

**И. А. Гарькина, А. М. Данилов, Е. В. Королев** (Пенза, ПГУАС). **Аналитические методы при синтезе материалов: опыт применения.**

На основе опыта разработки и управления качеством материалов специального назначения определяются подход и методологические принципы создания материалов с использованием методов системного анализа и на основе моделирования кинетических процессов.

Сначала материал рассматривается как слабоструктурированная многоцелевая система. В результате междисциплинарных исследований (используется и неполная, нечеткая и даже противоречивая информация) формализуется взаимодействие существующих в системе основных связей, определяющих ее функционирование. С использованием когнитивной карты (в том числе коллективной) строятся иерархические структуры критериев качества и собственно системы, что позволяет рассматривать систему уже как структурированную.

При качественной оценке свойств материалов и определении связей между ними широко использовались методы ранговой корреляции (в частности, исследовались деформативные свойства (учитывались 14 показателей) и связи между ними для 10 видов эпоксидных композитов). Было показано отсутствие необходимости определения некоторых свойств (например, предела прочности при сжатии или твердости) в связи с наличием существенных связей между ними. По статистической значимости выборочного значения коэффициента конкордации показано отсутствие согласованности между всей совокупностью показателей при наличии парной согласованности между отдельными из них. Рассматривая предел прочности при сжатии в качестве результирующей переменной, решалась задача регрессии на порядковых переменных.

Кинетические процессы (в частности, остаточная прочность по годам эксплуатации) рассматривались как временные ряды и строились авторегрессионные модели со скользящим средним:

$$x_t = a_t x_{t-1} + \dots + a_p x_{t-p} + b_0 e_t + b_1 e_{t-1} + \dots + b_q e_{t-q}.$$

Рассматривались марковские процессы, Юла, Юла–Уолкера. Для определения коэффициентов модели использовался алгоритм Левинсона–Дурбина.

Формализация процессов формирования физико-механических характеристик материала осуществлялась как решение общей задачи идентификации в классе обыкновенных дифференциальных уравнений (для радиационно-защитных композитов — не выше четвертого порядка); производилась параметрическая идентификация кинетических процессов.

Для оптимизации рецептурно-технологических параметров и управления качеством материала решалась задача многокритериальной оптимизации с предварительной минимизацией размерности критериального пространства. Использовались принцип, диаграмма и множества Парето (предварительно методами планирования эксперимента определялись аналитические зависимости свойств от точек факторного пространства; использовались методы нелинейного программирования).

Многоцелевая оптимизация при противоречивых критериях осуществлялась с использованием метода последовательных уступок; рассматривались методы скаляризации критериев на основе результатов решения однокритериальных задач (как контрольных показателей).

Эффективность и перспективность использования предлагаемых методов подтверждены результатами многокритериального синтеза радиационно-защитных материалов (не имеют мировых аналогов и конкурентоспособны на мировом рынке).

Работа, представленная данным докладом, выполнена по заказу Минобрнауки РФ (№ гос. рег. 01200850940).