

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПАРАМЕТРИЗАЦИИ КАЧЕСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВЫБОРЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ

М. В. Петроченко

кандидат технических наук, доцент,

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29,

petrochenko_mv@spbstu.ru

Аннотация. *Цель.* Разработка концептуального подхода к параметризации качества композиционных строительных материалов при выборе технологий их получения. *Материалы и методы.* Современные композиционные строительные материалы обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными строительными материалами. Однако их применение в транспортном строительстве сдерживается недостаточной разработанностью нормативных параметров качества композитов с позиций влияния на надежность и долговечность возводимых линейных сооружений, риски возникновения преждевременных разрушений. Выполненный анализ существующих методов подбора компонентов композиционных строительных материалов выявил проблему установления связи между частными показателями исходных компонентов и общей оценкой качества композиционного материала. Предложен концептуальный подход к параметризации качества композиционных строительных материалов при выборе технологий их получения на основании оптимизационно-квалиметрического подхода с использованием способа свертки частных показателей в интегральный критерий. *Результаты.* Предлагаемый концептуальный подход состоит в возможности анализа качественных характеристик сложных композиционных материалов и выбора исходных компонентов, обеспечивающих требуемое качество конечного композиционного материала. *Выводы.* Предложен подход к созданию композиционных строительных материалов с требуемыми свойствами.

ВВЕДЕНИЕ

Большая часть современных высокотехнологичных строительных материалов относится к композиционным строительным материалам. Использование композиционных строительных материалов обеспечивает значительное снижение веса строительных конструкций по сравнению с традиционными материалами, а также минимизация затрат на строительство различных сооружений [1, 2]. Некачественное изготовление и нарушение технологических процессов производства композиционных строительных материалов приводят к снижению эксплуатационной безопасности линейных объектов и их долговечности, а также увеличивается вероятность появления преждевременных повреждений. Параметризация качества композиционных строительных материалов при выборе технологий их получения - это процесс моделирования, оптимизации и синтеза структуры и свойств композиционных материалов. Оценка качества структуры и свойств композиционных материалов, учитывающая варьируемые параметры, позволит получить материал с требуемыми показателями качества, такими как функциональная пригодность,

надежность, технологичность, безопасность, экологичность, экономическая эффективность и др. [3].

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

На сегодняшний день контроль качества строительных материалов осуществляется посредством ряда методов, включая выборочное измерение их физико-механических характеристик, регистрацию качественных показателей, расчет обобщенных показателей качества, визуальное исследование, экспертные оценки и другие методы [4]. Низкая эффективность действующих мероприятий по контролю качества строительных материалов способствует росту затрат на исправление «брака» композиционных строительных материалов, становится причиной задержки ввода в эксплуатацию транспортных сооружений [5].

Большой вклад в процесс моделирования, оптимизации и синтеза структуры и свойств композиционных материалов внесли отечественные и зарубежные авторы: Соловьев В.Г., Коровяков В.Ф., Ларсен О.А., Гальцева Н.А., Гуреев К.А., Солдатов М.Л., Андриевский Р.А., Тейлор Х., Штарк Й., Калашников В.И., Kovler K.L., Shah S.P. и другие.

Существуют значительные противоречия между требуемыми характеристика композиционных строительных материалов и их фактическими показателями, поэтому необходима разработка принципиально нового подхода к оценке качества композиционных строительных материалов. Предлагается использовать концептуальный подход к параметризации качества композиционных строительных материалов при выборе технологий их получения, основанный на теории квалиметрии, математического моделирования и экспериментально-статистических исследований.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Предлагаемый концептуальный подход к параметризации качества композиционных строительных материалов при выборе технологий их получения основан на оптимизационно-квалиметрическом подходе с использованием способа свертки частных показателей в интегральный критерий.

Так как качество композиционных строительных материалов определяется качеством структуры и свойств компонентов, входящих в состав, то его оценка возможна посредством аддитивной или мультипликативной свертки частных критериев качества исходных разнородных материалов в интегральный (обобщенный) [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для получения качественного композиционного строительного материала рассмотрим основные этапы, выполнение которых осуществляется последовательно:

1. Консолидация результатов экспериментально-статистических исследований, где каждому рассматриваемому компоненту композиционного строительного материала присваивается критерий K .

2. Расчет интегрального показателя качества совокупности исходных компонентов композиционного строительного материала состоит в определении весовости критериев качества для установления степени их воздействия на скалярный критерий качества композита и нормирования частных критериев для их приведения к единой размерности.

На этом этапе осуществляются следующие действия:

- строится квадратная матрица A порядка $n \times n$ для расчета весов частных критериев качества методом расстановки приоритетов (парных сравнений);

$$A = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \dots & K_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & K_{nn} \end{bmatrix}; \quad (1)$$

- определяется сумма $U_i = \sum_{j=1}^n K_{ij}$ присвоенных коэффициентов предпочтения K_{ij} по каждой строке матрицы A ;

- рассчитывается сумма $S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n K_{ij}$ присвоенных коэффициентов предпочтения K_{ij} по всей матрице A ;

- определяются значения весовых коэффициентов частных критериев качества α_i по формуле (2):

$$\alpha_i = \frac{U_i}{\sum_{i=1}^n U_i}; \quad (2)$$

- приводятся к единой размерности частные критерии качества посредством их нормирования по формуле (3):

$$K_i^{\text{норм}} = \frac{K_i^{\text{factual}}}{K_i^{\text{normalized}}}, \quad (3)$$

где K_i^{factual} и $K_i^{\text{normalized}}$ соответственно, количественные эквиваленты фактического и нормированного значения i -го частного критерия качества композиционного строительного материала;

- учет оптимизации критериев $K_i^{\text{норм}}$, для этого представим группу максимизируемых критериев через K_i ($i = 1, 2, \dots, m$), а группу минимизируемых критериев через K_i ($i = m + 1, \dots, l$);

- расчет скалярного (интегрального) показателя качества совокупности исходных компонентов композиционного строительного материала методом аддитивной свертки частных показателей по зависимости (4):

$$K_{\text{Generalized}} = \sum_{i=1}^m \alpha_i K_i^{\text{норм}} + \sum_{i=m+1}^l \alpha_i \frac{1}{K_i^{\text{норм}}} \rightarrow \max \quad (4)$$

при ограничениях:

$$n = m + l \text{ и } \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, \quad (5)$$

где α_i – весовой коэффициент, характеризующий вклад частного i -го частного критерия качества в скалярный (интегральный) критерий качества композита;

$K_i^{\text{норм}}$ – значение частного нормированного критерия качества композита для взаимно независимых частных критериев;

m – число частных критериев качества, для которых необходимо обеспечить их максимальные значения;

l – число частных критериев качества, для которых необходимо обеспечить их минимальные значения.

3. Расчет интегрального показателя качества совокупности технических характеристик исходных компонентов композиционного строительного материала методом мультипликативной свертки:

$$K_{Generalized} = \frac{\prod_{i=l+1}^h q_i^{max^{\alpha_i}}}{\prod_{i=h+1}^p q_i^{min^{\alpha_i}}} \rightarrow max \quad (6)$$

при следующих ограничениях:

$$n = h + p \text{ и } \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, \quad (7)$$

где q_i^{max} – нормированное значение i – го частного критерия качества композита, который подлежит максимизации;

q_i^{min} – нормированное значение i – го частного критерия качества композита, который подлежит минимизации;

h – число частных критериев качества мультипликативной свертки, для которых необходимо обеспечить их максимальные значения;

p – число частных критериев качества мультипликативной свертки, для которых необходимо обеспечить их минимальные значения;

α_i – вес (значимость) частного i – го дифференциального (нормированного) показателя качества композиционного строительного материала.

4. Расчет комплексного интегрального критерия качества композиционного строительного материала:

$$K_{Integral} = \left[\left(\sum_{i=1}^m \alpha_i K_i^{норм} + \sum_{i=m+1}^l \alpha_i \frac{1}{K_i^{норм}} \right) + \left(\frac{\prod_{i=l+1}^h q_i^{max^{\alpha_i}}}{\prod_{i=h+1}^p q_i^{min^{\alpha_i}}} \right) \right] \rightarrow max \quad (8)$$

при следующих ограничениях:

$$n = m + l + h + p \text{ и } \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1. \quad (9)$$

ВЫВОДЫ

Предлагаемый концептуальный подход к параметризации качества композиционных строительных материалов при выборе технологий их получения основывается на учете влияния как зависимых, так и независимых частных показателей качества исходных компонентов на общий показатель качества композиционных строительных материалов. Использование методов мультиаддитивной и мультипликативной свертки частных критериев позволяет повысить точность оценки вклада отдельных показателей в интегральный критерий качества.

Практическое значение предложенного подхода состоит в возможности анализа качественных характеристик сложных композиционных материалов и выбора наилучших исходных компонентов, обеспечивающих оптимальное качество конечного композиционного материала.

Проведенный анализ показал, что существующие методы подбора компонентов часто сталкиваются с проблемой установления однозначной связи между частными показателями исходных компонентов и общей оценкой качества композиционного материала, что затрудняет выбор исходных компонентов для изготовления высококачественных композиционных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галиев, Л. С. Оценка конкурентных преимуществ композиционных материалов в строительных конструкциях / Л. С. Галиев, В. В. Полити, В. С. Канхва // Отходы и ресурсы. – 2022. – Т. 9. – № 3. – DOI: 10.15862/19ECOR322

2. Гуреев, К. А. Управление строительством в современных условиях развития экономики России / К. А. Гуреев, М. Л. Солдатов // Журнал прикладных исследований. – 2022. – Т. 1. – № 8. – С. 44–50. – DOI 10.47576/27127516_2022_8_1_44.

3. Маилян, Л. Д. Оценка показателей качества в строительстве / Л. Д. Маилян, Н. О. Сизен // Вестник СибАДИ. – 2024. – Т. 21. – № 3. – С. 464–474. – DOI:10.26518/2071-7296-2024-21-3-464-474

4. Обеспечение качества и повышение конкурентоспособности строительной продукции: моногр. / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, Р.В. Тарасов. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 176 с.

5. Uvarova, S. S. A. Assessment and modelling the dynamics of building materials prices in the current conditions / S. S. Uvarova, S. V. Belyaeva, V. A. Bolgov // Real Estate: Economics, Management. – 2023. – No. 1. – P. 27–32.

6. Петроченко, М. В. Методика оценки качества кадрового потенциала проектной группы и влияние квалификации на проектные риски // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2025. – Т. 11, № 1. – С. 134–151. – DOI 10.17816/transsyst642802. – EDN KWFWJL.