

УДК 666.965.4

## АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ СТРУКТУРНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ И СВОЙСТВАМИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СИЛИКАТНЫХ КОМПОЗИТОВ

Шинкевич Е.С., Луцкин Е.С., Сидорова Н.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

**Постановка проблемы.** Современное строительное материаловедение базируется на изучении и анализе зависимостей свойств от состава, технологии и структуры, что позволяет, регулируя параметры структуры, управлять свойствами композиционных строительных материалов (КСМ). В фундаментальных исследованиях показано что, множество рецептурно-технологических факторов: удельная поверхность и состав исходной смеси, способ приготовления, природа и структура исходных веществ и продуктов реакции (в частности, соотношение фаз и удельная поверхность зародышей твердой фазы), а также скорость и последовательность их образования определяют параметры структуры и свойства КСМ [1, 2, 3, 4 и др]. Учитывая, что в общем объеме производства значительный объем отводится силикатным, задача регулирования свойств модифицированных силикатных композитов безавтоклавного твердения, является актуальной, так как позволяет решать вопросы повышения трещиностойкости, долговечности и надежности при сокращении энергозатрат на стадии производства и эксплуатации изделий [5].

**Цель исследования:** выявить основные характеристики структуры, определяющие прочностные показатели модифицированных силикатных композитов безавтоклавного твердения на основе анализа по экспериментально-статистическим (ЭС) моделям корреляционной связи между составом, режимно-технологическими параметрами, структурой и критериями качества.

Эффективность моделирования в значительной степени зависит от содержательной (физической) постановки задачи, от правильности выбора методики исследования и оптимизации, от глубины физической интерпретации результатов. В настоящем исследовании процесс структурообразования анализируется как процесс, синтезирующий в себе разного рода взаимодействия, которые протекают одновременно или последовательно, налагаясь и влияя друг на друга.

**Объект исследования:** модифицированные силикатные материалы с минеральной добавкой в виде трепела с различной удельной поверхностью.

**Предмет исследования:** связь прочностных свойств модифицированных силикатных композитов безавтоклавного твердения с составом, структурой и режимно-технологическими параметрами, а также оптимальные рецептурно-технологические решения по производству модифицированных силикатных композитов различного назначения.

**Условия натурального эксперимента.** Для формирования информационной базы ЭС моделирования спланирован многофакторный натуральный эксперимент, который поставлен по специально синтезированному насыщенному плану типа МТQ (mixture – technology - quality) [4]. Математические модели, рассчитанные по плану МТQ, графически интерпретируются в виде смесевых треугольников, расположенных на кубе трех взаимонезависимых РТ факторов.

В эксперименте варьировалась тонкость помола минеральной добавки в виде трепела, которая характеризовалась удельной поверхностью  $v_i = S_{y\partial} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$  (по ПСХ-II), 475 и 350  $\text{м}^2/\text{кг}$  (условно высокая –  $v_3$ , средняя –  $v_2$  и низкая –  $v_1$ , соответственно), что позволило оценить ее структурообразующую роль как активного наполнителя формирования структуры порового пространства. Как показано в [7], направление процесса гидратации также может регулироваться наличием либо отсутствием периода предварительного выдерживания. В натурном эксперименте длительность предварительного выдерживания варьировалась в пределах  $\tau_{ng} = X_4 = (0-12)$  час при  $\Delta X_4 = 6$  час. Длительность твердения в условиях  $T = (85 \pm 3)^\circ\text{C}$  варьировалась в интервале  $\tau_{m\partial} = X_5 = (14 \pm 4)$  час. Условия структурообразования изменялись также введением добавки гипса в количестве  $C_2 = X_6 = (2,5 \pm 2,5)\%$ .

В качестве параметров выхода анализировались две группы критериев. В первую группу включены показатели физико-механических свойств:  $R_{сж}$ ,  $R_{изг}$ , коэффициент интенсивности напряжений,  $k_{lc}$ , который характеризует трещиностойкость, коэффициент поврежденности –  $Q$ , который определялся как отношение кратчайшего расстояния между начальной и конечной точкой трещины к длине линии излома (при испытании на изгиб), а также  $k_p$ ,  $F$ ,  $\lambda$  и  $\rho$ .

В вторую группу включены характеристики структуры, определяемые по стандартным методикам: пористость общая –  $P$ , пористость закрытая –  $P_3$ , отношение открытой к закрытой  $P_o/P_3$ , интенсивность водонасыщения –  $W\tau$ , коэффициент насыщения пор водой, который характеризует структуру как отношение водопоглощения по объему к общей пористости –  $k_{нас} (P_o/P)$ , а также минеральный и фазовый составы (ДТА, электронная микроскопия, химический анализ).

### Интерпретация и анализ результатов натурального эксперимента

В результате реализации натурального эксперимента получено два сравнимых комплекса ЭС-моделей “смесь – технология – свойство” и “смесь – технология – характеристики структуры”, что позволило изучать зависимости “смесь – технология – структура – свойства”. Анализ значимости эффектов взаимодействий в дисперсных системах позволит выделить наиболее чувствительные к управлению факторы состава и технологии для прогнозирования путей дальнейшего регулирования свойств.

	(a)	(b)	(c)
$\ln R_{сж} =$	$4,91 v_1$	$-0,027 v_1 x_4$	$+0,394 v_1 x_6$
	$+4,97 v_2$	$-0,072 v_1 x_5$	$+0,044 x_4^2$
	$-0,15 v_2 v_3$	$-0,053 v_2 x_4$	$+0,373 v_2 x_6$
		$-0,037 v_2 x_5$	$+0,481 v_3 x_6$
			$-0,354 x_6^2$
			$-0,011 x_5 x_6$

Модель описывает общий характер изменения прочности при сжатии  $R_{сж}$  под влиянием удельной поверхности минеральной добавки, содержания гипса и технологических факторов на этапе структурообразования и твердения. Нормализация  $X_i$  в  $x_i$  осуществлялась по стандартным формулам [4].

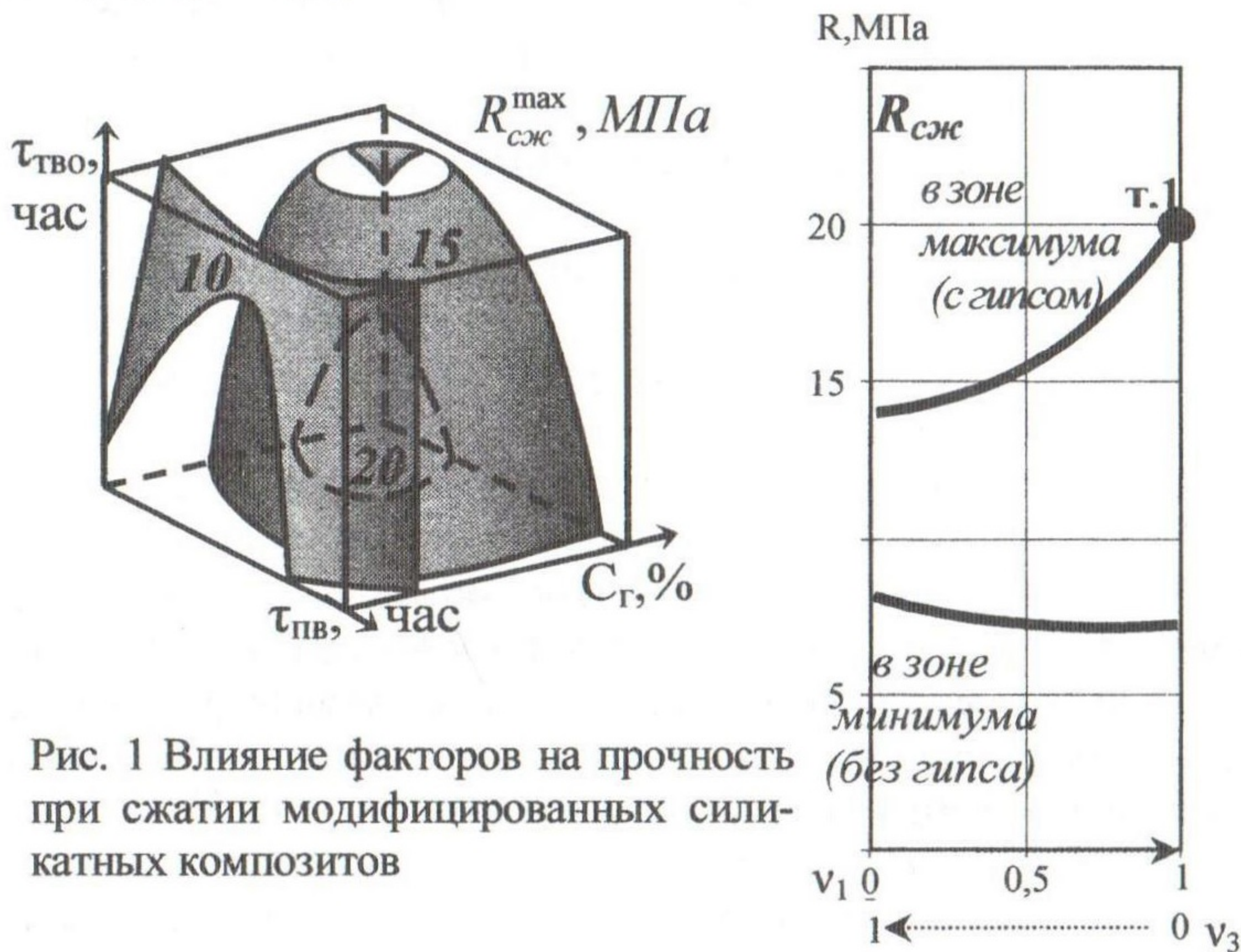


Рис. 1 Влияние факторов на прочность при сжатии модифицированных силикатных композитов

Как показано в работах [4, 6], для анализа структуры и свойств композиционных материалов по ЭС моделям рационально использовать обобщающие показатели, которые позволяют уточнить и углубить полученные по основным моделям заключения. В качестве базовых обобщающих показателей приняты:  $R_{v_i}^{max}$  – для характеристики струк-

турообразующей роли минеральной добавки за счет различной удельной поверхности в области смесевых треугольников при  $x_i = const$  и  $R_{v_i}^{min}$  – для оценки деструкционных процессов. Изменение  $R_{сж}^{max}$  под влиянием исследуемых факторов иллюстрируют изоповерхности на диаграмме /рис.1а/. На следующем этапе компьютерного анализа по моделям рассчитаны значения  $R_{сж}$ , изменяющиеся под влиянием каждого из анализируемых факторов  $x_i$  и  $v_i$  при фиксировании остальных на заданных уровнях /рис.1б/.

За счет дисперсности минеральной добавки  $R_{сж}$  изменяется в 2,5 раза. Максимальные значения для композиций без гипса ( $x_6 = -1$ ) и с гипсом ( $x_6 = +1$ ) достигаются при различной удельной поверхности минеральной добавки, а координаты экстремумов не совпадают.

С целью анализа значимости эффектов взаимосвязи между двумя комплексами ЭС-моделей проведен анализ корреляционной связи свойств с параметрами структуры. Для достоверности данных корреляционной взаимосвязи по моделям натурального эксперимента рассчитано множество значений свойств и параметров структуры путем генерации случайных точек в области факторного пространства с учетом генерируемой ошибки эксперимента  $S_y$  [6].

Для анализа совокупного влияния исследуемых факторов использована полная модель, а при фиксированном значении какого-то из факторов – блоки структурированных моделей (а), (б) и (в). Например, блок (в) описывает (при фиксированном значении  $S_{y0}$  минеральной добавки) независимое от “смеси  $v_i v_j$ ” нелинейное влияние режимно-технологических факторов и добавки гипса на свойства и характеристики структуры, уточняемое линейными эффектами  $b_i v_i$  (блок (а)) /рис. 2/.

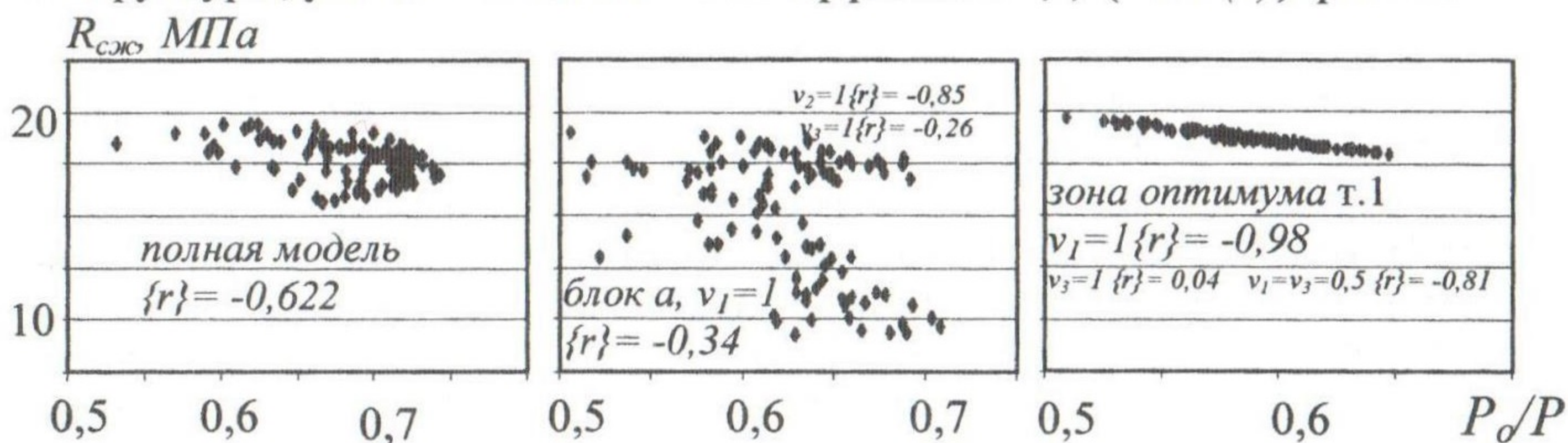


Рис. 2 Корреляционная связь между  $R_{сж}$  и  $P_{сж}/P$

Анализ корреляционной связи свойств с характеристиками структуры показал, что степень корреляции зависит от всех исследуемых факторов: в зоне оптимального значения  $R_{сж}^{max}$  наиболее высокая степень корреляционной связи с  $P_{сж}/P$  достигается на низкой дисперсности

$(v_1) - \{r\} = -0,98$ . Неоднозначная связь между структурными и прочностными характеристиками позволила предположить необходимость проведения корреляционного анализа в зоне оптимальных составов как одного из этапов многокритериальной оптимизации. В ходе многокритериальной оптимизации с учетом результатов корреляционного анализа между структурой и свойствами показана возможность получения материалов полифункционального назначения с комплексом заданных критериев качества [8].

**Заключение.** Проанализирована роль минеральной добавки в формировании структуры и свойств модифицированных силикатных композитов. Установлено, что изменение удельной поверхности минеральной добавки обеспечивает эффект модификации структуры и позволяет управлять свойствами КСМ. Учитывая закономерности и степень влияния минеральной добавки на свойства, показана необходимость учета удельной поверхности как одного из основных факторов, определяющих параметры структуры и прочностные свойства при назначении режимно-технологических параметров получения КСМ.

Исследовано влияние взаимодействий на основе корреляционного анализа между удельной поверхностью минеральной добавки, составом и режимно-технологическими факторами на свойства и параметры структуры. На основании полученных результатов показана необходимость проведения анализа корреляционных связей как одного из этапов многокритериальной оптимизации состава и структуры для получения модифицированных силикатных композитов безавтоклавного твердения.

1. Будников П.П., Гистлинг А.М. Реакция в смесях твердых веществ. – М.: 1971.– 486с.
2. Физико-химическая механика дисперсных структур в магнитных полях / Под ред. Н.Н. Круглицкого.– К.: Н. думка, 1976.–193с.
3. Штакельберг Д.И., Сычев М.М. Самоорганизация в дисперсных системах.–Рига: Зинатне, 1990- 175с.
4. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов /В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Я.П. Иванов, И.И. Николаев. – К.: Будивельник, 1989.–240 с.
5. Шинкевич Е. С., Сидорова Н.В., Луцкин Е.С., Парамонов Д.Ю. Возможности ресурсосбережения на основе анализа связи состава, структуры и теплофизических свойств активированных силикатных композиций безавтоклавного твердения // Межрег. проблемы экологической безопасности: С.-Петербург - Сумы: Слобожанщина, 2002, С.61-66.
6. Ляшенко Т.В. Поля свойств строительных материалов //Концепция, анализ, оптимизация: Автореф. дис. д-ра. техн. наук/ ОГАСА. - Одесса, 2003.–34с.
7. Шинкевич. Е.С., Шкрабик И. В., Сидорова Н. В., Луцкин Е. С. Корреляционный анализ и оптимизация структуры в исследованиях с использованием экспериментально-статистических моделей. // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди.:Сб. наук. праць в.8.– Ровно: РДЦНТЕІ. - 2002. – С.31-36.
8. Шинкевич Е.С. Моделирование и оптимизация модифицированных силикатных композитов//Доклад к междунар. сем. МОК'42/ – Одесса: Астропринт, 2003.–24с.