

УДК 666.97:517.9

ТРАНСФОРМАЦИИ КОРРЕЛЯЦИИ СВОЙСТВ ЗАЩИТНЫХ ЭПОКСИКАУЧУКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

TRANSFORMATIONS IN CORRELATION OF PROPERTIES OF PROTECTIVE EPOXY-RUBBER COMPOSITIONS

Д.т.н., проф. Ляшенко Т.В., к.т.н. Гара А.А. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры)
D.Sc., Prof. Lyashenko T.V., Dr. Gara A.A. (Odessa State Construction and Architecture Academy)

Введение. Корреляцию свойств конструкционных материалов приходится определять, если нужен прогноз или экспресс-контроль их качества, в частности [1-2], неразрушающими методами. Кроме того, это целесообразно для возможного снижения числа критериев в задачах проектирования и полезно при исследовании механизмов формирования структуры и свойств композитов [3-5].

При исследовании [6-8] свойств наполненных композиций на эпоксилаучуковой смоле «Макро» для 27 составов (согласно плана эксперимента) были, в частности, определены уровни прочности при сжатии и изгибе (R_c и R , МПа), динамического модуля упругости (E , ГПа), прочности при изгибе после полугодичной экспозиции в воде, легкой и тяжелой нефти (R_w , R_{PL} и R_{PH} соответственно). Рецептурную область задавали следующие диапазоны параметров состава: степень наполнения – количество минеральной дисперсной фазы (наполнитель и песок), $X_1 = 280 \pm 100$ м.ч. (на 100 массовых частей эпоксилаучуковой смолы «Макро»); массовая доля наполнителя (диабаз и цеолит) в минеральном каркасе, $X_2 = 0.6 \pm 0.3$; доля цеолита (мелкого и крупного) в наполнителе, $X_3 = 0.15 \pm 0.1$; доля в цеолите крупных зерен, $X_4 = 0.25 \pm 0.25$; дозировка фурфурола, $X_5 = 7 \pm 5$ м.ч. (на 100 смолы).

Данные этого эксперимента позволили описать пятифакторными ЭС-моделями второго порядка поля свойств композита (Y) в пяти нормализованных координатах состава ($|x_i| \leq 1$, определяющих область полного поля – всю исследованную рецептурную область). Многофакторные ЭС-модели открывают возможности [5, 9], во-первых, проанализировать влияние на свойства и отдельных факторов состава, и выделяемых при анализе подсистем факторов,

формирующих множество локальных рецептурных полей (в локальных подобластях разных размерностей, в данном случае – от 1 до 5). Во-вторых, на основе ЭС-моделей с помощью метода Монте-Карло могут быть выполнены многочисленные вычислительные эксперименты. В выполненном исследовании часть таких экспериментов обеспечивала итерационное случайное сканирование 5-факторных полей свойств при решении задач многокритериальной оптимизации [8]. В данной статье рассматриваются результаты вычислительных экспериментов при исследовании корреляции ряда свойств эпоксикаучуковых композиций для ремонта и защиты конструкций.

Условия и результаты вычислительных экспериментов.

Предполагается, что по динамическому модулю упругости можно оценивать прочностные характеристики. Диаграмма рассеивания на рис. 1 отражает отношения R_c и R с модулем E по полученным в натурном эксперименте данным для 27 составов из всей исследованной рецептурной области. Парные коэффициенты корреляции $r\{R, E\} = 0.12$ и $r\{R_c, E\} = 0.3$ указывают (при 5-процентном риске) на отсутствие линейной связи E с прочностью и на слабую связь соответственно. Однако построенные по этим данным ЭС-модели позволили выявить наличие корреляции и существенные

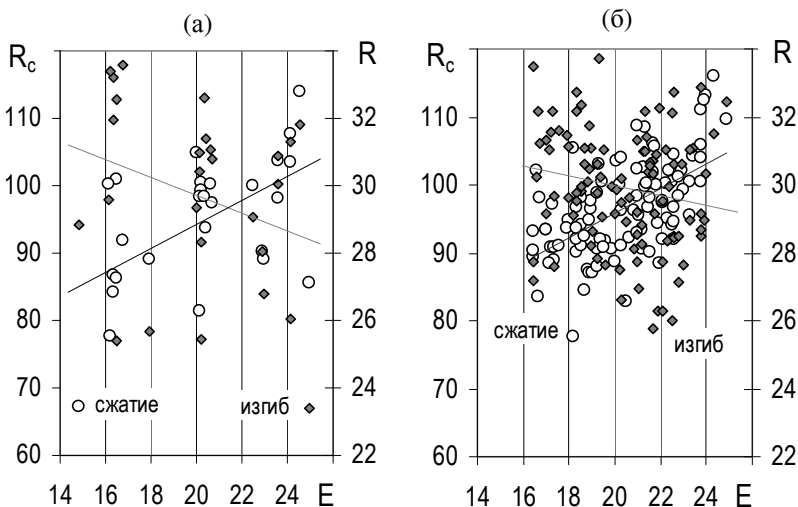


Рисунок 1. Диаграммы рассеивания значений модуля упругости, прочности при сжатии и изгибе в натурном (а) и вычислительном (б) экспериментах

различия в связях прочности и модуля упругости в разных рецептурных зонах и охарактеризовать разные возможности прогноза R и R_c по E для разных рецептурных условий – с помощью вычислительных экспериментов, статистических испытаний на локальных полях свойств [4].

В таких экспериментах могут быть сформированы выборки любого объема n парных значений (Y_i, Y_j) . Для этого в области поля (полного или локального) генерируется n равномерно распределенных векторов x – составов материала. Каждый состав получает оценки уровней свойств по соответствующим ЭС-моделям с добавлением нормально распределенных ошибок предсказания [4, 5; 9, с. 45]. Таким образом имитируются результаты испытаний любого числа реальных образцов любых составов из исследуемой области рецептур.

Диаграммы рассеяния на рис. 1б представляют $n = 100$ пар значений (R_c, E) и (R, E) для композиций, генерированных во всей 5-факторной области (в которой определены полные поля свойств), и подтверждают отсутствие связи прочности с модулем упругости, если она характеризуется по всему массиву исследуемых составов. Однако подобное рассеяние данных может быть результатом того, что в них смешаны выборочные значения из разных совокупностей.

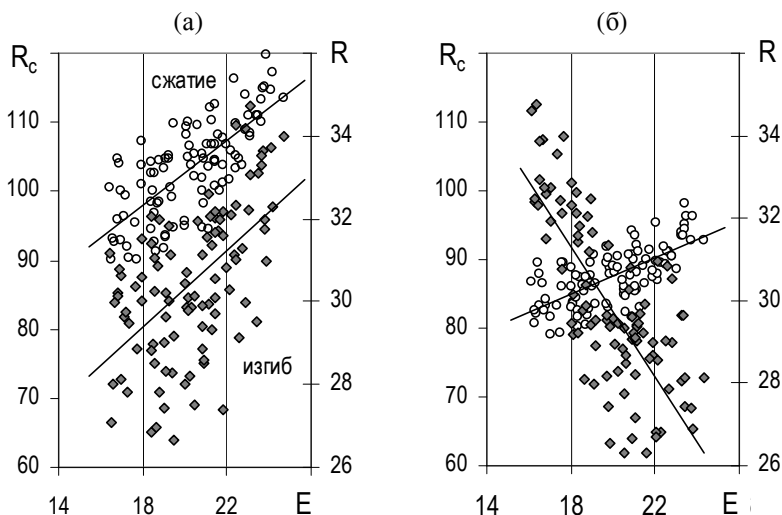


Рисунок 2. Диаграммы рассеяния с линиями линейного тренда по результатам вычислительных экспериментов для слабо (а) и существенно (б) модифицированных композиций

Для выявления возможных значимых тенденций в отношениях R_c и R с E (для разделения совокупностей) вычислительные эксперименты по анализу корреляции были выполнены на локальных рецептурных полях, при разных условиях формирования вариации свойств. В частности, обследовались области двух факторов – степени наполнения минеральной дисперсной фазой (x_1) и доли в ней наполнителя (x_2) – при разных зафиксированных уровнях факторов модификации (x_3, x_4, x_5).

Оказалось, в частности (рис. 2), что для слабо модифицированных композиций ($x_3 = x_4 = x_5 = -1$) значима, как и можно было ожидать, положительная корреляция E с прочностью R (коэффициент парной корреляции $r = 0.56$), но при повышенных дозировках фурфурола и цеолита ($x_3 = x_4 = x_5 = +1$) связь E с R значимо отрицательна ($r = -0.76$). Это указывает на существенные различия в условиях формирования структуры композита, матрицы и межфазных слоев при низкой и высокой степени модификации базовой дисперсной системы. Для сильно и слабо модифицированных композиций могут быть построены индивидуальные уравнения линейной регрессии R по E и R_c по E , позволяющие прогнозировать с приемлемой точностью уровень прочности по динамическому модулю упругости, определяемому ультразвуковым методом.

Диаграмма рассеяния на рис. 3 построена по полученным в натурном эксперименте для 27 защитных композиций данным о трех критериях качества – прочности при изгибе после выдерживания образцов отдельно в воде, «легкой» и «тяжелой» нефти. Эти данные показывают значимую корреляцию (риск менее 1%) прочностей R_{PL} и R_{PH} с R_W .

По натурным данным, более слабая статическая линейная связь существует (с риском более 1%) между R_{PL} и R_{PH} , и только для R_{PH} можно принять гипотезу о корреляции с прочностью R (образцов в нормальных условиях).

Полученные по ЭС-моделям оценки R, R_W, R_{PL}, R_{PH} для 100

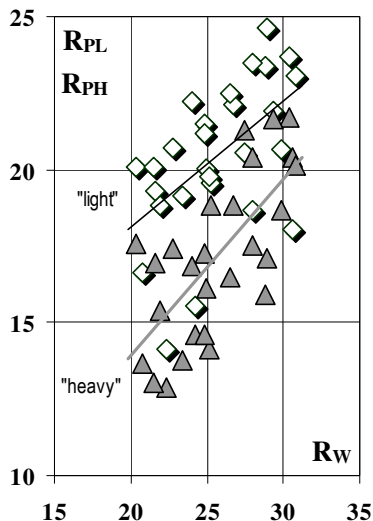


Рисунок 3. Диаграмма рассеяния прочности при изгибе после экспозиции образцов в воде (R_W) и двух видах нефти (R_{PL}, R_{PH})

составов, генерированных во всей области исследуемых рецептур, в основном подтверждают такой характер связей между этими критериями. Однако статистические испытания в локальных рецептурных зонах показали, в частности, что если для «жестких растворов» ($x_1 = 1, x_2 = -1$) увеличение R_w сопровождается увеличением и R_{PL} , и R_{PH} (рис. 4а), то в «подвижных пастах» ($x_1 = -1, x_2 = 1$) повышению R_w сопутствует существенное снижение прочности в легкой нефти (рис. 4б).

Заключение. Вычислительные эксперименты на рецептурных полях свойств дают возможность стратифицировать исследуемое многообразие рецептурных условий получения материала, выявить области составов, для которых могут быть построены работоспособные регрессионные уравнения, позволяющие оценивать уровень того или иного свойства по уровню другого.

Обнаруживаемые при этом трансформации характера корреляционных связей могут указывать на смену доминирующих механизмов структурообразования при переходе от одних рецептурных условий к другим.

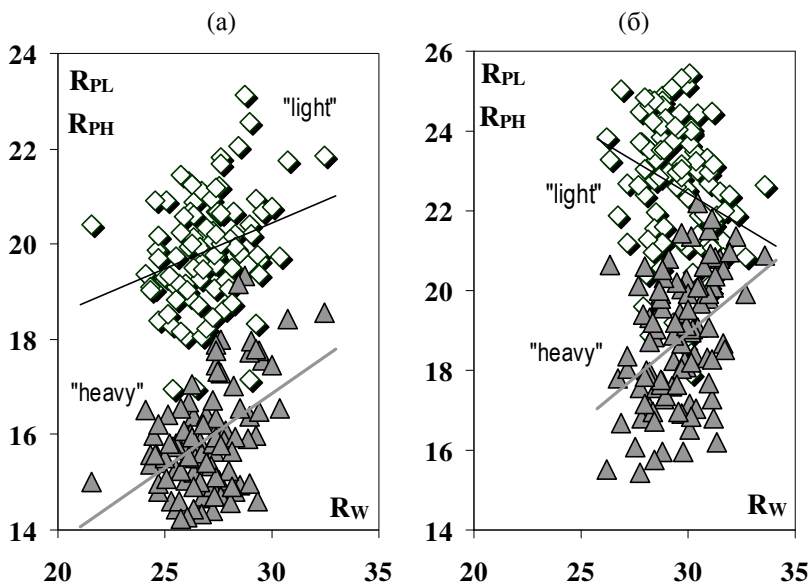


Рисунок 4. Диаграммы рассеяния прочностей для генерированных составов: (а) – «высокое наполнение, много песка»; (б) – «низкое наполнение, мало песка»

Список литературы:

1. Teodoru G.Y.M., Mommens A. *Non destructive testing in the quality control of buildings: why, what and how?* / Eds. L. Taerwe and H. Lambotte // *Quality Control of Concrete Structures*. – London: E & FN SPON / Chapman & Hall, 1991. – P. 367-376.

2. Семенов А.С. *Использование разрушающих и неразрушающих методов контроля физико-механических характеристик материала строительных конструкций*. – *Строительные материалы* – 2010, №12. – С. 86-87.

3. *Использование метода Монте-Карло при анализе взаимосвязи между полями реологических показателей композиций для отделочных работ* / Т.В. Ляшенко, В.А. Вознесенский, Т.И. Пищева, Я. Иванов // *Вісник ОДАБА*. – Одеса: Місто майстрів, 2001. – Вип. 3. – С. 57-64.

4. Ляшенко Т.В. *Статистические испытания на полях свойств строительных материалов* // *Зб. наук. пр. Луганського національного аграрного університету*. – Луганск: Видавництво ЛНАУ, 2004. – № 40(52). – С. 249-256.

5. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В. *Рецептурно-технологические поля свойств материала в компьютерном строительном материаловедении*. – *Строительные материалы* – 2006, №3 – Приложение: Наука № 7. – С. 8-11.

6. Ляшенко Т.В., Гара А.А., Шаршунов А.Б. *Анализ влияния многофракционного каркаса на прочность эпоксидных композиций, модифицированных фурфуролом* // *Современные строительные конструкции из металла и древесины*. – Одесса, ОГАСА, 2006. – С. 34-41.

7. Гара А.А. *Влияние многофракционного каркаса на динамический модуль упругости модифицированных эпоксидных композиций* // *Моделирование в компьютерном материаловедении: Мат-лы междунаrod. семинара МОК'46*. – Одесса: Астропринт, 2007. – С. 78-80.

8. Ляшенко Т.В., Гара А.А. *Компромиссная оптимизация эпоксидных композиций по прочности в разных средах* // *Современные строительные конструкции из металла и древесины*. – Одесса, ОГАСА, 2008. – С. 185-190.

9. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В. *ЭС-модели в компьютерном строительном материаловедении*. – Одесса: Астропринт, 2006. – 116 с.

ТРАНСФОРМАЦИИ КОРРЕЛЯЦИИ СВОЙСТВ ЗАЩИТНЫХ ЭПОКСИКАУЧУКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Представлены данные о динамическом модуле упругости наполненных модифицированных эпоксикаучуковых композиций и о прочности в разных средах, а также оценки уровней свойств в вычислительных экспериментах, позволившие выявить различия в характере и степени корреляционной связи между свойствами в разных зонах пятифакторной рецептурной области.

Ключевые слова: модуль упругости, прочность, вода, нефть, корреляция, экспериментально-статистическая модель, метод Монте-Карло.

TRANSFORMATIONS IN CORRELATION OF PROPERTIES OF PROTECTIVE EPOXY-RUBBER COMPOSITIONS

Presented are the data on elasticity modulus of the filled modified epoxy-rubber compositions and on their strength in various media. The estimates of the properties levels obtained in computational experiments have allowed the differences in character and degree of correlation between the properties in different zones of five-factor composition region to be revealed.

Key words: elasticity modulus, strength, water, petroleum, correlation, experimental-statistical model, Monte Carlo method.