

д.т.н., проф., И.В. Барабаш,
асс. А.В. Даниленко,
к.т.н., доц. С.А. Кровяков

Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
г. Одесса, Украина

РАСТВОРЫ НА МЕХАНОАКТИВИРОВАННОМ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЕ С ДОБАВКОЙ ИЗВЕСТНЯКА

Известняк достаточно широко применяется в технологии приготовления растворных и бетонных смесей. Являясь относительно мало прочным материалом, он легко подвергается помолу, что позволяет использовать его в качестве минеральной добавки к портландцементу [1, с.83; 2, с.11]. Известно, что молотый известняк химически взаимодействует с минералами цемента, способствуя увеличению прочности контакта между заполнителем и матрицей [3, с.15]. В то же время практически отсутствует информация о влиянии известняка на физико-механические характеристики строительного раствора на механоактивированном портландцементе, в том числе с добавкой суперпластификатора С-3.

Для решения этой задачи был проведен эксперимент по оптимальному плану типа «треугольники на квадрате» с пятнадцатью опытными точками [4, с.125]. Выбор смесового плана позволяет исследовать влияние на строительный раствор не только количества молотого известняка в портландцементе, но и его удельной поверхности, что существенно расширяет область возможных положительных результатов. Механоактивация вяжущего [5, с.25] достигалась путем смешения суспензии вяжущего (портландцемент + молотый известняк + С-3) в быстроходном смесителе ($n=2800$ об/мин) в течение 30 секунд. Для контроля готовились растворные смеси аналогичных составов, вяжущее которых механоактивации не подвергалось.

В качестве смесевых факторов принята удельная поверхность известняка: $v_1 - 200$ ($\text{м}^2/\text{кг}$), $v_2 - 400$ ($\text{м}^2/\text{кг}$), $v_3 - 600$ ($\text{м}^2/\text{кг}$) при условии суммы уровней факторов, равной единице.

Независимыми факторами были приняты:

- X_4 – количество молотого известняка в вяжущем, $40 \pm 20\%$;

- X_5 – количество суперпластификатора С-3, $0.4 \pm 0.4\%$ от массы вяжущего.

Использовался портландцемент марки 500 Каменец-Подольского цементного завода и песок кварцевый Никитовского карьера ($M_{кр}=2.2$). Соотношение вяжущего и песка принималось равным 1:1.2 по массе. Подвижность раствора определялась по глубине погружения стандартного эталонного конуса в смесь, и составляла от 6 до 7 см. В каждой строчке плана заданная подвижность достигалась корректированием воды затворения.

В качестве откликов в эксперименте приняты прочность раствора при сжатии и на растяжение при изгибе. Влияние варьируемых смесевых факторов (V_1, V_2, V_3) и рецептурных (X_4, X_5) на прочность при сжатии раствора в 28-и суточном возрасте отражено в ЭС-моделях (1) и (2), индекс «к»-контрольные растворы, индекс «м» - механоактивированные:

$$\begin{aligned}
 R_{b,k}(\text{МПа}) = & 19.0 \cdot v_1 + 12.8 \cdot v_1 \cdot v_2 - 13.5 \cdot v_1 \cdot v_3 - 3.9 \cdot v_1 \cdot x_4 + 0.3 \cdot v_1 \cdot x_5 - 3.8 \cdot x_4^2 \\
 & + 19.8 \cdot v_2 \qquad \qquad \qquad + 12.3 \cdot v_2 \cdot v_3 - 4.4 \cdot v_2 \cdot x_4 - 0.1 \cdot v_2 \cdot x_5 - 2.44 \cdot x_5^2 \\
 & + 21.3 \cdot v_3 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad - 5.8 \cdot v_3 \cdot x_4 + 0.15 \cdot v_3 \cdot x_5
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 R_{b,m}(\text{МПа}) = & 24.5 \cdot v_1 + 16.5 \cdot v_1 \cdot v_2 - 18.3 \cdot v_1 \cdot v_3 - 3.9 \cdot v_1 \cdot x_4 + 2.3 \cdot v_1 \cdot x_5 - 5.6 \cdot x_4^2 \\
 & + 26.2 \cdot v_2 \qquad \qquad \qquad + 9.4 \cdot v_2 \cdot v_3 - 3.3 \cdot v_2 \cdot x_4 + 0.2 \cdot v_2 \cdot x_5 - 3.2 \cdot x_5^2 \\
 & + 27.2 \cdot v_3 \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad - 5.4 \cdot v_3 \cdot x_4 + 2.0 \cdot v_3 \cdot x_5
 \end{aligned} \tag{2}$$

На рис.1 показаны построенные по приведенным выше ЭС-моделям диаграммы в виде «треугольники на квадрате». Построения на диаграммах произведены таким образом, что в девяти точках поля независимых факторов x_4 и x_5 показаны трехкомпонентные смесевые диаграммы влияния факторов $v_1 - v_3$.

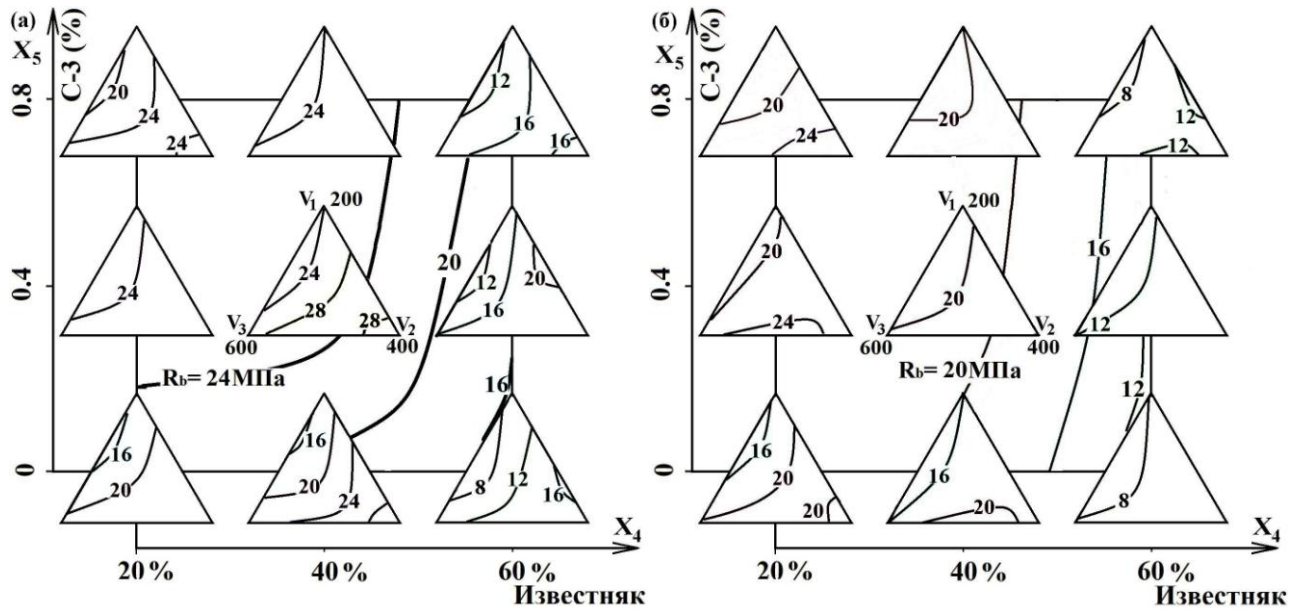


Рис.1. Влияние варьируемых факторов состава на прочность при сжатии (МПа) раствора в 28-и суточном возрасте: а) раствор на механоактивированном вяжущем; б) контроль

Как видно из диаграмм, увеличение доли молотого известняка в вяжущем снижает величину прочности раствора. При этом в границах факторного пространства эксперимента снижение прочности происходит практически пропорционально увеличению дозировки известняка в вяжущем. Следует отметить влияние дисперсности молотого известняка на прочность раствора. Установлено, что как для контрольных, так и для составов на активированном вяжущем наибольшая прочность раствора проявляется при использовании известняка в вяжущем с $S_{уд}=400$ м²/кг или близкой к ней. Разница между прочностью раствора, в состав вяжущего которого введен известняк с удельной поверхностью $S_{уд}=400$ м²/кг по сравнению с равным количеством известняка с $S_{уд}=200$ м²/кг и $S_{уд}=600$ м²/кг достигает 4 МПа, что свидетельствует о приоритетности использования известняка с данной удельной поверхностью.

Введение вместе с водой затворения суперпластификатора С-3 приводит к увеличению прочности раствора в марочном возрасте. Установлено, что характер влияния С-3 на прочность раствора на активированном вяжущем несколько отличается от контроля. В растворах, приготовленных по традиционной технологии, введение С-3 в количестве 0.4-0.5% вызывает

повышение прочности приблизительно на 4 МПа. Дальнейшее увеличение дозировки суперпластификатора практически не оказывает влияние на прочность раствора. Рост прочности растворов на механоактивированном вяжущем при повышении концентрации С-3 от 0.4 до 0.8% составляет не менее 2 МПа. Содержание известняка в вяжущем при этом составляет 40%.

Сопоставление прочностных показателей контрольных составов на бездобавочном цементе с прочностью раствора на вяжущем с добавкой молотого известняка показывает, что в марочном возрасте величина R_b снижается пропорционально увеличению количества молотого известняка в вяжущем. Выявлено, что за счет применения активации возможно, компенсировать снижение прочности раствора при введении вяжущего 20..25% известняка оптимальной дисперсности. Так, раствор на активированном вяжущем в котором 25% клинкерной составляющей заменялось молотым известняком ($S_{уд}=400 \text{ м}^2/\text{кг}$), имел прочность аналогичную прочности раствора на бездобавочном портландцементе (контроль).

Для строительных растворов помимо прочности на сжатие важным показателем качества является также прочность на растяжение. Влияние смесевых и рецептурных факторов на R_{bt} описывает приведенная ниже ЭС-модель:

$$\begin{aligned}
 R_{bt.M}(\text{МПа}) = & 4.8 \cdot v_1 + 1.3 \cdot v_1 \cdot v_2 - 2.9 \cdot v_1 \cdot v_3 - 0.4 \cdot v_1 \cdot x_4 + 0.4 \cdot v_1 \cdot x_5 - 0.8 \cdot x_4^2 - 0.2 \cdot x_4 \cdot x_5 \\
 & + 5.2 \cdot v_2 - 1.6 \cdot v_2 \cdot v_3 - 0.8 \cdot v_2 \cdot x_4 \pm 0 \cdot v_2 \cdot x_5 - 0.5 \cdot x_5^2 \\
 & + 5.4 \cdot v_3 - 1.1 \cdot v_3 \cdot x_4 + 0.2 \cdot v_3 \cdot x_5
 \end{aligned} \tag{3}$$

По ЭС-модели (3) была построена диаграмма в виде «треугольники на квадрате», на рис.2

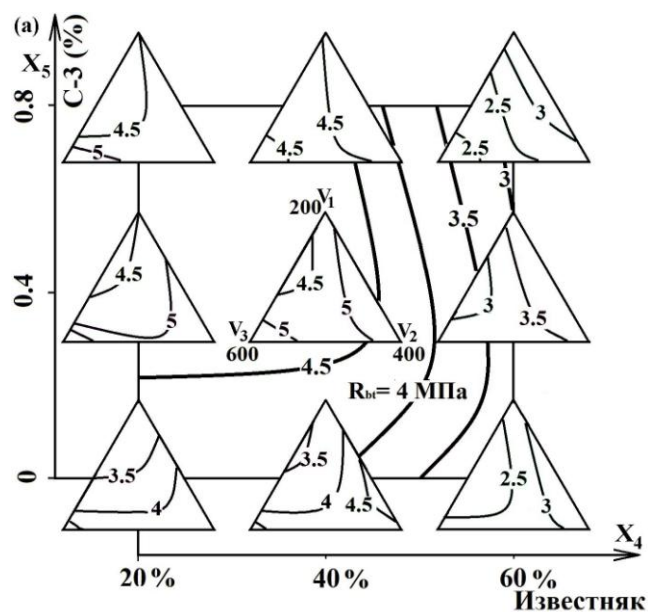


Рис.2. Влияние варьируемых факторов на $R_{bt,28}$ раствора на механоактивированном вяжущем в 28-ми суточном возрасте, МПа

Анализ ЭС-модели позволяет отметить, что определяющее влияние на прочность раствора на растяжение при изгибе оказывает количество известняка в вяжущем. Для растворов на активированном вяжущем по мере увеличения доли молотого известняка от 20 до 60% прочность на растяжение при изгибе снижается с 4.5-5 МПа до 2.5 МПа. Для контрольных составов аналогичное изменение количества известняка вызывает снижение уровня $R_{bt,28}$ с 4-4.5 МПа до 2 МПа. Следует отметить, что эффективность активации значительно выше для составов с меньшей долей молотого известняка в вяжущем, что свидетельствует о большей степени активации клинкерной составляющей вяжущего.

Достаточно ощутимо влияние удельной поверхности известняка на изменение $R_{bt,28}$. Максимальные значения $R_{bt,28}$ как для активированных, так и для контрольных составов наблюдаются при использовании «мелких» наполнителей ($S_{уд} \approx 400-600 \text{ м}^2/\text{кг}$).

Вывод

Механоактивация вяжущего, содержащего молотый известняк в присутствии суперпластификатора С-3, позволяет получать строительные растворы на вяжущем с содержанием молотого известняка на 20% больше по сравнению с контролем, обеспечивая при этом получение растворов с заданными прочностными характеристиками.

Список использованной литературы:

1. Федоркин С.И. Новые направления переработки известняковых отходов камнедобычи / С.И. Федоркин // Труды Крымской Академии наук: научно-практический сборник. Вып. 1. – Симферополь: Таврия, 1998. – С. 83-86.
2. Свойства облегченных штукатурных растворов из сухих строительных смесей с перлитовым и известняковым наполнителями / Соха В.Г., Карапузов Е.К., Вознесенский В.А., Москалева К.М., Кровяков С.А. – Строительные материалы и изделия, 2010, № 3 – С. 11-14.
3. Маилян Р.Л. Бетон на карбонатных заполнителях / Р.Л. Маилян // Изд-во Ростовского университета, 1967. – 276с., ил.
4. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительнотехнологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский., Т.В. Ляшенко., Б.Л. Огарков. – К.: Вища школа, 1989. – 327с.
5. Барабаш І.В. Механохімічна активація мінеральних в'язучих речовин / І.В. Барабаш // Навч. посібник. – Одеса: Астропрінт, 2002. – 100 с.