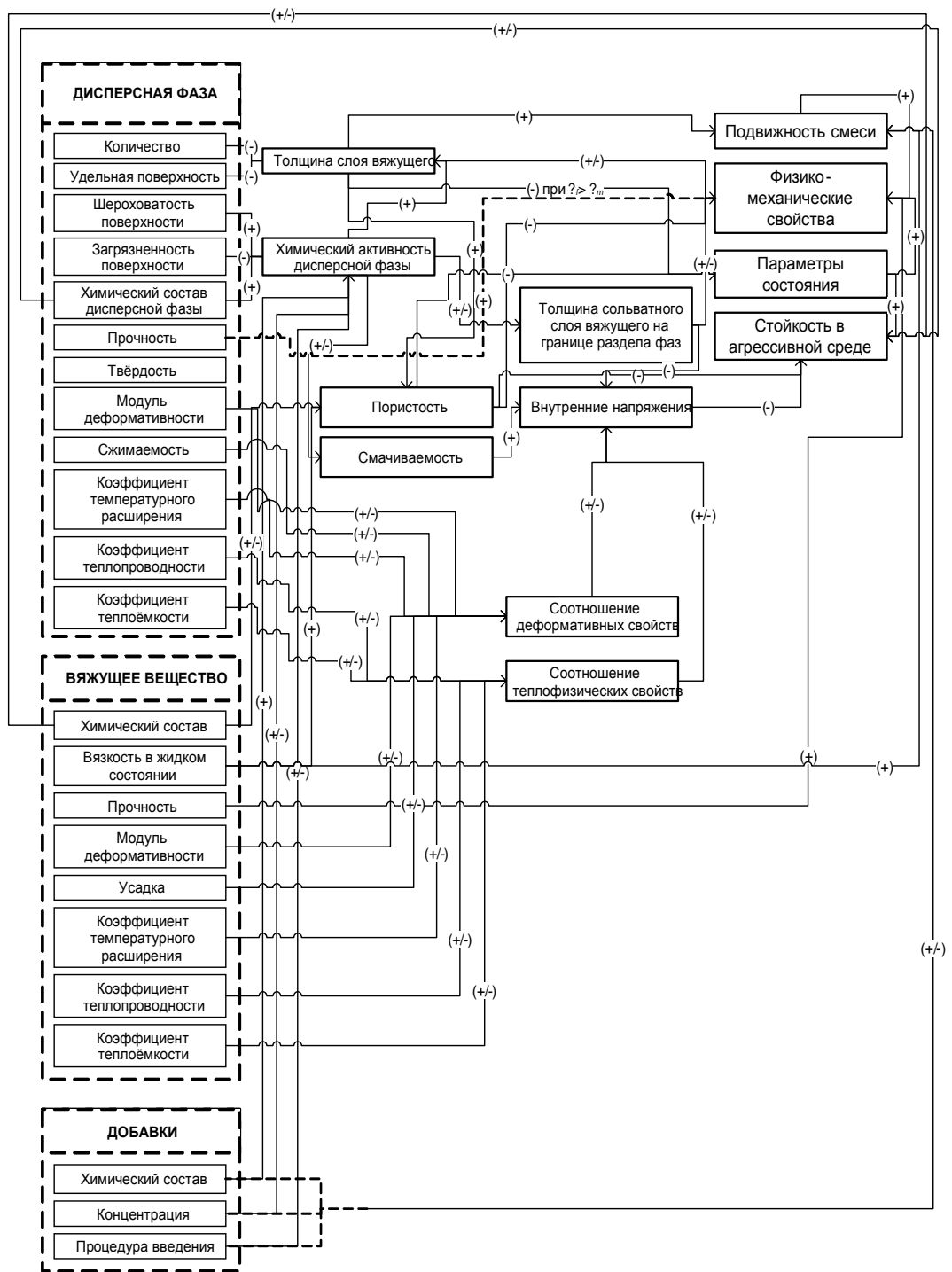


Рис. 1. Знаковый ориентированный граф для радиационно-защитного бетона

*Не следует думать, что при проведении сформулированной выше процедуры всегда можно получить однозначный ответ. При тех же знаниях, которые были сформулированы выше, но при других данных о материале, можно получить неопределённый ответ.*

Пусть материал характеризуется данными  $S_1 \& \bar{S}_2 \& \bar{S}_3$ . Тогда, получим

$$\bar{D}_1 \& \bar{D}_2 \vee \bar{D}_2 \vee D_1 \& \bar{D}_2 \sim \bar{D}_2 \sim D_1 \& \bar{D}_2 \vee \bar{D}_1 \& \bar{D}_2.$$

То есть, с определённой уверенностью заключаем, что материал не обладает характеристикой  $D_2$ , но вопрос о том, обладает ли он характеристикой  $D_1$ , остаётся открытым. *Требуется привлечь дополнительные знания или провести измерения других характеристик.*

*Возможен случай, когда знания и данные о материале дадут нулевую информацию о его виде.* Пусть у третьего материала наблюдаются свойства  $S_1$  и  $S_2$  и отсутствует свойство  $S_3$ , т.е. имеем

$$S_1 \& S_2 \& \bar{S}_3 .$$

При тех же знаниях о зависимостях, которые были сформулированы выше, имеем

$$D_1 \& D_2 \vee D_1 \& \bar{D}_2 \vee \bar{D}_1 \& D_2 \vee \bar{D}_1 \& \bar{D}_2 .$$

То есть, возможны все случаи, и тем самым диагноз не установлен. *Не хватило информации, чтобы что-либо исключить.*

Предложенная выше абстрактная модель диагноза является дедуктивной. Предположили, что уже сформировано знание о связях между наблюдаемыми свойствами и характеристиками. С другой стороны, игнорировали персональный опыт диагноста, то есть его память о ранее установленных положительных или отрицательных диагнозах.

Рассмотрим кратко и *другую модель диагноза*, основанную на правдоподобных рассуждениях и, прежде всего, на аналогии.

Пусть накопили информацию о некотором конечном множестве материалов. Например, допустим, что наблюдались материалы  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , у которых были выявлены свойства  $S_1, S_2, \dots, S_m$ , на основании чего была диагностирована характеристика  $D$ . У материалов  $b_1, b_2, \dots, b_k$  наблюдалось наличие некоторых свойств из группы  $S_1, S_2, \dots, S_m$ , но некоторые из этих свойств отсутствовали, и был сделан вывод об отсутствии характеристики  $D$ . Допустим далее, что у материала наблюдалось присутствие всех свойств  $S_1, S_2, \dots, S_n$ . Поскольку материал  $c$  подобен по этим свойствам материалам  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , то можно заключить, что материал обладает характеристикой  $D$ . *Это типичный пример рассуждения по аналогии.*

Заключение, что  $c$  обладает характеристикой  $D$ , логически не следует из принятых посылок. Это заключение носит только правдоподобный предположительный характер. По мере накопления опыта в памяти сохраняется все больше и больше информации о различных материалах и различных проявлениях их характеристик  $D$ . Может оказаться, что два материала обладают одними и теми же признаками из данного набора, но один обладает  $D$ , а другой - нет. В этом случае, *необходимо ввести в рассмотрение дополнительные характеристики, добавив их в исходный набор свойств.* С другой стороны, некоторые характеристики могут

оказаться неинформативными. В этом случае, они должны быть отброшены (исключены из списка свойств).

Как правило, рассуждение по аналогии протекает на бессознательном уровне. У опытного диагноста вырабатывается схема оценки признаков по степени их информативности для данной характеристики  $D$ .

Абстрактная модель диагноза базируется на значительных идеализациях; возникает вопрос: от каких идеализаций можно отказаться, чтобы сделать модель реалистической?

Прежде всего - отказ от принятой булевости атрибутов. Признак не обязан быть булевым (двухзначным). Если шкала является  $n$ -значной, то в качестве элементарных можно рассматривать  $n$  простых утверждений. При этом, конъюнкция любой пары из этой системы утверждений ложна и верна дизъюнкция всех утверждений

$$P_1(a) \vee P_2(a) \vee \dots \vee P_n(a).$$

Далее - учёт вероятностных связей. Выше предполагалось, что общие знания носят достоверный характер; связь между результирующей характеристикой и свойством - детерминистический. Однако, в реальности эта связь в большинстве случаев является только вероятностной. Чаще налицо знания не вида «если имеется характеристика  $D_i$ , то имеет место  $S_j$ », а скорее вида «если имеется характеристика  $D_i$ , то в 97 % имеет место  $S_j$ ». *Использование такого рода знаний позволяет дедуктивно выводить следствия из этих знаний и данных о материале только с определённой степенью вероятности.*

Известно [11], условная вероятность:

$$P(S|D_i) = \frac{P(S \& D_i)}{P(D_i)};$$

последние две вероятности легко вычисляются на основании анализа статистических данных.

Теперь уже можно использовать не только детерминистические связи между характеристиками  $D$  и свойствами  $S$ , но и вероятностные связи. Задача вероятностной диагностики формулируется следующим образом: *как по вероятности свойств относительно результирующей характеристики установить вероятность  $D$  относительно  $S$ .* Это легко сделать с использованием известной *формулы Байеса.*

Теория вывода, которую даёт исчисление высказываний, недостаточна для математики, да и для обычных рассуждений. Например, из посылок: «*Всякое рациональное число есть действительное число*», «*3 есть действительное число*», конечно, можно вывести заключение: «*3 есть действительное число*». Однако логичность этого рассуждения нельзя установить в исчислении высказываний. Объясняется это тем, что исчисление высказываний огра-

ничивается структурой предложений в терминах предложений-компонентов, а приведённый выше вывод требует анализа структуры предложения в смысле субъекта и предиката, как это делается в грамматике. Иными словами, исчисление высказываний не разделяет предложение на достаточно «тонкие» составляющие для удовлетворения большинства целей. Требуется добавление трех дополнительных понятий: термы, предикаты, кванторы, с помощью которых можно символизировать многое в обычном и математическом языке, для анализа рассуждений.

Предложенные модели эффективно использовались при составлении когнитивных карт (орграф) для построения моделей ряда композиционных материалов специального назначения (радиационно-защитных, химически стойких) [1,4...9,12].

### Список литературы

1. Альбакасов А.И., Гарькина И.А., Данилов А.М., Королев Е.В. Моделирование свойств и синтез серных композиционных материалов / Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2012. – № 2. – С. 24-32.
2. Альбакасов А.И., Гарькина И.А., Данилов А.М., Королев Е.В. Оптимизация систем со сложной иерархией / Вестник гражданских инженеров. №2 (31), 2012. С.324-328.
3. Баженов Ю.М., Гарькина И.А., Данилов А.М., Королев Е.В. Системный анализ в строительном материаловедении: монография -М.: МГСУ: Библиотека научных разработок и проектов. -2012. –432 с.
4. Будылина Е.А., Гарькина И.А., Данилов А.М. Декомпозиция динамических систем в приложениях / Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 95-100.
5. Гарькина И.А., Данилов А.М., Жегера К.В. Математическое программирование в управлении качеством материалов/Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 1. – С. 30-36.
6. Гарькина И.А., Данилов А.М., Королев Е.В. Математическое и компьютерное моделирование при синтезе строительных композитов: состояние и перспективы / Региональная архитектура и строительство. – 2010. – № 2. – С. 9-13.
7. Гарькина И.А., Данилов А.М., Королев Е.В. Когнитивное моделирование при синтезе композиционных материалов как сложных систем / Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2009. – № 3-4. – С. 30-37.
8. Гарькина И.А., Данилов А.М., Королев Е.В., Смирнов В.А. Преодоление неопределенностей целей в задачах многокритериальной оптимизации на примере разработки сверхтяжелых бетонов для защиты от радиации / Строительные материалы - НАУКА. – 2006. -№ 8 . –

С.23-26.

9. Гарькина И.А., Данилов А.М., Смирнов В.А. Флокуляция в дисперсных системах / Системы управления и информационные технологии. – 2008. – № 2.3(32). – С.344-347.
10. Данилов А.М., Гарькина И.А. Сложные системы: идентификация, синтез, управление: монография. - Пенза: ПГУАС, 2011. – 308 с.
11. Данилов А.М., Гарькина И.А. Теория вероятностей и математическая статистика с инженерными приложениями: допущено УМО ВУЗов РФ по образованию в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов в качестве учебного пособия. – Пенза: ПГУАС. – 2010. – 228 с.
12. Данилов А.М., Гарькина И.А., Смирнов В.А., Королева О.В. Математические методы при разработке и управлении качеством материалов специального назначения / Строительные материалы. – 2010. – №3. – С.112-117.

**Рецензенты:**

Камбург В.Г., д.т.н., профессор, профессор кафедры информационно-вычислительных систем Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, г. Пенза.

Береговой В.А., д.т.н., профессор кафедры технологии строительных материалов и деревообработки Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, г. Пенза.