

СТРУКТУРНО-РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИЛИКАТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Луцкий Е.С., Койчев А.А., Терпанова О.В., Шинкевич Е.С.
(Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

В работе представлены зависимости изменения структурно-реологических и технологических свойств силикатобетонной смеси под влиянием состава известково-кремнеземистого вяжущего и содержания заполнителя. Обоснован метод, установлена точность и чувствительность определения подвижности активированной силикатобетонной смеси на мелкозернистом заполнителе на техническом вискозиметре АзНИИ. Проанализирован диапазон изменения свойств и характеристик структуры с учетом технологических параметров силикатобетонных смесей.

Формирование свойств бетона начинается с приготовления, укладки и затвердевания бетонной смеси. Эти операции во многом определяют будущее качество бетона, конструкции и изделия. Для управления процессами приготовления, укладки и затвердевания бетонной смеси необходимо знать зависимость свойств бетонной смеси от различных факторов и уметь получать бетонную смесь заданных свойств.

Для определения структурно-реологических свойств применяют различные приборы, позволяющие быстро и сравнительно просто получать необходимую характеристику бетонной смеси. В соответствии с ДСТУ Б В.2.7-114-2002 подвижность бетонной смеси оценивают по осадке (ОК) или расплыву (РК) конуса, отформованного из бетонной смеси. Распыв конуса характеризует удобоукладываемость бетонной смеси марок П4-П5. Обычно технологические свойства оцениваются показателями бетонной смеси, величина и физическая сущность которых зависят от метода испытания. Каждый способ предназначен для определения подвижности бетонных смесей с определенным водовяжущим отношением.

Так, для бетонов с $V/C > 0.45$ применяют стандартный конус, тогда как для бетонов с $V/C = 0.3 \div 0.7$ рационально применять технический вискозиметр, то есть каждый из способов имеет свою границу

применения. Однако при других значениях В/Ц точность измерения значительно ухудшается [1].

Определять удобоукладываемость, а также другие свойства бетонной смеси допускается любым прибором, удовлетворяющим требованиям приложения А ДСТУ Б В.2.7-114-2002 [2]. При этом каждый метод испытаний наиболее пригоден для конкретных условий и определенных составов бетонной смеси, где он обеспечивает необходимую точность измерения.

В настоящем исследовании рассматривается мелкозернистая (песчаная) силикатобетонная смесь, вязкость которой в процессе механохимической активации изменяется от 6000 до 2000 Па·с, достигая величины эффективной вязкости 2500 Па·с (в диапазоне градиентов скорости деформаций $1 < \dot{\gamma} < 134 \text{ с}^{-1}$ на вискозиметре с коаксиальными цилиндрами) [3, 4]. Для такой смеси не рациональным является определение ее консистенции по расплыву конуса на встряхивающем столике, который успешно применяется при испытании обычных цементно-песчаных смесей [1]. Определение подвижности по стандартной осадке конуса не обеспечивает необходимую точность результатов в силу значительного разброса значений диаметров расплыва по разным направлениям.

В работе для определения подвижности по расплыву конуса вязкотекучей силикатобетонной смеси на мелкозернистом заполнителе использован технический вискозиметр АзНИИ. Это прибор успешно применяется для оценки технологических свойств тампонажных мелкозернистых бетонных смесей.

Точность технического вискозиметра АзНИИ характеризовалась отношением средних коэффициентов вариации удобоукладываемости бетонной смеси, полученных на поверяемом и стандартизованном приборах (стандартный конус). Чувствительность прибора оценивалась относительным изменением удобоукладываемости силикатобетонной смеси при изменении ее водосодержания. Коэффициенты вариации, в два и более раза меньше, чем при определении подвижности с помощью стандартного конуса и встряхивающего столика.

При применении приборов по определению технологических свойств бетонных смесей необходимо учитывать, что получение зависимостей возможно только для бетонных смесей, приготовленных на близких по свойствам материалах и не слишком отличающихся по составам.

В эксперименте готовились силикатобетонные смеси с мелкозернистым кварцевым заполнителем ($M_k=1.1$) ($SiO_2 > 93\%$,

$(Al_2O_3+Fe_2O_3)<0.5\%$); состав вяжущего: известь молотая негашеная ($CaO+MgO=82\%$), молотый кварцевый песок $S_{уд}=300\text{м}^2/\text{кг}$ и трепел, представляющий аморфный кремнезем, с тремя различными удельными поверхностями $S_{тр1}=300\text{м}^2/\text{кг}$, $S_{тр2}=425\text{м}^2/\text{кг}$, $S_{тр3}=500\text{м}^2/\text{кг}$, ($SiO_2>78.5\%$, $(Al_2O_3+Fe_2O_3)>12.5\%$, $(CaO+MgO)>3.5\%$).

Выбор факторов в экспериментах осуществлен на основе выводов, полученных с учетом процессов гидратации, протекающих в силикатобетонной смеси на известково-кремнеземистом вяжущем [5]. Учитывая предусмотренную технологией, совместную активацию кремнеземистого компонента вяжущего и мелкозернистого кварцевого заполнителя, в шестифакторном эксперименте одновременно варьировалось содержание компонентов вяжущего и заполнителя [6]. Такое планирование эксперимента позволило оптимизировать состав вяжущего с учетом содержания заполнителя.

Для анализа изменения структурно-реологических и технологических свойств силикатобетонной смеси под влиянием состава вяжущего и содержания заполнителя спланирован шестифакторный натурный эксперимент, который поставлен по плану типа "треугольники на кубе" – МТQ [7]. В эксперименте варьировались удельная поверхность минеральной добавки: $S_{тр1}=350\text{м}^2/\text{кг}$ (v_1), $S_{тр2}=425\text{м}^2/\text{кг}$ (v_2), $S_{тр3}=500\text{м}^2/\text{кг}$ (v_3); которые связаны линейной зависимостью $v_1+v_2+v_3=1$, содержание компонентов в известково-кремнеземистом вяжущем: извести – $I=X_4=(25\pm 5)\%$, активной минеральной добавки – $МД=X_5=(25\pm 5)\%$, а также содержание мелкозернистого заполнителя – $МЗ=X_6=(50\pm 10)\%$ от массы сухих компонентов силикатобетонной смеси. Оптимальное содержание добавки гипса и суперпластификатора С-3 было установлено в ходе предварительных экспериментов. Образцы твердели в условиях ТВО при $T=85^\circ\text{C}$ по режиму 2+10+2 час.

По результатам эксперимента анализировалось изменение водопотребности и подвижности силикатобетонной смеси, прочности при сжатии и характеристик структуры силикатного бетона.

Закономерности связи технологических свойств с составом описаны ЭС моделями, построенными по результатам натурального эксперимента. Модели рассчитаны с использованием типовой версии программы COMPEX-99, реализующей последовательный регрессионный анализ с генерируемой ошибкой эксперимента.

Изменение водотвердого отношения под влиянием содержания негашеной извести, минеральной добавки в виде трепела и немолотого кварцевого песка описывается ЭС моделью (1), а изменение осадки конуса моделью (2).

В зависимости от состава силикатобетонной смеси водотвердое отношение изменяется от 0.33 до 0.35, показания технического вискозиметра АзНИИ изменяются от 7.5 до 12 см, что соответствует осадке стандартного конуса от 15.5 до 21.9 см. Для интерпретации результатов все значения приведены к значениям величины осадки стандартного конуса по расчетным переходным коэффициентам.

$$\ln B/T = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline +1.247v_1 & +0.015v_1v_2 & +0.002v_1x_4 & +0.033v_1x_5 & -0.041v_1x_6 \\ \hline +1.223v_2 & \pm 0v_1v_3 & -0.023v_2x_4 & +0.009v_2x_5 & -0.018v_2x_6 \\ \hline +1.252v_3 & +0.001v_2v_3 & +0.010v_3x_4 & +0.023v_3x_5 & -0.034v_3x_6 \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline \pm 0x_4^2 & \pm 0x_4x_5 \\ \hline +0.015x_5^2 & -0.008x_4x_6 \\ \hline \pm 0x_6^2 & -0.024x_5x_6 \\ \hline \end{array} \quad (1)$$

$$\ln OK = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline +2.917v_1 & +0.460v_1v_2 & -0.054v_1x_4 & -0.091v_1x_5 & +0.099v_1x_6 \\ \hline +3.044v_2 & +0v_1v_3 & -0.024v_2x_4 & \pm 0v_2x_5 & \pm 0v_2x_6 \\ \hline +3.034v_3 & -0.255v_2v_3 & -0.041v_3x_4 & -0.056v_3x_5 & 0.051v_3x_6 \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline \pm 0x_4^2 & \pm 0x_4x_5 \\ \hline \pm 0x_5^2 & \pm 0x_4x_6 \\ \hline -0.060x_6^2 & \pm 0x_5x_6 \\ \hline \end{array} \quad (2)$$

Из модели следует, что чем выше содержание вяжущего при минимуме заполнителя, тем ниже подвижность. Осадка конуса изменяется от 12 до 16 см при содержании МЗ=40%. Введение в вяжущее заполнителя увеличивает осадку конуса в 1.2÷1.5 раза.

Диаграмма изменения осадки конуса под влиянием содержания в вяжущем негашеной извести и минеральной добавки при неизменном содержании в силикатобетонной смеси немолотого песка в количестве 60% представлена на рисунке 1а. Минимальное значение осадки конуса 15.5 см достигается на составах с максимальным содержанием негашеной извести и минеральной добавки. Максимальная осадка конуса 21.9 см достигается на составе с минимальным содержанием извести и минеральной добавки.

Диаграмма изменения водотвердого отношения под влиянием содержания в вяжущем негашеной извести и минеральной добавки при неизменном содержании в силикатобетонной смеси немолотого песка в количестве 60% представлена на рисунке 1б.

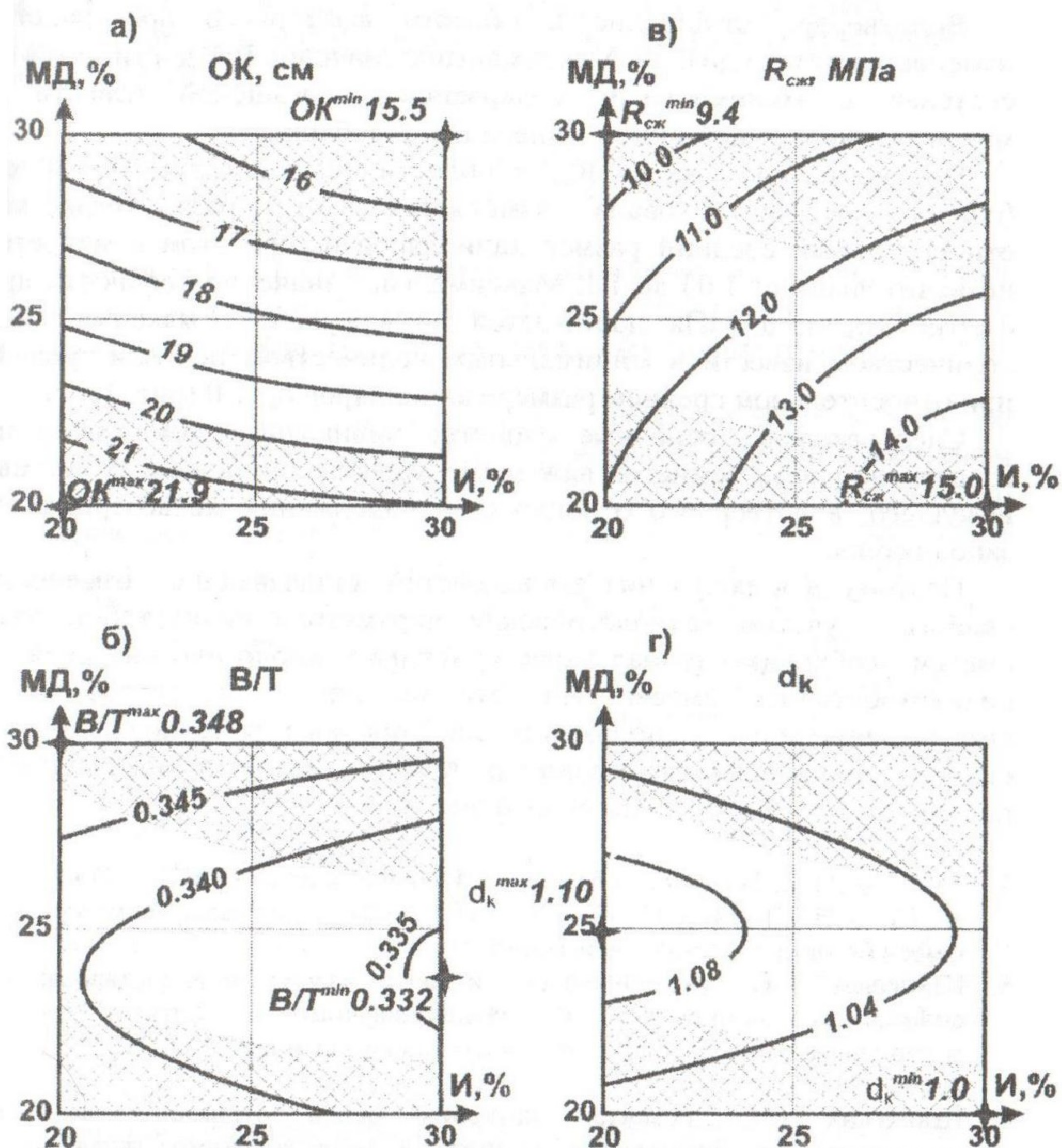


Рис. 1. Изменение осадки конуса ОК – а, водотвердого отношения В/Т – б, прочности при сжатии $R_{сж}$ – в и относительного среднего размера капиллярных пор d_k – г под влиянием содержания извести и минеральной добавки при фиксированном содержании мелкозернистого заполнителя 60% (удельная поверхность минеральной добавки трепела $S_{трп} = 350 \text{ м}^2/\text{кг}$). Область литых смесей (осадка конуса 17÷20 см) не заштрихована.

Водотвердое отношение в области факторного пространства изменяется от 0.33 до 0.35. Максимальное значение В/Т достигается на составах с минимальным содержанием негашеной извести и максимальным содержанием минеральной добавки.

Прочность при сжатии $R_{сж}$ в области осадки конуса 17÷20 см (область не заштрихована) изменяется в 1.5 раза, тогда как относительный средний размер капилляров d_k при этом изменяется незначительно: от 1.03 до 1.1. Максимальное значение прочности при сжатии $R_{сж}=15.0$ МПа достигается на вяжущем с максимальным количеством извести и минимальным количеством добавки трепела при относительном среднем размере капилляров $d_k=1.0$ (рис. 1в, з).

Следовательно, основные свойства силикатных композитов на известково-кремнеземистом вяжущем, существенно зависят от состава вяжущего, водотвердого отношения и содержания мелкозернистого заполнителя.

Поэтому для получения зависимостей, описывающих изменение свойств с учетом технологических параметров силикатобетонных смесей необходимо точная характеристика технологических свойств силикатобетонных смесей. Поэтому для литых силикатобетонных смесей рационально использовать для определения технологических свойств технический вискозиметр АзНИИ, который обеспечивает получение результатов с высокой точностью.

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Высшая школа, 1978. – 455с.
2. ДСТУ Б В.2.7-114-2002. (ГОСТ 10181-2000). Строительные материалы. Смесей бетонные. Методы испытаний.
3. Шинкевич Е.С. Моделирование и оптимизация модифицированных силикатных композитов // Моделирование и оптимизация в материаловедении: доклад к международному семинару МОК'42 – Одесса, 2003. – 24с.
4. Шинкевич О.С. Розвиток наукових основ отримання вапняно-кремнеземистих будівельних композитів неавтоклавного твердіння // Автореферат дис... д.т.н. /05.23.05 – Будівельні матеріали та вироби. – Одеса, 2008. – 32с.
5. Шинкевич Е.С. Особенности процессов гидратации известково-кремнеземистых систем // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2007. – Вип. №27. – С. 353-370.
6. Влияние извести на структурно-технологические и прочностные свойства силикатных материалов неавтоклавного твердения / Е.С.Шинкевич, Г.Г.Бондаренко, Е.С.Луцкин, А.А.Койчев, Ю.В.Доценко // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2007. – Вип. №27. – С. 347-352.
7. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов // В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Я.П. Иванов, И.И. Николов. – К.: Будивзельник, 1989. – 240с.