

ДИНАМИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ УПРУГОСТИ ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ С КОРОТКОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ФИБРОЙ

Ляшенко Т.В., *д.т.н., проф.*, Воронов Ю.Н., *к.т.н., доц.*,
Крюковская С.А., *магистр*

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Введение. Армированные полимерной фиброй полимерцементные композиции представляют основу сухих смесей для приготовления строительных растворов разного назначения [1-3], в частности, для наливных самовыравнивающихся покрытий. Соединение в смесях неорганических и полимерных связующих является существенным для обеспечения высокого качества материала. Органический компонент, как правило – редуцируемые полимерные порошки (РПП). Наиболее известные из них VINNAPAS® (фирмы WACKER POLYMERS [4]), соединяясь с цементом, образуют идеальные вяжущие системы, значительно улучшающие технологические свойства смесей, водоудерживающую способность, адгезию, когезию, прочность при изгибе и другие критерии качества затвердевших композитов.

Кроме РПП, из многочисленных компонентов сухих строительных смесей [2, 3] следует выделить неоднозначно влияющие на свойства композиций эфиры целлюлозы, необходимые для обеспечения водоудержания и снижения седиментации, а также полимерные волокна, которые вводят для уменьшения усадочных деформаций, повышения прочности, трещиностойкости и износостойкости материала.

Ранее были представлены [5] результаты исследования прочности (при сжатии и изгибе после 3-х и 28 суток) композиций, в которых используется редуцируемый полимер «нового поколения», соединяющий

$$\begin{aligned}
 E = & 21.24 + 2.20x_1 - 1.66 x_1^2 \pm 0 x_1x_2 - 1.34x_1x_3 \pm 0 x_1x_4 \\
 & - 0.95x_2 + 1.44 x_2^2 \pm 0 x_2x_3 \pm 1.73x_2x_4 \\
 & - 0.70x_3 \pm 0 x_3^2 - 0.97x_3x_4 \\
 & \pm 0 x_4 \pm 0 x_4^2
 \end{aligned} \quad (1)$$

функции связующего и суперпластификатора. В данной работе характеризуется влияние вышеназванных компонентов на динамический модуль упругости композиций. Предполагается, что по уровню динамического модуля упругости, определяемому неразрушающим методом, можно оценивать прочность материала.

Условия и результаты эксперимента. В эксперименте [5] варьировались следующие факторы:

- количество полимерного порошка, $V - X_1 = 3.9 \pm 1.6$ (в % от массы цемента, как и для других компонентов; при пересчете на сухую смесь V составляет 0.9-2.1%, накрывающие рекомендуемый производителем диапазон низких дозировок, 1-2%);
- молекулярная масса метилцеллюлозы (ММС, по вязкости водного раствора, мПа·с), $X_2 = 300, 1500, 3000$;
- дозировка метилцеллюлозы, $MC - X_3 = 0.25 \pm 0.15$;
- содержание полипропиленовой фибры (3 мм) $F - X_4 = 0.6 \pm 0.4$ *).

Количество цемента и песка (которые представляли, соответственно, все минеральные вяжущие и минеральные наполнители из взятых в качестве ориентиров составов, исследованных в работе [6]), оставалось постоянным (39 и 57 массовых частей на 100 сухой смеси). Количество воды подбиралось таким образом, чтобы обеспечить требуемую растекаемость растворной смеси (18 см, в соответствии с назначением материала и ДСТУ-П Б В.2.7-126:2006).

Эксперимент выполнен по оптимальному 18-точечному плану 2-го порядка, позволяющему построить 4-факторные квадратичные экспериментально-статистические (ЭС) модели для характеристик технологической смеси и затвердевшего композита. Среди них динамический модуль упругости E (ГПа). Значения E , пропорциональные квадрату скорости прохождения ультразвуковых волн через материал и его плотности [7], были определены с помощью прибора УК-14ПМ. По полученным значениям динамического модуля упругости для 18 составов построена (очищенная от незначимых эффектов при ошибке эксперимента менее 6%) модель (1), которая описывает полное поле $E(x_1, x_2, x_3, x_4)$ в нормализованных рецептурных координатах $|x_i| \leq 1$ (во всей исследуемой рецептурной области).

Максимальный уровень рецептурного поля (1) $E_{\max} = 27$ ГПа соответствует верхнему значению содержанию Виннапаса и нижним границам диапазонов трех других рецептурных факторов. Минимуму $E_{\min} = 14.5$ ГПа соответствуют минимальные дозировки всех компонентов при наибольшей ММС. Таким образом, перепад E в пределах области исследуемых составов достигает почти 100%, главным образом, за счет роли РПП, но с учетом количества и молекулярной массы метилцеллюлозы, что отражают диаграммы на рис. 1.

*) В работе [5] были указаны неверные дозировки фибры (из-за описки при наборе).

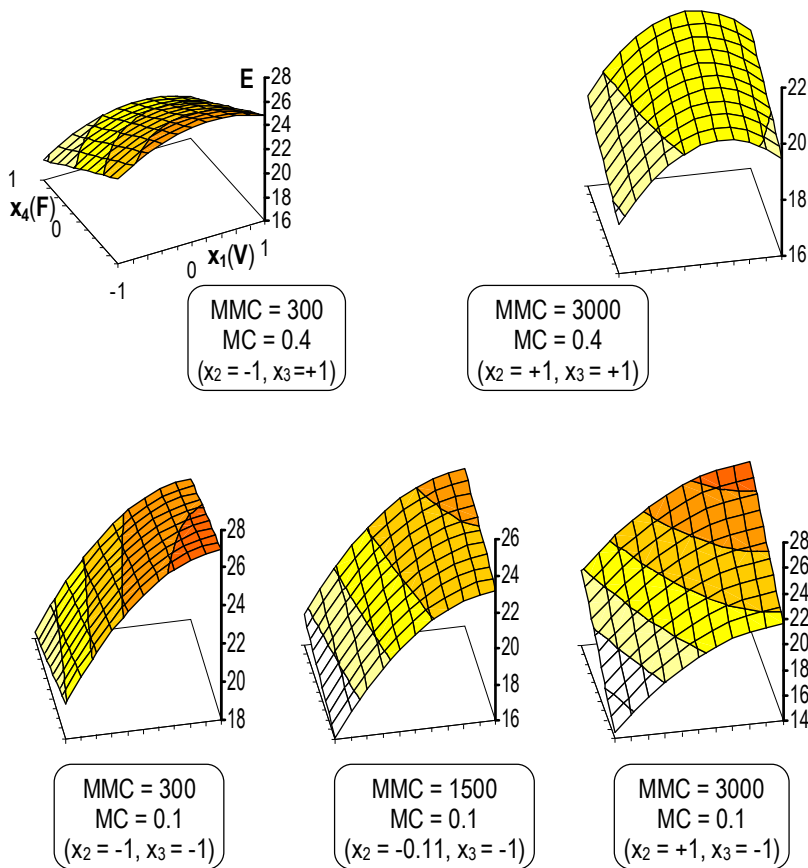


Рис. 1. Локальные поля модуля упругости в координатах содержания Виннапаса и фибры при разных дозировках метилцеллюлозы разной молекулярной массы

Очевидно, что МС и ММС определяют условия образования структуры матрицы, каркаса «волокну-песок», межфазных слоев. Модель и диаграммы показывают, что именно факторы метилцеллюлозы обуславливают то или иное влияние короткой фибры на формирующуюся структуру композита. При минимальных дозировках «тяжелой» метилцеллюлозы Виннапас и фибра позволяют почти вдвое увеличивать динамический модуль (от 14.5 до 27 ГПа). Наименее благоприятной при формировании упругих свойств оказывается смесь с повышенным содержанием эфира целлюлозы повышенной молекулярной массы.

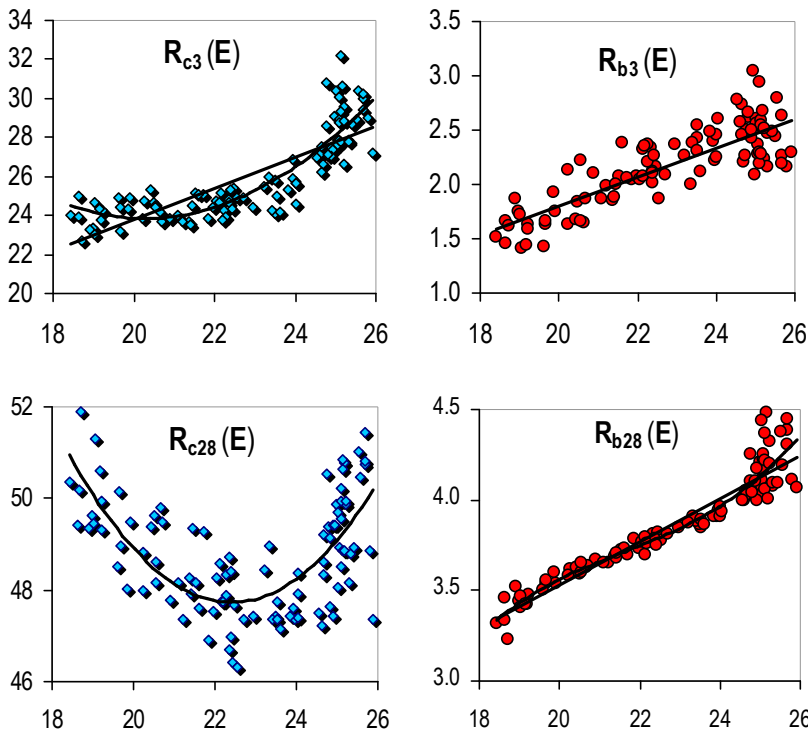


Рис. 2. Диаграммы рассеяния значений динамического модуля упругости и характеристик прочности по результатам вычислительного эксперимента при $ММС = 300$, $МС = 0.1\%$ и $F = 1\%$

Диаграммы рассеяния полученных в эксперименте значений модуля E для 18 композиций и их прочности при сжатии и изгибе через 3 и 28 суток (R_{c3} , R_{b3} , R_{c28} , R_{b28} , МПа), а также соответствующие коэффициенты корреляции не указывают на наличие значимой связи E с характеристиками прочности. Но это заключение построено на данных, представляющих, вероятно, разные совокупности (свойства весьма разных композиций). Анализ и сепарация различных условий структурообразования могут [8] дать основания для возможного прогнозирования R по E . Парные выборки любого объема, необходимые для подобного анализа и для построения прогностических уравнений, могут быть имитированы с помощью полученных ЭС-моделей.

Таблица 1. Коэффициенты детерминации связи характеристик прочности с динамическим модулем упругости при разных фиксированных параметрах рецептуры

Условия	R_{c3}	R_{c28}	R_{b3}	R_{b28}
Нижний уровень ММС, МС, F				
линейный тренд		0.48	0.47	0.82
тренд второго порядка	0.55	0.74		
Нижний уровень ММС, МС, верхний F				
линейный тренд	0.66		0.70	0.90
тренд 2-го (3-го) порядка	0.79	0.48		(0.91)
Верхний уровень ММС и МС				
линейный тренд	0.39	0.23	0.41	0.50
Нижний уровень ММС и МС				
линейный тренд			0.34	0.83
тренд 3-го порядка				0.85
Верхний уровень V, нижние ММС и МС				
<u>отрицательный</u> линейный тренд	0.55		0.47	
Нижний уровень V, ММС, МС				
<u>отрицательный</u> линейный тренд	0.55	0.59	0.34	

Результаты вычислительных экспериментов. Выявить наличие корреляции и существенные различия в связях прочности и модуля упругости в разных рецептурных зонах и охарактеризовать разные возможности прогноза R по E для разных рецептурных условий позволяют статистические испытания на соответствующих

локальных полях свойств [9]. В области рецептурного поля генерируется n равномерно распределенных векторов x – составов материала. Каждый состав получает оценки уровней свойств по соответствующим ЭС-моделям с добавлением нормально распределенных ошибок предсказания. Таким образом имитируются результаты испытаний любого числа реальных образцов любых составов из исследуемой области рецептур. Диаграммы рассеяния на рис. 2 представляют по $n = 100$ пар значений (R_{c3}, E) , (R_{c28}, E) , (R_{b3}, E) , (R_{b28}, E) для 100 генерированных композиций с разным содержанием Виннапаса (во всем диапазоне $2.3 \leq V \leq 5.5\%$, $-1 \leq x_1 \leq +1$) при одинаковом минимальном содержании «низкомолекулярной» метилцеллюлозы и максимальном количестве фибры ($x_2 = x_3 = -1$, $x_4 = +1$).

Коэффициенты детерминации связей R с E при этих и других условиях формирования вариации свойств приведены в табл. 1. Значения коэффициентов указывают на возможность построения тарировочных зависимостей разного вида и с разными параметрами для определенных групп смесей. Следует отметить некоторые из выявленных тенденций: нелинейную корреляцию при минимальных концентрациях низкомолекулярной метилцеллюлозы; более слабую корреляцию при повышенных ММС и МС; значимую отрицательную линейную связь E с ранней прочностью (и с R_{c28} в случае минимальных V) при вариации F в составах с «низкими» ММС и МС.

Заключение

Влияние редиспергируемого полимерного порошка, молекулярной массы и количества метилцеллюлозы в полимерцементных композициях с короткой полипропиленовой фиброй на динамический модуль упругости охарактеризовано с помощью 4-факторной нелинейной экспериментально-статистической модели. Вычислительный эксперимент позволил оценить корреляционные связи с прочностью при сжатии и изгибе при разных условиях вариации составов.

SUMMARY

The influence of redispersible polymer powder, methylcellulose of various molecular mass, and short polypropylene fibre on dynamic elasticity modulus of polymer-cement compositions is shown, described by experimental-statistical model. The various correlation with compression and bending strength is characterised with the help of computational experiment.

Литература

1. Dry Building Mixes Market Research. – Merchant Research and Consulting Ltd., Oct. 2010. – 474 p.
2. Карапузов Е.К., Лутц Г., Герольд Х., Толмачев Л.Г., Спектор Ю.П. Сухие строительные смеси. – Киев: Техніка, 2000. – 225 с.
3. Рунова Р.Ф., Носовський Ю.Л. Технологія модифікованих будівельних розчинів. – Київ, 2007. – 256 с.
4. WAKER POLYMERS VINNAPAS®. Product Overview 2010. Polymer Binders for the European Construction Industry. – 26 p.
5. Ляшенко Т.В., Крюковская С.А., Довгань А.Д. Прочность полимерцементных композитов с короткой полимерной фиброй // Современные строительные конструкции из металла и древесины. – №15, Ч. 3. – Одесса, ОГАСА. – 2011. – С. 125-129.
6. Соха В.Г. Фіброполімерцементні суміші для улаштування високоміцних покриттів промислових підлог. – Автореф. дис. к.т.н.: 05.23.05 / ОДАБА. – Одеса, 2005. – 20 с.
7. Горелик Г.С. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику (2-е изд.). – М.: Физматлит, 1959. – 572 с.
8. Ляшенко Т.В., Гара А.А. Трансформации корреляции свойств защитных эпоксикаучуковых композиций // Современные строительные конструкции из металла и древесины. – Одесса, ОГАСА. – 2011. – №15, Ч. 2. – С. 130-135.
9. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В. ЭС-модели в компьютерном строительном материаловедении. – Одесса: Астропринт, 2006. – 116 с.