

ляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики, на 2015–2017 годы, № СП-1219.2015.1 (Смолий В. А.), тема «Разработка технологии производства эффективного энергосберегающего ячеистого теплоизоляционного строительного стекломатериала».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Смолий В. А. Разработка ресурсосберегающей технологии теплоизоляционного ячеистого золошлакового стекла строительного назначения: дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2012. – 165 с.
2. Ресурсосберегающая технология теплоизоляционно-декоративного стеклокомпозиционного материала на основе золошлаковых отходов / Е. А. Яценко, А. П. Зубехин, В. А. Смолий [и др.] // Стекло и керамика. – 2015. – № 6. – С. 34–38.
3. Пеностекло / А. И. Шутов, П. А. Воля, В. И. Мосьпан [и др.]. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. – 108 с.
4. Демидович Б. К. Пеностекло. – Минск: Наука и техника, 1975. – 248 с.
5. Кетов А. А., Толмачев А. В. Пеностекло – технологические реалии и рынок // Строительные материалы. – 2015. – № 1. – С. 17–23.
6. Шилл Ф. Пеностекло (производство и применение). – М.: Стройиздат, 1965. – 309 с.

## REFERENCES

1. Smoliy V. A. *Razrabotka resursosberegayushchey tekhnologii teploizolyatsionnogo yacheistogo zoloshlakovogo stekla stroitel'nogo naznacheniya* [Development of resource-saving technology of heat-insulating cellular ash-slag glass of construction appointment]. Cand. techn. sci. diss. St. Petersburg, 2012, 165 p (in Russian).
2. Yatsenko E. A., Zubekhin A. P., Smoliy V. A., et al. Resource-saving technology of heat-insulating decorative glass composite material on the basis of ash-slag waste. *Steklo i keramika*, 2015, no. 6, pp. 34–38 (in Russian).
3. Shutov A. I., Volya P. A., Mos'pan V. I., et al. *Penosteklo* [Foam glass]. Belgorod: Izd-vo BGTU, 2009, 108 p (in Russian).
4. Demidovich B. K. *Penosteklo* [Foam glass]. Minsk: Nauka i tekhnika, 1975, 248 p (in Russian).
5. Ketov A. A., Tolmachev A. V. Foam glass – technological realities and market. *Stroitel'nye materialy*, 2015, no. 1, pp. 17–23 (in Russian).
6. Shill F. *Penosteklo (proizvodstvo i primeneniye)* [Foam glass (production and use)]. Moscow: Stroyizdat, 1965, 309 p (in Russian).

## СТЕПЕНЬ ПОЛИКОНДЕНСАЦИИ И ЩЕЛОЧНОСТЬ ЖИДКИХ СТЕКОЛ

**Н. К. Иванов, К. С. Иванов\*, С. С. Радаев,**

**Тюменский государственный архитектурно-строительный университет**

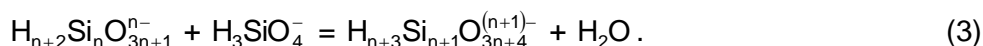
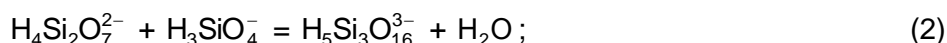
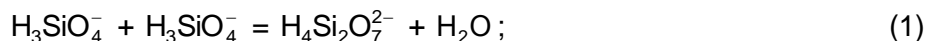
**\*Институт криосферы Земли СО РАН, г. Тюмень**

**Ключевые слова:** жидкое стекло, полимеризация, полимерный состав

**Key words:** water glass, polymerization, polymer composition

Жидкие стекла широко используются в производстве строительных материалов как в качестве воздушного вяжущего, так и в виде щелочных затворителей в композициях на основе алюмосиликатных составляющих. Качество получаемых при этом изделий во многом зависит от особенностей превращений жидкого стекла в условиях изготовления материалов и химизма процессов его взаимодействия с компонентами композиции. Особую роль такие затворители играют при изготовлении шлакощелочных вяжущих, что позволяет значительно повысить механическую прочность бетонов и улучшить другие их свойства. Как показали исследования сотрудников школы В. Д. Глуховского, это связано с формированием в структуре твердеющей смеси, наряду с обычными новообразованиями гидравлических вяжущих, щелочных гидроалюмосиликатов с цеолитовыми структурами и поликремниевых кислот [1, 2]. Характер возникающих при этом образований и кинетика процессов их последующего структурообразования существенно зависят от полимерного состава силикатных анионов и концентрации ионов  $\text{OH}^-$  в жидком стекле.

Между тем определение этих параметров опытным путем до сих пор остается весьма трудоемким и не дает требуемой точности. Определение полимерного состава жидких стекол расчетом по известной концентрации  $\text{SiO}_2$  по-прежнему базируется на представлениях Тило [3], который на основе предложенной им схемы поликонденсации силикатных анионов получил уравнение для нахождения их средней степени полимеризации. В основе этой схемы лежит представление о последовательном укрупнении силикатных анионов за счет присоединения ими мономерных анионов:



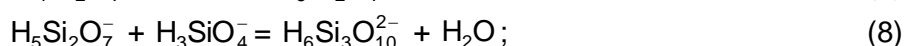
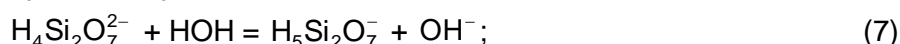
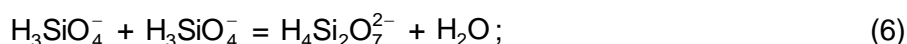
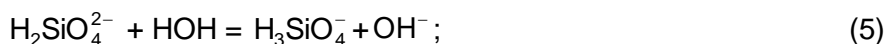
Средняя степень поликонденсации силикатных анионов  $f$ , вытекающая из этой схемы, вычисляется по уравнению

$$\frac{1}{f} = \frac{\sum C_i}{C_o} = \frac{\sqrt{K_p^2 + 4K_p C_o} - K_p}{2C_o}, \quad (4)$$

где  $\sum C_i$  – суммарная молярная концентрация силикатных анионов в жидком стекле с общей концентрацией кремнезема  $C_o$ ;  $K_p$  – постоянная, обратная по величине константам равновесия реакций (1)–(3), принимаемых одинаковыми для всех этапов поликонденсации, и равная 0,059.

Предложенная схема и расчетное уравнение не свободны от целого ряда недостатков [4] и не учитывают влияние концентрации ионов  $\text{OH}^-$  жидких стекол на полимерный состав силикатных анионов, что приводит к ошибкам при вычислении  $f$ . Для преодоления этих затруднений предлагается схема поликонденсации силикатных анионов с учетом реакций их гидролиза, что позволяет ввести в рассуждение концентрацию ионов  $\text{OH}^-$  и получить уравнение для определения  $f$ , свободное от упомянутых недостатков. Такой подход дает возможность также вычислять концентрацию ионов  $\text{OH}^-$  по силикатному модулю и концентрации кремнезема жидких стекол, которые легко определяются объемным экспресс-методом анализа [5].

Предлагаемая схема поликонденсации может быть представлена следующими реакциями и преобразованиями:



и т. д.

Обозначим равновесные концентрации одно- и двухзарядных анионов различной степени поликонденсации соответственно через  $\dot{C}_1, \dot{C}_2, \dot{C}_3, \dots, \dot{C}_n, \dots$ ;  $\ddot{C}_1, \ddot{C}_2, \ddot{C}_3, \dots, \ddot{C}_n, \dots$  и примем, что константы гидролиза  $K_\Gamma$  и константы равновесия  $K$  имеют для всех реакций одинаковые значения. Гидролизом двухзарядных анионов по второй ступени на этой стадии рассуждений пренебрегаем, учитывая его значительно меньшую величину по сравнению с первой ступенью гидролиза.

Из (5)

$$K_\Gamma = \frac{\dot{C}_1 C_{\text{OH}^-}}{\ddot{C}_1}; \quad \ddot{C}_1 = \dot{C}_1 \frac{C_{\text{OH}^-}}{K_\Gamma}.$$

Обозначим  $\frac{K_\Gamma}{C_{\text{OH}^-}} = a$ , тогда

$$\ddot{C}_1 = \frac{\dot{C}_1}{a}. \quad (9)$$

Общая концентрация мономерных анионов  $C_1 = \dot{C}_1 + \ddot{C}_1$  или

$$C_1 = \dot{C}_1 + \frac{\dot{C}_1}{a} = \dot{C}_1 \frac{a+1}{a},$$

откуда

$$\dot{C}_1 = C_1 \frac{a}{a+1}.$$

Из (6)

$$K = \frac{\ddot{C}_2}{\dot{C}_1^2} = \frac{\ddot{C}_2(a+1)^2}{C_1^2 a^2},$$

откуда

$$\ddot{C}_2 = KC_1^2 \frac{a^2}{(a+1)^2}.$$

Из (7)

$$K_T = \frac{\dot{C}_2 C_{OH^-}}{\ddot{C}_2}; \quad \dot{C}_2 = \ddot{C}_2 a,$$

тогда

$$C_2 = \dot{C}_2 + \ddot{C}_2 = KC_1^2 \frac{a^3}{(a+1)^2} + KC_1^2 \frac{a^2}{(a+1)^2} = KC_1^2 \frac{a^2}{a+1}. \quad (10)$$

Продолжая аналогичные рассуждения, можно найти выражения  $C_3, C_4, \dots, C_n, \dots$ . Отсюда суммарная концентрация силикатных анионов  $\Sigma C_i$

$$\Sigma C_i = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n = C_1 + KC_1^2 \frac{a^2}{a+1} + K^2 C_1^3 \frac{a^4}{(a+1)^2} + \dots + K^{n-1} C_1^n \frac{a^{2(n-1)}}{(a+1)^{n-1}} + \dots \quad (11)$$

Выражение (11) представляет собой бесконечно убывающую геометрическую прогрессию со знаменателем

$$q = KC_1 \frac{a^2}{a+1}.$$

Запишем

$$\frac{Ka^2}{a+1} = \frac{1}{K_0},$$

где  $K_0$  вводится как обозначение соответствующего выражения для дальнейших преобразований, учитывающее константу гидролиза и концентрацию гидроксильных анионов по первой ступени гидролиза (5), а также константу равновесия реакции поликонденсации (6).

Получим

$$\Sigma C_i = \frac{C_1}{1 - \frac{C_1}{K_0}} = \frac{C_1 K_0}{K_0 - C_1}. \quad (12)$$

Общую концентрацию  $SiO_2$  в растворе жидкого стекла определяем следующим образом:

$$\begin{aligned} C_0 &= C_1 + 2C_2 + 3C_3 + \dots + nC_n + \dots = \\ &= C_1 + 2 \frac{C_1^2}{K_0} + 3 \frac{C_1^3}{K_0^2} + \dots + n \frac{C_1^n}{K_0^{n-1}} = C_1 \left( 1 + 2 \frac{C_1}{K_0} + 3 \frac{C_1^2}{K_0^2} + \dots + n \frac{C_1^{n-1}}{K_0^{n-1}} \right). \end{aligned} \quad (13)$$

Выражение в скобках представляет собой  $\frac{d}{dC_1}$  от выражения (11), а следовательно,

$$C_0 = C_1 \frac{d}{dC_1} \left( \frac{K_0 C_1}{K_0 - C_1} \right) = \frac{K_0^2 C_1}{(K_0 - C_1)^2}. \quad (14)$$

Решая уравнение (14) относительно  $C_1$ , получим

$$C_1 = K_0 + \frac{K_0 \left( K_0 - \sqrt{K_0^2 + 4K_0 C_0} \right)}{2C_0},$$

откуда

$$\frac{K_0 - C_1}{K_0} = \frac{\sqrt{K_0^2 + 4K_0 C_0} - K_0}{2C_0}.$$

Умножив и разделив левую часть последнего уравнения на

$$\frac{K_0 - C_1}{K_0 C_1},$$

получим после замены соответствующих сомножителей на  $\Sigma C_i$  и  $C_0$

$$\frac{\Sigma C_i}{C_0} = \frac{1}{f} = \frac{\sqrt{K_0^2 + 4K_0 C_0} - K_0}{2C_0}. \quad (15)$$

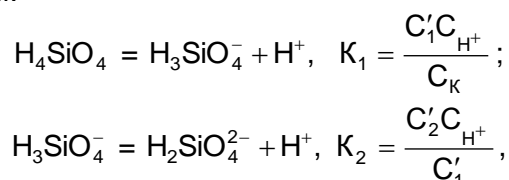
Для проверки справедливости представленных рассуждений было проведено исследование серии растворов силиката натрия с модулем  $m = 2,77$ . Оно сводилось к определению константы равновесия  $K$  реакций поликонденсации типа (6), (8) и т. д., которую с учетом приведенных рассуждений можно вычислить по формуле

$$K = \frac{C_{\text{OH}^-} (K_{\Gamma} + C_{\text{OH}^-}) (C_0 - \Sigma C_i)}{K_{\Gamma}^2 (\Sigma C_i)^2}. \quad (16)$$

Криоскопически определяли общую концентрацию всех молекул и ионов в исследуемых растворах, а также измеряли их pH и pNa. Отнимая от общей концентрации значения  $C_{\text{OH}^-}$  и  $C_{\text{Na}^+}$ , находили  $\Sigma C_i$ . Константу гидролиза  $K_{\Gamma}$  вычисляли по общеизвестной формуле

$$K_{\Gamma} = \frac{K_W}{K_2}, \quad (17)$$

где  $K_W$  – ионное произведение воды;  $K_2$  – константа диссоциации  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  по второй ступени, согласно следующим реакциям:



где  $K_1$  – константа диссоциации  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  по первой ступени;  $C'_1$ ,  $C'_2$  и  $C_{\text{K}}$  – равновесные концентрации соответственно  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$ ,  $\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$  и  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ .

Полагая, что в исследуемых растворах  $K_W = 10^{-14}$ ,  $K_2 = 2 \cdot 10^{-12}$  [6], находим

$$K_{\Gamma} = \frac{10^{-14}}{2 \cdot 10^{-12}} = 5,0 \cdot 10^{-3}.$$

Результаты измерений и рассчитанные значения  $K$  представлены в таблице. Как следует из приведенных данных, совпадение найденных значений  $K$  между собой довольно хорошее, что подтверждает справедливость предложенной схемы конденсации.

**Значения  $C_0$ ,  $C_{\text{OH}^-}$ ,  $C_{\text{Na}^+}$ ,  $\Sigma C_i$  и  $K$  исследованных растворов силиката натрия с  $m = 2,77$**

$C_0 \cdot 10^2$ , моль/л	$C_{\text{OH}^-} \cdot 10^4$ , г-ион/л	$C_{\text{Na}^+} \cdot 10^2$ , г-ион/л	$\Sigma C_i \cdot 10^2$ , моль/л	$K$
7,902	9,78	4,677	3,771	6,794
9,912	10,00	5,012	4,185	6,898
10,536	10,23	5,495	4,619	6,835
11,235	10,47	5,888	4,960	6,478
13,170	10,71	6,457	5,392	6,958

Среднее значение  $K = 6,793$  может быть использовано для определения средней степени поликонденсации силикатных анионов. В отличие от константы  $K_p = 0,059$ , которая использовалась Тило, обратная величина  $K$  нашей схемы равнялась  $0,147$ .

Для определения средней степени поликонденсации силикатных анионов необходимо знать концентрацию ионов  $\text{OH}^-$ . Значения концентрации  $\text{OH}^-$  требуются также при описании механизмов гидратации и твердения в системах, в которых жидкое стекло используется в качестве щелочного затворителя.

Результаты исследования зависимостей  $C_{\text{OH}^-}$  от концентрации щелочного силиката свидетельствуют о том, что при любом способе выражения этой концентрации они являются отчетливо линейными. Анализ зависимостей  $C_{\text{OH}^-}$  от  $C_{\text{Na}^+}$ , найденных измерением  $p\text{Na}$  и расчетом, от  $C_{\text{Na}_2\text{O}}$ , а также от  $C_0$  показал, что все они подчиняются уравнениям прямой и могут быть использованы для определения  $C_{\text{OH}^-}$  по известным  $C_0$  и  $m$  исследуемых жидких стекол.

Для дальнейших рассуждений применяли зависимость  $C_{\text{OH}^-}$  от  $C_0$  и  $m$ , которые являются общепринятыми характеристиками жидкого стекла и наиболее просто определяются аналитически. При исследовании зависимости  $C_{\text{OH}^-}$  от соотношения  $C_0/m$  (что соответствует  $C_{\text{Na}_2\text{O}}$ ) было получено уравнение

$$C_{\text{OH}^-} = 4,879 \cdot 10^{-3} C_{\text{Na}_2\text{O}} + 8,382 \cdot 10^{-4}. \quad (18)$$

Это уравнение может быть связано с развиваемыми представлениями, если принять во внимание гидролиз двухзарядных анионов по двум ступеням.

Обозначим через  $\Sigma C^{2-}$ ,  $\Sigma C^-$  и  $\Sigma C_K$  соответственно суммарные равновесные концентрации двух- и однозарядных анионов и кремниевых кислот различной степени поликонденсации. Тогда уравнения двухступенчатого гидролиза можно представить в виде

$$\left. \begin{aligned} \Sigma C^{2-} + \text{НОН} &= \Sigma C^- + \text{ОН}^- \\ \Sigma C^- + \text{НОН} &= \Sigma C_K + \text{ОН}^- \end{aligned} \right\}. \quad (19)$$

Как следует из этих уравнений,

$$C_{\text{OH}^-} = \Sigma C^- + \Sigma C_K. \quad (20)$$

Уравнения константы гидролиза этих реакций

$$\left. \begin{aligned} K_{\Gamma 1} &= \frac{\Sigma C^- (\Sigma C^- + \Sigma C_K)}{\Sigma C^{2-}} \\ K_{\Gamma 2} &= \frac{\Sigma C_K (\Sigma C^- + \Sigma C_K)}{\Sigma C^-} \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

можно привести к виду

$$\begin{aligned} (\Sigma C^- + \Sigma C_K) &= K_{\Gamma 1} \frac{\Sigma C^{2-}}{\Sigma C^-}; \\ (\Sigma C^- + \Sigma C_K) &= K_{\Gamma 2} \frac{\Sigma C^-}{\Sigma C_K} \end{aligned}$$

и после их сложения получить

$$(\Sigma C^- + \Sigma C_K) = C_{\text{OH}^-} = \frac{K_{\Gamma 1}}{2} \frac{\Sigma C^{2-}}{\Sigma C^-} + \frac{K_{\Gamma 2}}{2} \frac{\Sigma C^-}{\Sigma C_K}. \quad (22)$$

Из вышеприведенной схемы поликонденсации силикатных анионов следует, что отношение  $\Sigma C^{2-} : \Sigma C^-$  довольно близко к постоянной величине. Это позволяет сопоставить первое слагаемое уравнения (22) с постоянным слагаемым  $8,382 \cdot 10^{-4}$  уравнения (18). Второе слагаемое уравнения (22) можно представить в виде

$$\frac{K_{\Gamma 2}}{2 \Sigma C_K} \alpha C_{\text{Na}_2\text{O}},$$

где  $\alpha$  – степень гидролиза исходной соли щелочного силиката. Тогда, принимая

$$\frac{K_{Г2}\alpha}{2\sum C_K} = 4,879 \cdot 10^{-3},$$

можно получить и второе слагаемое уравнения (18). Такое допущение справедливо, если выполняется условие

$$\frac{\alpha}{\sum C_K} = \text{const.}$$

Проверка этого предположения на основании данных приведенной выше таблицы действительно приводит к значениям  $K_{Г1}$  и  $K_{Г2}$ , которые хорошо совпадают с литературными.

Представленные рассуждения позволяют с достаточной точностью рассчитать среднюю степень поликонденсации силикатных анионов и концентрацию ионов  $\text{OH}^-$  в растворах жидкого стекла, для которых известны общая концентрация кремнезема и силикатный модуль.

Получение изделий на основе техногенного сырья и алюмосиликатных пород, затворяемых жидкими стеклами или суспензиями на их основе, сопровождается образованием цеолитоподобных структур, определяющих свойства таких материалов. Однако формирование цеолитов требуемой природы возможно только при определенном составе исходной композиции, заданной концентрации ионов  $\text{OH}^-$  и строгом соблюдении условий изготовления. Во многих случаях даже незначительное отклонение от заданных параметров приводит либо к изменению вида кристаллизующегося цеолита, либо к получению метастабильных структур, испытывающих в дальнейшем постепенный переход к более стабильным образованиям [7]. Располагая приемами расчета, приведенными в данной работе, можно готовить жидкое стекло или композиции на его основе с требуемым набором силикатных анионов и нужной концентрацией ионов  $\text{OH}^-$ . Только такой подход гарантирует формирование именно тех цеолитовых структур, которые обеспечивают необходимые свойства получаемых материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Производство бетонов и конструкций на основе шлакощелочных вяжущих / В. Д. Глуховский, П. В. Кривенко, Г. В. Румына [и др.]. – Киев: Будівельник, 1988. – 144 с.
2. Кривенко П. В., Скурчинская Ж. В., Сидоренко Ю. А. Шлакощелочные вяжущие нового поколения // Цемент. – 1991. – № 11–12. – С. 4–8.
3. Неорганические полимеры: сб. переводов / Под ред. В. И. Спицына, И. Д. Колли. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1961. – С. 13–29.
4. Иванов Н. К., Арбузов А. М., Максимова И. П. Полимеризация силикатных анионов в водных растворах // Журнал прикладной химии. – 1978. – Т. 51. – С. 572–577.
5. Соколов В. Е. К экспресс-методу определения модуля раствора силиката натрия // Стекло и керамика. – 1963. – № 9. – С. 11–12.
6. Справочник химика. – М.: Химия, 1965. – Т. 3. – С. 79.
7. Овчаренко Г. И., Свиридов В. Л., Казанцева Л. К. Цеолиты в строительных материалах. – Барнаул-Новосибирск: Изд-во АлтГТУ, 2000. – 292 с.

## REFERENCES

1. Glukhovskiy V. D., Krivenko P. V., Rumyna G. V., et al. *Proizvodstvo betonov i konstruktsiy na osnove shlakoshchelochnykh vyazhushchikh* [Concrete and structures production on the base of alkali-activated slag binders]. Kiev: Budivel'nik, 1988, 144 p (in Russian).
2. Krivenko P. V., Skurchinskaya Zh. V., Sidorenko Yu. A. Alkali-activated slag binders of new generation. *Tsement*, 1991, no. 11–12, pp. 4–8 (in Russian).
3. *Neorganicheskie polimery* [Non-organic polymers]. Moscow: Izd-vo inostrannoy literatury, 1961, pp. 13–29 (in Russian).
4. Ivanov N. K., Arbuzov A. M., Maksimova I. P. Polymerization of silicate anions in water solutions. *Zhurnal prikladnoy khimii*, 1978, vol. 51, pp. 572–577 (in Russian).
5. Sokolov V. E. To the express-method of determination of sodium silicate solution modulus. *Steklo i keramika*, 1963, no. 9, pp. 11–12 (in Russian).
6. *Spravochnik khimika* [Chemist handbook]. Moscow: Khimiya, 1965, vol. 3, p. 79 (in Russian).

## ТВЕРДЕНИЕ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ С МИКРОДИСПЕРСНЫМИ ДОБАВКАМИ

**Ю. Р. Кривобородов, А. А. Еленина, РХТУ им. Д. И. Менделеева, г. Москва**

**Ключевые слова:** цемент, микродисперсные добавки, гидратация, твердение, прочность  
**Key words:** cement, microfine additives, hydration, hardening, strength

Перед цементной промышленностью стоят важнейшие задачи, связанные с созданием новых видов цемента, обладающих рядом ценных свойств, улучшением качества выпускаемого цемента и разработкой на его основе специальных быстротвердеющих цемента с высокой начальной скоростью структурообразования и повышенной марочной прочностью.

Вопросам теории гидратации и твердения вяжущих веществ посвящено немало работ [1–3], однако до настоящего времени нет единой точки зрения на процессы, протекающие при взаимодействии цемента с водой и приводящие к образованию прочных структур твердения. Остается открытым и вопрос о том, какие компоненты цемента или продукты гидратации обуславливают начальную и конечную прочность цемента. Считается, что потеря тестом пластичности (подвижности) с увеличением ранней прочности наступает за счет образования гидросульфоалюминатов кальция. Образование гидроалюминатов и гидросульфоалюминатов кальция, главным образом эттрингита, на ранних стадиях твердения цемента благоприятствует повышению прочности цемента, так как образующиеся кристаллы «армируют» цементный камень [4–9]. Для увеличения количества эттрингита или его аналогов в цемент вводят добавки растворимых солей алюминия, железа, сульфоалюминатов или сульфоферритов кальция либо повышают количество алюминатов и алюмоферритов кальция в цементном клинкере, а также увеличивают количество вводимого в цемент гипса. Между тем хорошо известно, что для таких цемента характерно снижение прочности в более поздние сроки твердения. Некоторые исследователи полагают, что скорость структурообразования связана с количеством образующихся на ранней стадии твердения гидросиликатов кальция, которые оказывают существенное влияние на долговечность цемента и его марочную прочность [10].

Несмотря на высокую эффективность некоторых добавок, в промышленных масштабах они пока не производятся в связи со сложностью технологии их получения. Простым и интересным по технологическому решению, но мало изученным, является способ, предусматривающий введение гидродинамически активированной микродисперсной добавки в воду затворения. При этом получают кристаллическую затравку, ускоряющую кристаллизацию гидратных соединений благодаря обогащению воды затворения составляющими для синтеза этих гидратных образований.



Активатор-смеситель

Цель данной работы – исследование возможности повышения прочности цемента за счет направленного структурообразования в присутствии микродисперсных добавок, полученных гидродинамической активацией.

При проведении исследований использовали цемент ПЦ 500 (ГОСТ 10178-85) и гидродинамически активированные микродисперсные добавки, которые получали по методике Ф. М. Ли [11] путем активации химически чистых реагентов состава: 1)  $\text{CaCO}_3 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ; 2)  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ; 3)  $\text{CaO} + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ .

Гидродинамическая активация выполнена на лабораторном центробежном активаторе-смесителе, сочетающем в себе принципы работы центробежных насосов, дезинтеграторов и роторных аппаратов (см. рисунок). Центробежный активатор-смеситель состоит из рабочей камеры 1, емкости 2 для введения

предназначенных для активации материалов, воды и добавок, а также отбора проб для исследований, циркуляционного трубопровода 3, крана 4 для слива активированных смесей, электродвигателя 5 и блока управления.