

ПРОЧНОСТЬ ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ С КОРОТКОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ФИБРОЙ

STRENGTH OF POLYMER-CEMENT COMPOSITES WITH SHORT POLYMER FIBRE

*Д.т.н., проф. Ляшенко Т.В., аспирант Крюковская С.А., к.т.н., доц.
А.Д. Довгань (Одесская государственная академия строительства и
архитектуры)*

*D.Sc., Prof. Lyashenko T.V., M.Sc. Kryukovskaya S.A., Dr. Dovgan A.D.
(Odessa State Construction and Architecture Academy)*

Введение. Сухие строительные смеси (ССС) нашли широкое применение в жилищно-гражданском, промышленном и специальном строительстве [1, 2]. Существенным для обеспечения высокого качества является соединение в смесях неорганических и полимерных связующих. Органический компонент в СССР разного назначения, как правило – редиспергируемые полимерные порошки (РПП). Наиболее известные из них VINNAPAS® (фирмы WACKER POLYMERS), 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.

Из многих компонентов СССР [1, 3] в контексте данной работы, кроме РПП, выделены эфиры целлюлозы, неоднозначно влияющие на свойства композиций, необходимые для обеспечения водоудержания и снижения седиментации, и полимерные волокна, которые вводят в СССР, чтобы уменьшить усадочные деформации, повысить прочность, трещиностойкость и износостойкость материала.

В данной работе характеризуется влияние указанных компонентов на прочность композиций, в которых используется редиспергируемый полимер «нового поколения», соединяющий функции связующего и суперпластификатора.

Условия и результаты эксперимента. Исследуются композиции, представляющие основу сухих смесей для самовыравнивающихся покрытий. Дозировки для эксперимента определены с учетом составов, исследованных в работе [5], и других результатов. В эксперименте варьировались следующие факторы:

- ◆ количество (% от массы цемента) полимерного порошка, $V - X_1 = 3.9 \pm 1.6\%$ (при пересчете на сухую смесь это 0.9-2.1%, накрывающие рекомендуемый производителем диапазон низких дозировок, 1-2%);
- ◆ молекулярная масса метилцеллюлозы (по вязкости водного раствора, мПа·с), $X_2 = 300, 1500, 3000$;
- ◆ дозировка метилцеллюлозы, $X_3 = 0.25 \pm 0.15\%$;
- ◆ содержание полипропиленовой фибры длиной 3 мм, $X_4 = 0.25 \pm 0.15\%$.

Оставалось постоянным количество цемента и песка (39 и 57 массовых частей на 100 сухой смеси, представляющие соответственно все минеральные вяжущие и минеральные наполнители из «составов-ориентиров» [5]). Подбиралось количество воды W (м.ч. на 100 сухой смеси), обеспечивающее требуемую растекаемость растворной смеси 18 см (согласно назначению 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 определяемых характеристик технологической смеси и затвердевшего композита. Среди них прочности при изгибе и сжатии через 3 и 28 суток нормального твердения, соответственно $R_{b3}, R_{b28}, R_{c3}, R_{c28}$ (МПа). Полученные значения прочностей, а также водопотребность составов показаны на диаграммах рассеяния (рис. 1).

Участие полимерного связующего, со свойствами суперпластификатора, приводит к отсутствию отрицательной связи прочности с водой, характерной для цементных композитов.

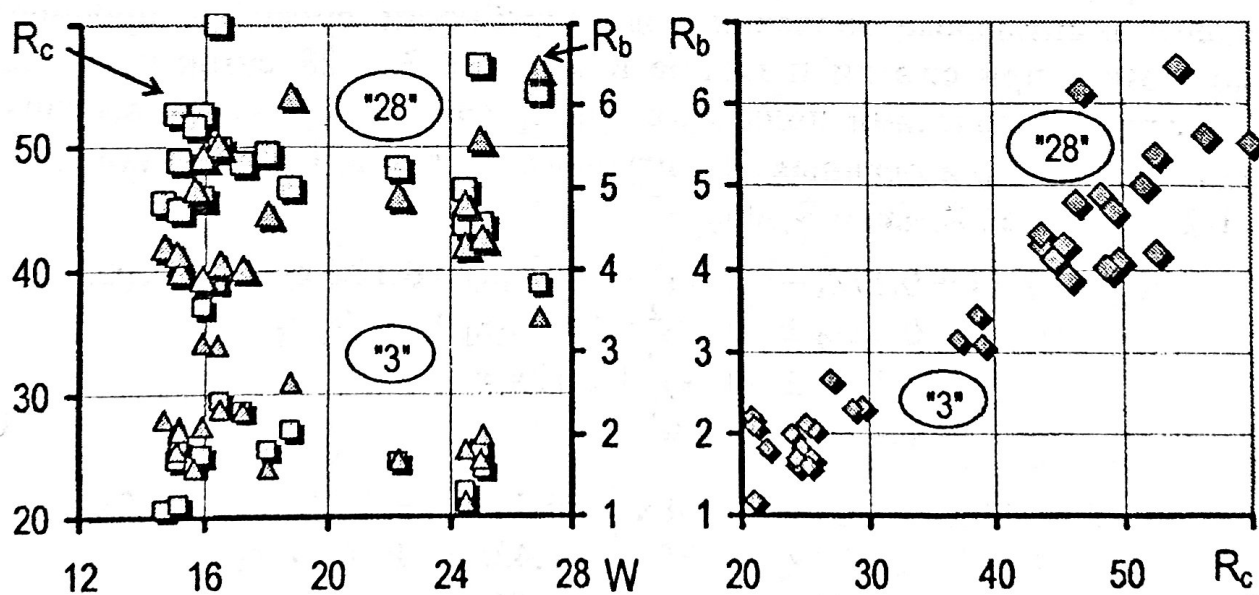


Рисунок 1. Водопотребность и прочность экспериментальных составов

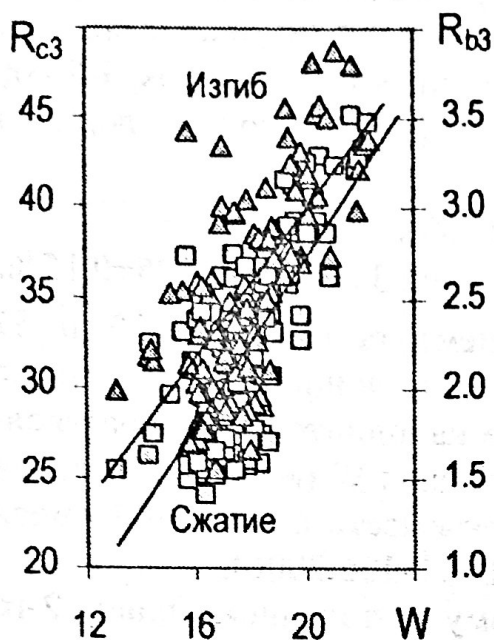


Рисунок 2. Водопотребность и прочность генерированных составов при высоком V;
 $r\{W, R_{c3}\} = 0.77$ $r\{W, R_{b3}\} = 0.68$

Более того, по оценкам W и R, полученным для генерированных в вычислительном эксперименте составов (с помощью алгоритма, описанного, в частности, в [6], и представленных ниже ЭС-моделей), при верхних дозировках полимерного «связующего-суперпластификатора» корреляция ранней прочности с W становится существенно положительной (рис. 2). Очевидно, в этой подобласти соотношений компонентов увеличение количества воды приводит к улучшению условий гидратации.

Положительная статистическая линейная связь ранних прочностей при сжатии и изгибе (коэффициент корреляции $r\{R_{c3}, R_{b3}\} = 0.86$, риск отсутствия связи менее 1%), естественно, сохраняется и после 28 суток (рис. 1, $r\{R_{c28}, R_{b28}\} = 0.55$). Ослабление связи соответствует изменениям распределения напряжений в зрелой структуре затвердевшего композита и ее реакции на сжимающие и растягивающие нагрузки. Об этом свидетельствует и различие в оценках автокорреляции для R_c и R_b : $r\{R_{c3}, R_{c28}\} = 0.73$, $r\{R_{b3}, R_{b28}\} = 0.54$

Результаты моделирования. Полученные для 18 композиций экспериментальные значения водопотребности смесей и прочности композита при сжатии и изгибе в возрасте 3 и 28 суток позволили описать ЭС-моделями поля этих критериев в координатах вектора x четырех нормализованных рецептурных факторов, $|x_i| \leq 1$, такими, как (1-2) для полей $R_{b3}(x)$ и $R_{c28}(x)$.

$$R_{b3} = 2.51 + 0.27x_1 - 0.38x_1^2 \pm 0 \quad x_1x_2 - 0.10x_1x_3 + 0.12x_1x_4 + 0.32x_2 \pm 0 \quad x_2^2 + 0.07x_2x_3 + 0.07x_2x_4 + 0.33x_3 \pm 0 \quad x_3^2 + 0.17x_3x_4 + 0.49x_4 + 0.14x_4^2 \quad (1)$$

$$R_{c28} = 47.21 + 1.87x_1 + 3.38x_1^2 - 0.86x_1x_2 + 1.21x_1x_3 - 1.25x_1x_4 \pm 0 \quad x_2 - 2.38x_2^2 - 1.43x_2x_3 \pm 0 \quad x_2x_4 + 0.82x_3 \pm 0 \quad x_3^2 + 1.01x_3x_4 + 3.34x_4 + 2.62x_4^2 \quad (2)$$

Модели позволили оценить обобщающие показатели рецептурных

полей свойств, в частности, экстремальные уровни:

$$W_{\min} = 12 \text{ (при } x_1=x_2=+1, x_3=x_4=-1), W_{\max} = 27 \text{ (} x_1=x_3=x_4=-1, x_2=-0.13);$$

$$R_{b3.\max} = 4.2 \text{ (} x=0.40, x_2=x_3=x_4=+1), R_{b28.\max} = 7.0 \text{ (} x_1=x_4=+1, x_2=0.53, x_3=0.84);$$

$$R_{c3.\max} = 47.9 \text{ (} x_1=x_2=x_3=x_4=+1), R_{c28.\max} = 60.8 \text{ (} x_1=x_3=x_4=+1, x_2=-0.48).$$

Анализ моделей, в том числе, по однофакторным зависимостям в зонах экстремумов (рис. 3), характеризующим влияние на прочность отдельных параметров состава, показывает определяющее воздействие полимерного вяжущего на структуру композита и безусловный существенный положительный эффект дисперсного армирования.

Совместное влияние факторов на прочность при изгибе (существенный для покрытий, связанный с трещиностойкостью, особенно в ранние сроки, критерий качества материала) иллюстрируют диаграммы «квадраты на квадрате» и «кубы на отрезке» (рис. 4-5).

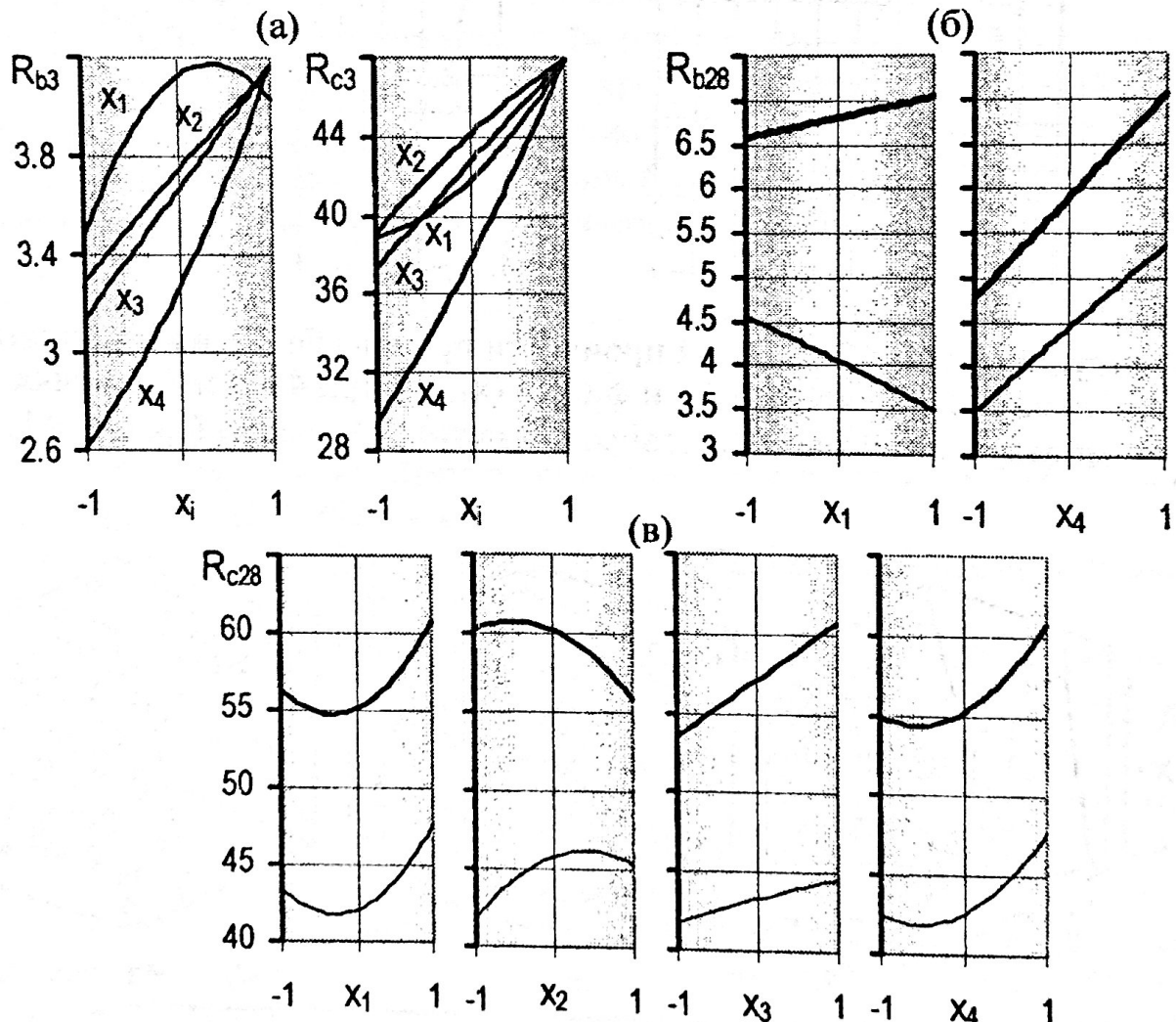


Рисунок 3. Однофакторные зависимости в зонах максимумов ранних прочностей (а), в зонах максимумов и минимумов прочностей в 28 суток (б, в)

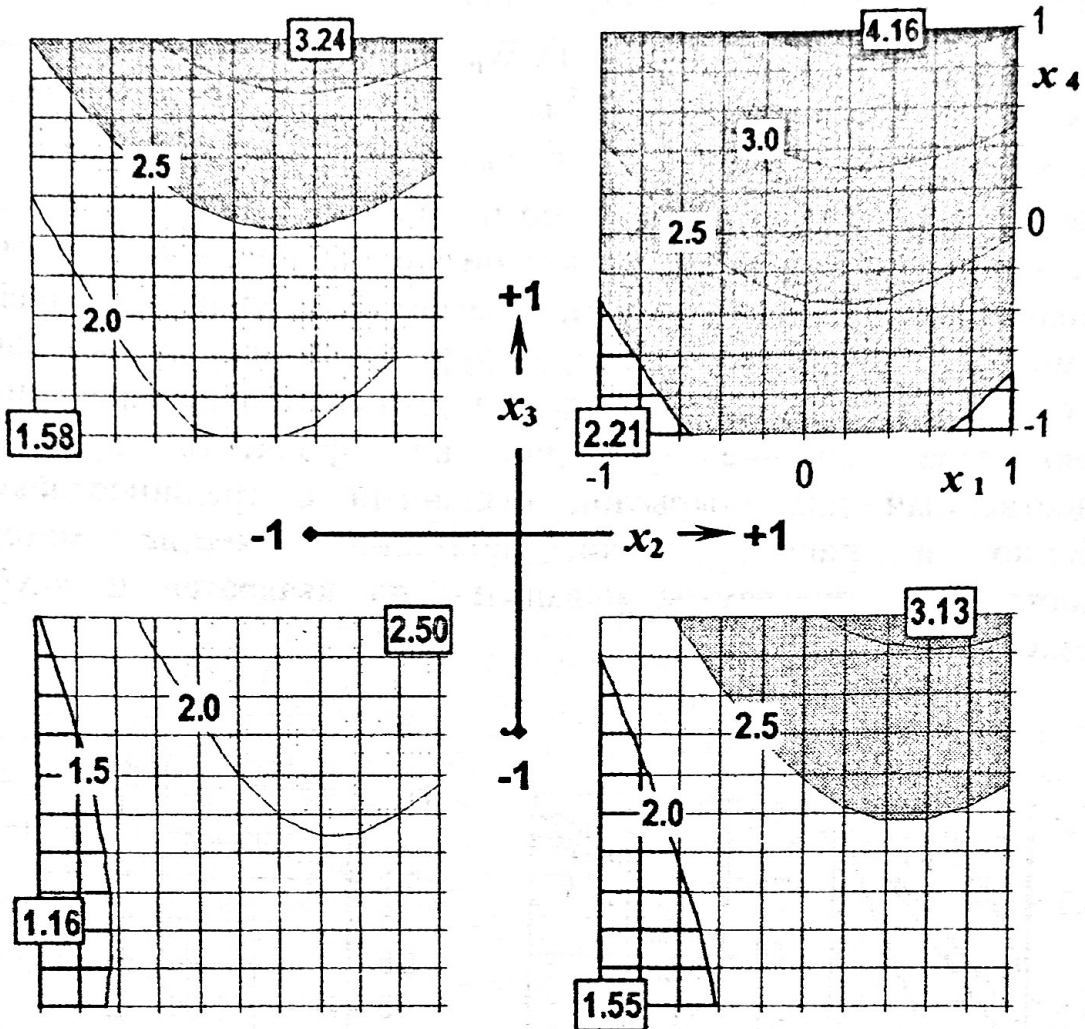


Рисунок 4. Поля 3-дневной прочности при изгибе R_{b3} в координатах дозировок VINNAPAS® и фибры (x_1, x_4) при 4-х комбинациях молекулярной массы и дозировки метилцеллюлозы ($x_2, x_3 = \pm 1$)

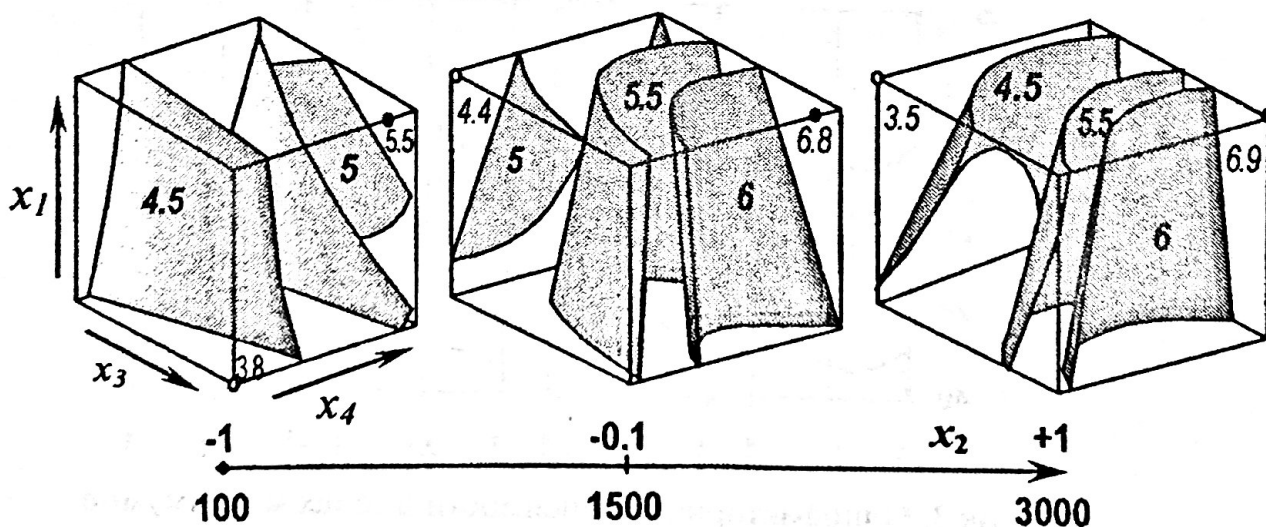


Рисунок 5. Поля $R_{b28}(x_1, x_3, x_4)$ для композиций с метилцеллюлозой разных молекулярных масс

Заключение. С помощью моделей, построенных по результатам спланированного эксперимента, установлено, что введение до 0.4% короткой полипропиленовой фибры в сухие смеси с рекомендуемым весьма низким количеством полимерного связующего VINNAPAS®, обладающего свойствами суперпластификатора, позволяет получить композиты повышенной прочности и пониженной водопотребности. Прочности при сжатии и изгибе уже через 3 суток могут составлять более 45 и 4 МПа соответственно, через 28 – до 60 и 7 МПа.

Наибольший эффект, прирост в 3.5 раза в исследованной области рациональных дозировок, получен для прочности при изгибе. Максимум достигается на верхней границе количества фибры (которая вносит наиболее существенный вклад в увеличение прочности), в зоне верхних значений фирменных рекомендаций по VINNAPAS®, при повышенных дозировках метилцеллюлозы «средней» молекулярной массы. Полученные числовые оценки характеризуют зависимость влияния количества метилцеллюлозы на условия структурообразования от ее молекулярной массы.

ЭС-модели для комплекса всех требуемых свойств материала и реологических характеристик технологической смеси позволят определить компромиссно оптимальные соотношения компонентов, с возможной экономией редиспергируемого полимера.

Список литературы:

1. Карпузов Е.К., Лутц Г., Герольд Х., Толмачев Л.Г., Спектор Ю.П. *Сухие строительные смеси.* – Киев: Техніка, 2000. – 225 с.
2. *Dry Building Mixes Market Research.* – Merchant Research and Consulting Ltd., Oct. 2010. – 474 p.
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. [//www.wacker.com/cms/media/publications/downloads/6658_EN.pdf](http://www.wacker.com/cms/media/publications/downloads/6658_EN.pdf)
5. Соха В.Г., Фіброполімерцементні суміші для улаштування високоміцних покриттів промислових підлог. – Автореф. дис. к.т.н.: 05.23.05 / ОДАБА. – Одеса, 2005. – 20 с.
6. Ляшенко Т.В., Вознесенский В.А. *Методы компьютерного материаловедения при анализе взаимосвязи реологических показателей композиций // Композиційні матеріали для будівництва. Вісник ДонДАБА.* – Макіївка: ДонДАБА. – 2001. – Вип. 2001-1(26). – С. 67-74.