

# Строительные материалы и изделия

УДК 691.588

## ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ЦЕМЕНТНОЙ КОМПОЗИЦИИ В ПРИСУТСТВИИ СИНТЕЗИРОВАННЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ

**В.И. Логанина, К.В. Жегера**

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза*

Представлены результаты исследования влияния синтезированных алюмосиликатов на структурообразование и эксплуатационные свойства цементного камня. Изучено изменение кинетики набора прочности цементного камня, содержащего синтезированные алюмосиликаты разной дисперсности. Рассмотрена топология структуры цементного камня с применением в рецептуре синтезированных алюмосиликатов в зависимости от их дисперсности.

Выявлен механизм формирования прочности цементного композита с применением в его рецептуре синтезированного наполнителя.

*Ключевые слова:* портландцемент, сухие строительные смеси, синтезированные алюмосиликаты, структурообразование, топология структуры.

Одним из приоритетов современного строительного материаловедения является разработка эффективных сухих строительных смесей (ССС) с повышенными эксплуатационными свойствами и низкой себестоимостью. Поставленная задача может быть решена путем введения в рецептуру СССР модифицирующих нанодисперсных добавок, регулирующих свойства и структурообразование материала. На российском рынке СССР в основном преобладают импортные модифицирующие добавки, что делает производство зависимым от зарубежных поставок и приводит к высокой стоимости готового продукта, так как 80 % себестоимости составляет стоимость зарубежных добавок. В связи с этим, одной из основных задач отечественных производителей СССР является разработка аналогов модифицирующих добавок импортного производства [1–4].

В продолжение проведенных ранее исследований нами предложено вводить в рецептуру СССР на цементной основе, предназначенных в качестве плиточного клея, синтезированные алюмосиликаты с целью регулирования структурообразования и повышения эксплуатационных свойств [5–7].

Наполнитель на основе синтезированных алюмосиликатов характеризуется высокой активностью, составляющей более 350 мг/г и удельной поверхностью, равной  $S_{уд} = 86,5 \pm 3,5 \text{ м}^2/\text{г}$  [8].

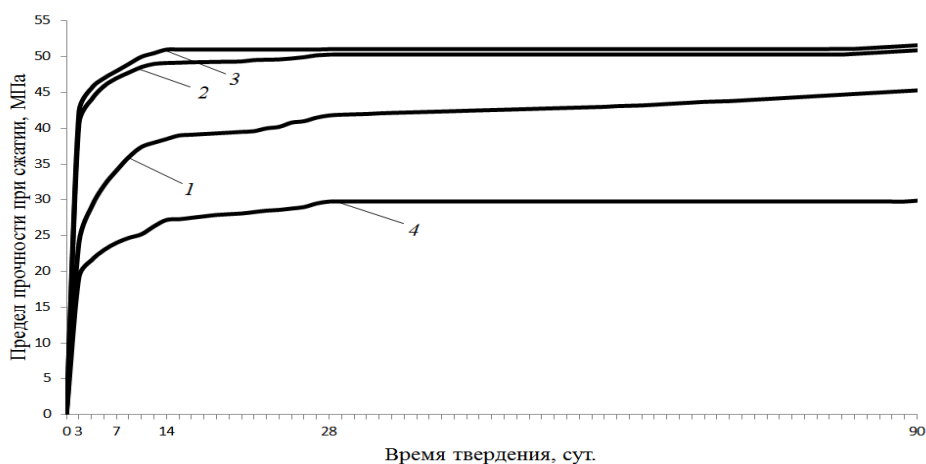
Для оценки кинетики формирования прочности цементной композиции на основе синтезированных алюмосиликатов были проведены эксперименты, в которых применялся Вольский портландцемент марки М400 и удельной поверхностью  $S_{уд}$ , равной  $S_{уд} = 340 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Для синтеза добавки использовалось жидкое стекло с силикатным модулем 2,8, очищенный технический сульфат алюминия первого сорта производства ООО «Алхим» (г. Тольятти). Выбрано оптимальное содержание

синтезированного наполнителя в рецептуре цементного композита, составляющее 20 % от массы вяжущего.

Образцы изготавливались с одинаковыми реологическими характеристиками и содержанием синтезированного наполнителя (20% от массы вяжущего) с разной дисперсностью. Выявлено, что цементное композиционное вяжущее (ЦКВ) на основе синтезируемого наполнителя имеет большую прочность при сжатии в возрасте 90 суток воздушно-сухого твердения (температура  $18 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , относительная влажность воздуха 60–70 %), чем контрольный образец (рис. 1).

Анализ экспериментальных данных свидетельствует, что введение в рецептуру синтезированного наполнителя с большей площадью удельной поверхностью, чем цемент, приводит к повышению прочности при сжатии цементного образца в возрасте 90 суток воздушно-сухого твердения на 13 - 15% по сравнению с контрольным составом (без содержания синтезированной добавки). Так, прочность при сжатии образцов на основе ЦКВ с применением синтезированного наполнителя с удельной поверхностью  $S_{уд} = 688,6 \text{ м}^2/\text{кг}$  превышает значение контрольного образца на 15 %. Уменьшение значения дисперсности наполнителя на основе синтезированных алюмосиликатов по сравнению с дисперсностью вяжущего приводит к снижению прочности при сжатии. Так, снижение прочности при сжатии ЦКВ при удельной поверхности наполнителя  $S_{уд} = 311,1 \text{ м}^2/\text{кг}$  составляет 34 %.

Рассмотрим топологию структуры цементного камня с применением в рецептуре синтезированных алюмосиликатов. Соотношение цемента и наполнителя составляет в долях единицы 0,76:0,24 или 5:1 по массе. Соотношение количества цементных частиц относительно частиц синтезиро-



**Рис. 1. Кинетика твердения цементных образцов в воздушно-сухих условиях:**  
 1 – контрольный (без содержания добавки); 2 – композиционное вяжущее с наполнителем, удельная поверхность которого  $S_{уд} = 1029,8 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; 3 – композиционное вяжущее с наполнителем, удельная поверхность которого  $S_{уд} = 688,6 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; 4 – композиционное вяжущее с наполнителем, удельная поверхность которого  $S_{уд} = 311,1 \text{ м}^2/\text{кг}$

ванного алюмосиликата  $C$  можно рассчитать, если известны счетные количества частиц каждого компонента. Счетные количества частиц рассчитывают по формулам:

$$n = \frac{\pi d_{ц}^3}{6} \rho_{ц} m_{ц}, \quad (1)$$

$$n = \frac{\pi d_{д}^3}{6} \rho_{д} m_{д}, \quad (2)$$

где  $m_{ц}$  и  $m_{д}$  – массы цемента и синтезированной добавки в смешанном вяжущем в долях единицы;  $n_{ц}$  и  $n_{д}$  – количество частиц цемента и синтезированного наполнителя;  $\rho_{ц}$  и  $\rho_{д}$  – плотности цемента и синтезированной добавки.

Тогда соотношение  $C$  будет вычисляться:

$$C = \frac{n_{д}}{n_{ц}} = \frac{m_{д} \rho_{ц} d_{ц}^3}{m_{ц} \rho_{д} d_{д}^3}, \quad (3)$$

или через удельную поверхность

$$C = \frac{m_{д} \rho_{д}^2 S_{д}^3}{m_{ц} \rho_{ц}^2 S_{ц}^3}, \quad (4)$$

где  $S_{д}$  и  $S_{ц}$  – соответственно удельная поверхность синтезированной добавки и цемента [9].

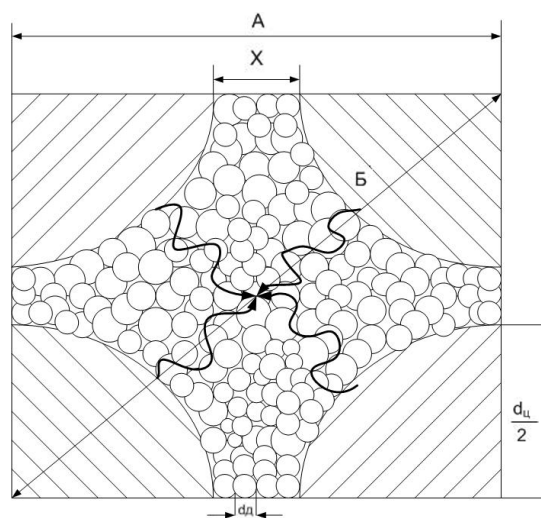
Результаты расчета приведены в таблице. Установлено, что при удельной поверхности цемента  $S_{уд} = 340 \text{ м}^2/\text{кг}$  и удельной поверхности синтезированного наполнителя  $S_{уд} = 1029,8 \text{ м}^2/\text{кг}$  соотношение частиц составляет  $C = 4,5$ , а при удельной поверхности наполнителя  $S_{уд} = 311,1 \text{ м}^2/\text{кг}$  –  $C = 0,1$ .

Для соотношения  $C = 1,3-4,5$  выполнен расчет расстояния от поверхности частиц цемента до частицы наполнителя. Выберем элементарную кубическую ячейку, имеющую размер грани куба  $A$ , а объем куба –  $A^3$ . Будем считать, что в этой ячейке размещается одна шаровая частица. Раз-

местим эту частицу в ячейке в виде шаровых секторов по  $1/8$  части шара в каждом углу куба. В свободном объеме ячейки, не заполненной шаровыми секторами цементного вещества, разместим все частицы синтезированной добавки (рис. 2).

**Соотношение частиц цемента и синтезированного наполнителя в зависимости от их дисперсности**

Размер удельной поверхности, $\text{м}^2/\text{кг}$		Средний диаметр частиц, мкм		Количество частиц синтезированного наполнителя на одну частицу цемента
Цемент	Наполнитель	Цемент	Наполнитель	
340	1029,8	6	2,8	4,5
340	688,6	6	4,1	1,3
340	311,1	6	10,2	0,1



**Рис. 2. Идеализированная топология структуры цементного вяжущего с применением в рецептуре синтезированного наполнителя и пути переноса продуктов гидратации цемента при монодисперсных частицах синтезированной добавки**

Суммарный объем частиц наполнителя на основе синтезированных алюмосиликатов рассчитывается по формуле:

$$V_d = \frac{\pi d_d^3}{6} n_d. \quad (5)$$

Но так как  $n_d = C$ , то можно записать:

$$V_d = \frac{\pi d_d^3}{6} C. \quad (6)$$

Тогда полный объем элементарной ячейки будет складываться из одной цементной частицы и суммарного объема частиц синтезированного наполнителя, уложенных с той или иной степенью упаковки  $K_{уп}$ . В образовавшейся системе ЦКВ образуется более плотная гексагональная упаковка, в связи с этим, коэффициент упаковки равен  $K_{уп} = 0,74$ . С учетом  $K_{уп}$  можно записать для полного объема  $V_я$ :

$$V_я = A^3 = \frac{\pi d_c^3}{6} + \frac{\pi d_d^3}{6} CK_{уп}, \quad (7)$$

откуда

$$A = \sqrt[3]{\frac{\pi}{6} (d_c^3 + d_d^3 CK_{уп})}. \quad (8)$$

Для принятых характеристик синтезированного наполнителя и цемента, вычисленного значения  $C = 4,5$ ;  $1,3$  и рассчитанного  $K_{уп} = 0,74$  получим  $A = 5,3 \cdot 10^{-6}$  м,  $A = 6,1 \cdot 10^{-6}$  м и соответственно. Расстояние  $X$  между поверхностями цементных частиц по ребру элементарной ячейки будет рассчитано по формуле:

$$X = A - d_c. \quad (9)$$

Тогда рассчитанное значение  $X$  для разных значений  $A$  будет равны  $X_1 = -0,7 \cdot 10^{-6}$  м,  $X_2 = 0,1 \cdot 10^{-6}$  м.

Поскольку длина диагонали  $B$  грани кубической ячейки равна  $\sqrt{2}A$ , а диагональ куба  $L = \sqrt{3}A$ , то расстояние между поверхностями частиц  $Y$  по диагонали грани будет:

$$Y = \sqrt{2}A - d. \quad (10)$$

Рассчитанные значения  $Y$  для разных значений  $A$  равны  $Y_1 = 0,7 \cdot 10^{-6}$  м и  $Y_2 = 1,7 \cdot 10^{-6}$  м.

Расстояние между поверхностями частиц  $Z$  по диагонали куба составляет:

$$Z = \sqrt{3}A - d. \quad (11)$$

Подсчитанное значение  $Z$  для значений  $A$  равны  $Z_1 = 1,6 \cdot 10^{-6}$  м и  $Z_2 = 2,8 \cdot 10^{-6}$  м соответственно.

Из топологической схемы (рис. 2) следует, что для связывания цементного теста с наполнителем на основе синтезированных алюмосиликатов при воздушно-сухих условиях твердения необходима миграция продуктов гидратации цементного вяжущего в контактные зоны частиц синтезированного наполнителя. Наиболее удаленными от поверхности зонами являются центр куба и центр его грани. Транспорт химических продуктов должен осуществляться на расстояние от поверхности, равном  $t/2 = 0,8 \cdot 10^{-6}$  м и  $t/2 = 1,9 \cdot 10^{-6}$  м. В та-

кой системе перколяционного кластера из связанных пленочной водой частиц синтезированной добавки протекание осуществляется по наиболее проницаемым тетраэдрическим пустотам к контактному участку. Прочность композиции определяется прочностью этих контактов.

В таких сложных условиях наиболее вероятным механизмом формирования прочности во времени, очевидно, является диффузионный перенос ионов вяжущего за счет осмоса и последующая реакция образования новой фазы на поверхности частиц наполнителя.

Таким образом, даже упрощенное рассмотрение топологии структуры композиционных вяжущих позволяет более правильно объяснить механизм формирования прочности цементного композита с применением синтезированных алюмосиликатов.

### Литература

1. Свойства синтетических нанотубулярных гидросиликатов / В.В. Строкова, А.И. Везенцев, Д.А. Колесников, М.С. Шиманская // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2010. – № 4. – С. 30–34.
2. Логанина, В.И. Влияние активации диатомита на свойства известковых композиций / В.И. Логанина, О.А. Давыдова, Е.Е. Симонов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2011. – № 3. – С. 20–23.
3. Логанина, В.И. Исследование закономерностей влияния золя кремниевой кислоты на структуру и свойства диатомита / В.И. Логанина, О.А. Давыдова, Е.Е. Симонов // Строительные материалы. – 2011. – № 12. – С. 63.
4. Логанина, В.И. Свойства известковых композиций с силикатсодержащими наполнителями / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, К.А. Сергеева // Строительные материалы. – 2012. – № 3. – С. 30–31.
5. Логанина, В.И. Применение синтезированных алюмосиликатов в рецептуре плиточного клея / В.И. Логанина, К.В. Жегера // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 1. – С. 59–63.
6. Логанина, В.И. Применение синтезированных алюмосиликатов в составе плиточного клея на основе цемента / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, К.В. Жегера // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2013. – № 10 (658). – С. 23–27.
7. Жегера, К.В. Добавка на основе синтезированных алюмосиликатов в составе плиточного клея / К.В. Жегера // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 2 (34). – С. 48–51.
8. Добавка на основе алюмосиликатов для цементных систем / В.И. Логанина, В.И. Жерновский, М.А. Садовникова, К.В. Жегера // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 5. – № 6. – С. 8–11.
9. Глиношлаковые строительные материалы / В.И. Калашиников, В.Ю. Нестеров, В.Л. Хвастунов и др. – Пенза: ПГАСА, 2000. – 206 с.

Логанина Валентина Ивановна, доктор технических наук, профессор, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (Пенза), loganin@mail.ru

Жегера Кристина Владимировна, аспирант, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (Пенза), jegera@yandex.ru

Поступила в редакцию 27 декабря 2014 г.

## FORMATION OF STRENGTH FOR CEMENT COMPOSITION WITH SYNTHESIZED ALUMINUM SILICATE

V.I. Loganina, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russian Federation, loganin@mail.ru

C.V. Zhegera, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russian Federation, jegera@yandex.ru

The results of analysis of influence of synthesized aluminum silicates on structuring and performance characteristics of cement stone are given. We study the change of kinetics for strength generation of cement stone with synthesized aluminum silicates of a different particle size. The topology of structure for cement stone with application in the formulation of synthesized aluminum silicates, depending on their dispersion is considered in the article. Mechanism of strength generation for cement-based composite with synthesized filler is shown.

*Keywords: portland cement, dry building mixes, synthesized aluminum silicates, structuring, topology of structure.*

### References

1. Strokova V.V., Vezencev A.I., Kolesnikov D.A., Shimanskaya M.S. [Properties of Synthetic Nanotube Hydrosilicates]. *Bulletin of the BGTU im. V.G. Shuhova*. Belgorod, 2010, no. 4, pp. 30–34 (in Russ).
2. Loganina V.I., Davydova O.A., Simonov E.E. [Effect of Activation on the Properties of Diatomite Lime Compositions]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [Proceedings of the Higher Educational Institutions. Building]. Moscow, 2011, no. 3, pp. 20–23 (in Russ).
3. Loganina V.I., Davydova O.A., Simonov E.E. [Study Patterns of Influence of the Silica Sol on the Structure and Properties of Diatomite]. *Stroitel'nye materialy* [Building Materials]. Moscow, 2011, no. 12, pp. 63 (in Russ).
4. Loganina V.I., Makarova L.V., Sergeeva K.A. [Properties of Composites with Lime Silicate Containing Fillers]. *Stroitel'nye materialy* [Building Materials]. Moscow, 2012, no. 3, pp. 30–31 (in Russ).
5. Loganina V.I., Zhegera K.V. [Application of Synthetic Aluminosilicates in the Formulation of Tile Adhesive]. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional Architecture and Engineering], 2014, no. 1, pp. 59–63 (in Russ).
6. Loganina V.I., Kislicyna S.N., Zhegera K.V. [Application of Synthetic Aluminosilicates tile adhesive composition based on cement]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [Proceedings of the Higher Educational Institutions. Building], 2013, no. 10 (658), pp. 23–27 (in Russ).
7. Zhegera K.V. [Additive Based on Synthetic Aluminosilicates tile adhesive composition]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii* [Modern Scientific Research and Innovation], 2014, no. 2 (34), pp. 48–51 (in Russ).
8. Loganina V.I., Zhernovskiy V.I., Sadovnikova M.A., Zhegera K.V. [Additive for Cement-based Systems Aluminosilicates]. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy* [East European Journal of Advanced Technologies], 2013, vol. 5, no. 6, pp. 8–11 (in Russ).
9. Kalashnikov V.I., Nesterov V.Ju., Hvastunov V.L. *Glinoshlakovye stroitel'nye materialy* [Slag of Clay Building Materials]. Penza, PGASA Publ., 2000. 206 p.

Received 27 December 2014

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Логанина, В.И. Формирование прочности цементной композиции в присутствии синтезированных алюмосиликатов / В.И. Логанина, К.В. Жегера // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 43–46.

### REFERENCE TO ARTICLE

Loganina V.I., Zhegera C.V. Formation of Strength for Cement Composition with Synthesized Aluminum Silicate. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2015, vol. 15, no. 2, pp. 43–46. (in Russ.)