

К. т. н. М. А. Трубицын (✉), к. х. н. Л. В. Фурда, к. т. н. Н. А. Воловичева (✉),  
к. х. н. М. Н. Устинова

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет», Белгород, Россия

УДК 666.651.6:665.7.035.6].001.89

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕКУЧЕСТИ ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ МАТРИЧНЫХ СИСТЕМ ДЕФЛОКУЛЯНТАМИ РАЗНОГО ТИПА

Представлены результаты сравнительного анализа диспергирующего действия российских и зарубежных дефлокулянтов на основе полифосфатов и поликарбоксилатных эфиров (ПКЭ) на реологические свойства матричных систем высокоглиноземистого состава и их минеральных составляющих. Показано, что по дефлокулирующей способности отечественные ПКЭ не уступают аналогичным зарубежным продуктам и могут применяться для регулирования реологического поведения низкоцементных огнеупорных литейных масс.

**Ключевые слова:** функциональные матричные смеси (ФМС), дефлокулянты, поликарбоксилатные эфиры (ПКЭ), текучесть, вязкость, коэффициент загустеваемости (КЗ), низкоцементные литейные массы.

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы как за рубежом, так и в России широкое распространение получили теплотехнические низкоцементные огнеупорные литейные массы нового поколения — по принятой международной классификации LCC (low cement castable) [1, 2]. Такие массы содержат 1,0–2,5 мас. % CaO или от 4,0 до 9,0 % высокоглиноземистого цемента (ВГЦ).

С точки зрения материаловедения такие литейные массы можно рассматривать как гетерогенные бинарные композиционные материалы, в которых матричная система обладает свойством непрерывности и консолидирует в единое целое полифракционные зерна заполнителя. Отличительным признаком матричной системы является предельная объемная концентрация, достигаемая за счет плотной укладки полидисперсных частиц твердой фазы [3]. Матрица, составляющая 25–35 % композиционного материала, оказывает решающее влияние на реологические и эксплуатационные свойства неформованных огнеупоров. Введение в состав матричных систем высокодисперсных минеральных частиц вызвало необходимость разработки

и использования специальных диспергирующих агентов-дефлокулянтов, чтобы обеспечить необходимую технологическую подвижность смесей с одновременным уменьшением количества воды.

Основными дефлокулянтами, широко применяющимися в настоящее время для огнеупорных литейных систем, являются полифосфаты [4–7], полиакрилаты [5, 8–11], поликарбоксилатные эфиры (ПКЭ) [4, 5, 8–11], диспергирующие оксиды алюминия [12, 13] и их комбинации. В ряду полифосфатов наиболее распространенными являются гексаметафосфат натрия (ГМФ)  $\text{Na}_6[(\text{PO}_3)_6]$  и триполифосфат натрия (ТПФ)  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ . Полифосфатные анионы хорошо адсорбируются частицами с отрицательно заряженной поверхностью, повышая величину заряда, что обеспечивает электростатический механизм диспергации. Однако при повышенной температуре в щелочной среде происходит образование ортофосфатов, что приводит к увеличению вязкости литейных масс с течением времени [14].

Полиакрилаты натрия (ПАН) представляют собой группу органических дефлокулянтов, имеющих общую формулу  $[-\text{CH}_2-\text{CR}(\text{COONa})-]_n$  и молекулярную массу от 1000 до 20000. Дефлокулирующее действие полиакрилатов зависит от длины и природы радикала R [14, 15]. ПКЭ имеют гребенчатую структуру и состоят из основной поликарбоксильной цепи, а также боковых полиэфирных цепочек (рис. 1). Присутствие ионного заряда основной цепи необходимо для адсорбции поликарбоксилата на поверхности минеральных частиц и создания электростатического эффек-



М. А. Трубицын  
E-mail: [troubitsin@bsu.edu.ru](mailto:troubitsin@bsu.edu.ru)

Н. А. Воловичева  
E-mail: [volovicheva@bsu.edu.ru](mailto:volovicheva@bsu.edu.ru)

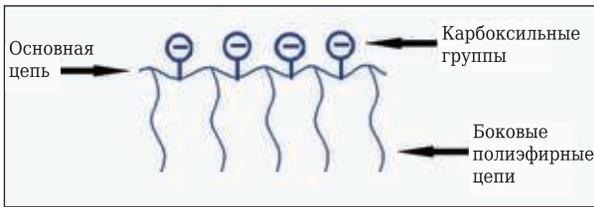


Рис. 1. Схема фрагмента макромолекулы ПКЭ

та, а боковые цепочки макромолекулы полимера обеспечивают стерический эффект диспергирования. Эффективность дисперсантов на основе ПКЭ зависит от плотности заряда основной цепи, а также от химической структуры, длины и количества боковых цепочек [14].

В огнеупорной отрасли ПКЭ различных торговых марок уже нашли широкое применение при изготовлении высококачественных литейных огнеупорных масс разного назначения. Однако российские потребители в основном используют поликарбоксилатные дефлокулянты зарубежного производства, например Castament FS20, FS30, FS40 и FS60 компании BASF (Германия), Peramin® Al 200 и Peramin® Al 300 компании Kerneos (Франция). Вместе с тем в России предлагается достаточный ассортимент отечественных поликарбоксилатных дисперсантов, аналогичных зарубежным продуктам [16].

Цель настоящей работы — сравнительный анализ эффективности диспергирующего действия добавок на основе полифосфатов и ПКЭ на реологические свойства функциональных матричных систем высокоглиноземистого состава и их минеральных составляющих.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для приготовления модельных функциональных матричных смесей (ФМС) использовали субмикронный активированный  $\alpha$ -оксид алюминия (СМАЛОКС-А) и модифицированный высокоглиноземистый цемент (МВГЦ). СМАЛОКС-А получали методом сухого помола из высокоглиноземистого сырья в  $\alpha$ -форме [17], МВГЦ готовили измельчением высокоглиноземистого клинкера, полученного обжигом порошковой смеси  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  при 1450 °С [18].

Физико-химические характеристики исходных компонентов ФМС изучали методами аналитической сканирующей электронной микроскопии (Quanta 200 3D и Quanta 600 FEG, FEI, Нидерланды) и рентгенофазового анализа (дифрактометр Ultima IV, Rigaku, Япония). Химический состав материалов определяли методом рентгеноспектрального микроанализа с использованием электронно-ионного растрового микроскопа Quanta 200 3D, совмещенного с энергодисперсионным рентгеновским детектором EDAX. Гранулометрический состав опреде-

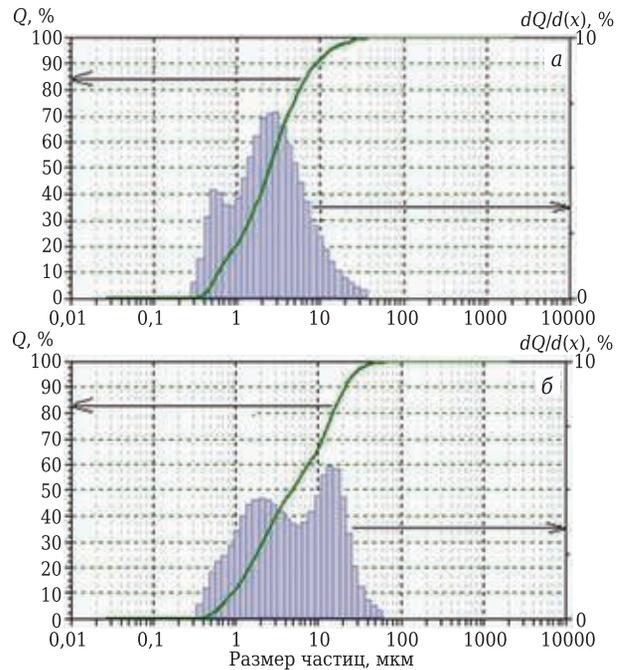


Рис. 2. Гранулометрический состав компонентов ФМС: а — СМАЛОКС-А; б — МВГЦ

ляли на анализаторе размеров частиц Microtrac S3500 (Microtrac Inc., США) методом лазерной дифракции. В качестве дисперсионной среды использовали дистиллированную воду (для СМАЛОКС-А) и этанол (для МВГЦ). Удельную поверхность порошков определяли методом низкотемпературной адсорбции и термодесорбции азота (автоматизированная установка TriStar II 3020, Micromeritics, США).

СМАЛОКС-А представляет собой неагрегируемый белый порошок, хорошо распределяющийся в водной среде. На рис. 2, а показаны интегральная кривая и диаграмма распределения частиц СМАЛОКС-А. Установлено, что образец СМАЛОКС-А имеет выраженный бимодальный характер распределения частиц. Максимум первой моды находится в диапазоне 0,3–0,4 мкм, максимум второй моды фиксируется в интервале 2,0–3,0 мкм.

На СЭМ-снимках тонкодисперсного субмикронного активированного  $\alpha$ -оксида алюминия (рис. 3, а, б) отчетливо дифференцируются два типа частиц, различающихся не только морфологией, но и размерами. Более крупные кристаллиты (3–4 мкм) имеют объемную призматическую форму. Второй тип частиц составляет субмикронную фракцию  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  (<1 мкм) и представлен пластинками изометричной формы. Частицы обособлены; склонность к агрегации не наблюдается. Данные СЭМ (см. рис. 3, а, б) хорошо согласуются с результатами определения гранулометрического состава образца СМАЛОКС-А (см. рис. 2, а), подтверждающими бимодальный характер распределения частиц.

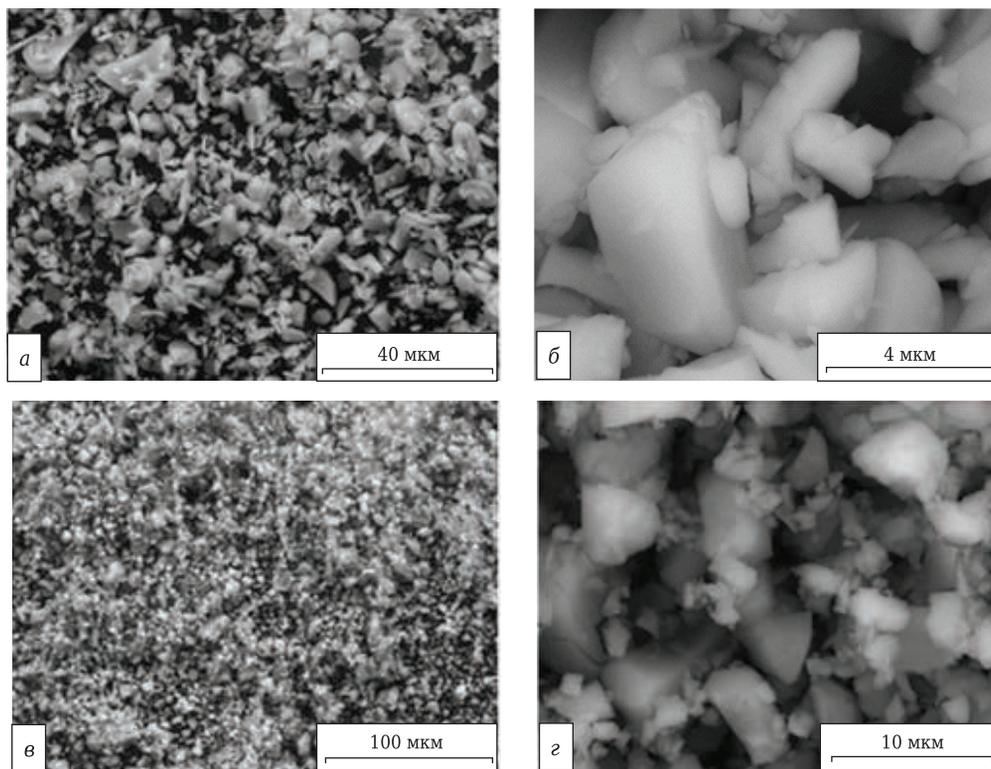


Рис. 3. СЭМ-снимки образцов СМАЛОКС-А (а, б) и МВГЦ (в, г)

На рис. 2, б показаны интегральная кривая и диаграмма распределения частиц для МВГЦ. Установлен бимодальный характер распределения частиц. Максимум первой моды соответствует 2,0 мкм, максимум второй моды фиксируется в интервале 10,0–11,0 мкм. Морфология зерен МВГЦ показана на рис. 3, в, г. Структуру образца высокоглиноземистого цемента образуют объемные, хорошо оформленные зерна изометричной формы, размер которых варьируется

в диапазоне от 1,5 до 5,0 мкм (см. рис. 3, в, г). К особенностям морфологии частиц следует отнести присутствие остроугольных сколов, которые образуются в процессе помола. Присутствует также второй тип частиц, характеризующийся пластинообразной изометричной формой (размер от долей до 1,0 мкм). Характеристика СМАЛОКС-А и МВГЦ приведена в табл. 1.

В качестве дефлокулянтов использовали два вида полифосфатов: ГМФ марки Budal Na 623 (Chemische Fabrik Budenheim KG, Германия) и ТПФ (предприятие «Альфахим плюс», Россия), а также лимонную кислоту квалификации х. ч. (предприятие «Реахим», Россия). Дефлокулянты на основе ПКЭ были предоставлены для испытаний ГК «Синтез ОКА». В табл. 2 приведены физико-химические показатели разных марок дефлокулянтов. Кроме того, в работе использовали зарубежные дефлокулянты на основе ПКЭ Peramin® AL 200 и Peramin® AL 300 (P-AL 200 и P-AL 300) в соотношении 1 : 1.

Количественный состав модельной функциональной матричной смеси, т. е. соотношение СМАЛОКС-А и МВГЦ, рассчитывали следующим образом. Содержание матрицы в огнеупорных литейных массах составляет 25–35 %, а крупных зерен заполнителя 65–75 %, т. е. в среднем 30 и 70 % соответственно [3, 19]. При этом среднее содержание ВГЦ в низкоцементных массах 6 %. Отсюда модельная ФМС с учетом вышеприведенных данных нами была принята в массовом соотношении СМАЛОКС-А : МВГЦ = 80 : 20.

Таблица 1. Характеристика СМАЛОКС-А и МВГЦ

Показатель	СМАЛОКС-А	МВГЦ
<i>Химический состав, мас. %</i>		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	99,68	70,50
SiO <sub>2</sub>	0,02	0,28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	0,15
CaO	0,02	27,85
TiO <sub>2</sub>	–	0,12
Na <sub>2</sub> O	0,12	0,17
<i>Фазовый состав, мас. %</i>		
α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Не менее 98	–
Моноалюминат CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	65,0
Диалюминат (CaO·2Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	–	35,0
<i>Гранулометрический состав, мкм</i>		
D <sub>20</sub>	0,9	1,5
D <sub>50</sub>	2,4	5,4
D <sub>90</sub>	8,3	22,5
Субмикронная фракция (≤ 1 мкм), %	22,5	7,5
Текстурная характеристика:		
S <sub>уд</sub> (по БЭТ), м <sup>2</sup> /г	1,4	0,41

Таблица 2. Физико-химические показатели ПКЭ

Марка ПКЭ (аббревиатура)	Содержание основного вещества, мас. %	Плотность, г/см <sup>3</sup> , при 20 °С	Вязкость, сПз, при 20 °С	pH при 20 °С
Синтефлоу Мега 50 (М 50)	50±1,0	1,10±0,01	500±100	3,5±1,0
Синтефлоу Мега 52 (М 52)	50±1,0	1,10±0,01	450±100	3,5±1,0
Синтефлоу Мега 70 (М 70)	50±1,0	1,10±0,01	500±100	3,5±1,0
Синтефлоу ДУО 60 (ДУО 60)	50±1,0	1,10±0,01	500±100	3,5±1,0
Синтефлоу Сенситив 50 (С 50)	50±1,0	1,10±0,01	500±100	3,5±1,0
Синтефлоу ДМ 50 (ДМ 50)	95,0±1,0	350–450	Не более 5	5,0–7,0

Согласно литературным данным [6, 7, 11, 14], содержание полифосфатов в литейных массах составляет в среднем 0,03–0,05 %, что соответствует примерно 0,1 % массы матричной смеси. В настоящей работе дозировка полифосфатов принята равной 0,1 и 0,25 % массы ФМС. Во всех случаях в литейные массы добавляли лимонную кислоту (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>·H<sub>2</sub>O) квалификации х. ч. в количестве 0,1 %.

Оптимальное количество ПКЭ в огнеупорных литейных массах согласно литературным данным составляет 0,10–0,15 %, что для матричной смеси соответствует примерно 0,34 мас. % [4, 5, 20]. В настоящем исследовании с учетом литературных данных и рекомендаций ГК «Синтез ОКА» приняты концентрации ПКЭ разных марок, приведенные ниже:

Марка ПКЭ (аббревиатура, см. табл. 2) Дозировка ПКЭ, %
М 50.....0,17 и 0,34
М 52.....0,17 и 0,34
М 70.....0,17 и 0,34
ДУО 60.....0,19 и 0,38
С 50.....0,21 и 0,42
ДМ 50.....0,17 и 0,34
P-AL 200 + P-AL 300.....0,17 и 0,34

Следует отметить, что дефлокулянты ДМ 50 (дегидратированная форма М 50) и P-AL 200 + P-AL 300 представляли собой сухие порошки, остальные — водные растворы ПКЭ.

Суспензии МВГЦ, СМАЛОКС-А и ФМС готовили следующим образом. Навески порошков, рассчитанные с учетом получения объема суспензии 120–150 см<sup>3</sup>, переносили в пластиковый стакан на 300 см<sup>3</sup> и перемешивали в течение 1 мин. Далее добавляли требуемое количество раствора или порошка дефлокулянта и перемешивали 3 мин до получения гомогенной суспензии. При введении сухого дефлокулянта в матричную суспензию его заданное количество предварительно растирали с небольшой частью порошка ФМС или ее компонентов.

Текучесть литейных систем МВГЦ, СМАЛОКС-А и ФМС оценивали по времени истечения 100 мл суспензии на вискозиметре Энглера с выходным отверстием диаметром 5,4 мм. Перед испытанием суспензию перемешивали стеклянной палочкой, переливали в сосуд вискозиметра и выдерживали в состоянии покоя в течение 30 с. Затем открывали выпускное от-

верстие и по секундомеру фиксировали время истечения 100 мл суспензии ( $\tau_0$ ). Выполняли не менее трех параллельных измерений. Аналогичные испытания проводили для суспензии после выдержки в вискозиметре в течение 30 мин и определяли вторую текучесть ( $\tau_{30}$ ). Затем рассчитывали коэффициент загустеваемости:  $KЗ = \tau_{30}/\tau_0$ .

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как было показано выше, дефлокулянты влияют не на весь состав огнеупорной литейной массы, а только на ее тонкодисперсные компоненты. Поэтому изучение текучности и влияния дефлокулянтов разного типа было проведено в отношении ФМС, а также отдельных компонентов тонкодисперсного активированного глинозема (СМАЛОКС-А) и высокоглиноземистого цемента (МВГЦ).

На первом этапе оценивали текучесть суспензий МВГЦ влажностью 22 %, дефлокулированных диспергирующими агентами на основе ПКЭ. У эталонной суспензии с аналогичной влажностью текучесть отсутствует. Результаты испытаний показаны на рис. 4. Добавка поликарбоксилатных дефлокулянтов всех марок в разной степени снижает вязкость суспензий МВГЦ. Из гистограммы видно (см. рис. 4), что для всех дисперсантов с повышением их концентрации вязкость снижается, за исключением С 50. Для

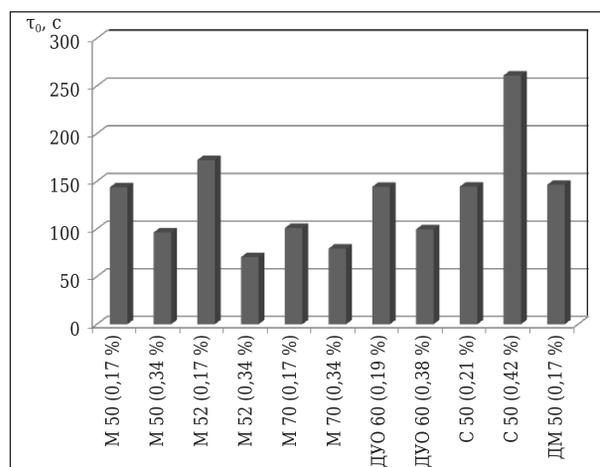


Рис. 4. Текучесть суспензий МВГЦ, дефлокулированных добавками ПКЭ

С 50  $\tau_0$  при дозировке 0,42 % в 1,8 раза выше, чем при дозировке 0,21 %. Наилучшая текучесть достигнута при введении дефлокулянта М 52 (71 с) при дозировке 0,34 %. Для М 50 и его дегидрированного аналога ДМ 50 при концентрации 0,17 % значение  $\tau_0$  практически одинаково.

Следует отметить, что через 30 мин в результате седиментации твердых частиц происходило образование плотного осадка, и измерение текучести суспензий МВГЦ было практически невозможным. Образцы МВГЦ с добавкой полифосфатов в комбинации с лимонной кислотой при данной влажности, как и эталонная суспензия, не обладают текучестью.

Аналогично проведена оценка влияния дефлокулянтов на текучесть водных суспензий реактивного глинозема СМАЛОКС-А влажностью 20 % (рис. 5). В качестве эталона принята текучесть суспензии СМАЛОКС-А без дефлокулянта, для которой значения  $\tau_0$  и  $\tau_{30}$  равны соответственно 211,9 и 377,8 с ( $K_3 = 1,78$ ). Введение добавок полифосфатных и поликарбоксилатных дефлокулянтов существенно улучшает текучесть суспензий СМАЛОКС-А (в 4–8,5 раза). Из полифосфатных дефлокулянтов наибольший эффект проявляет ГМФ. Для ГМФ и ТПФ повышение количества вводимых добавок не оказывает заметного воздействия на текучесть. Так, для ГМФ концентраций 0,10 и 0,25 %  $\tau_0$  составляет 34 и 44 с соответственно.

В целом добавки ПКЭ показали большую эффективность по сравнению с полифосфатами. Максимальный и сопоставимый эффект улучшения текучести был достигнут при использовании ПКЭ марок М 52 (0,17 %), М 52 (0,34 %), М 70 (0,34 %) и ДУО 60 (0,38 %) — 29, 26, 26 и 25 с соответственно. Повышение дозировки М 50 и ДУО 60 снижает вязкость суспензий СМАЛОКС-А в 1,6 и 1,8 раза соответственно. Для других дефлокулянтов на основе ПКЭ количество вводимой добавки не оказывает значительного воздействия на текучесть. ПКЭ Р-АЛ

200 + Р-АЛ 300 показали наибольшую текучесть при концентрации 0,34 % ( $\tau_0 = 32$  с), что примерно в 1,3 раза ниже, чем у ПКЭ марки ДУО 60 (0,38 %).

Следует отметить также близость к единице значений  $K_3$  всех изученных марок ПКЭ (рис. 6). Это свидетельствует о полной реологической стабилизации суспензий СМАЛОКС-А влажностью 20 % в течение 30 мин в диапазоне всех изученных концентраций ПКЭ.

Далее исследовали влияние всех марок дефлокулянтов на текучесть матричных суспензий состава СМАЛОКС-А и МВГЦ влажностью 20 % в соотношении 80 : 20. Образцы ФМС, изготовленные без добавки дисперсантов, представляли собой пасты с высокой вязкостью. Дефлокулирующее действие на текучесть водных матричных суспензий полифосфатов влажностью 20 % и разных марок ПКЭ показано на рис. 7. Видно, что добавки ГМФ и ТПФ проявляют разжижающую способность по отношению к матричным суспензиям. Для ГМФ увеличение концентрации до 0,25 % повышает текучесть в 1,5 раза (от 60 до 41 с). Суспензия с добавкой ТПФ в этом же интервале концентраций имеет примерно одинаковые значения  $\tau_0$  (53 и 52 с соответственно), а максимальная загустеваемость отмечена при дозировке 0,25 % ( $K_3 = 3,2$ , рис. 8). Для ГМФ аналогичной концентрации также наблюдается увеличение  $K_3$  суспензий (до  $K_3 = 1,2$ ).

Результаты исследований диспергирующей способности ПКЭ показали более высокий дефлокулирующий эффект всех добавок по отношению к матричным суспензиям влажностью 20 %: значения  $\tau_0$  варьируется в диапазоне 22,2–28,8 с. Следует отметить существенное влияние концентрации добавок на величину  $K_3$  (см. рис. 8). Так, при низких концентрациях дефлокулянтов значения  $K_3$  изменяются в узком интервале (3,0–3,6). Повышение количества добавок препятствует процессу загустеваемости суспензий в течение 30 мин, что подтверждается снижением  $K_3$  ма-

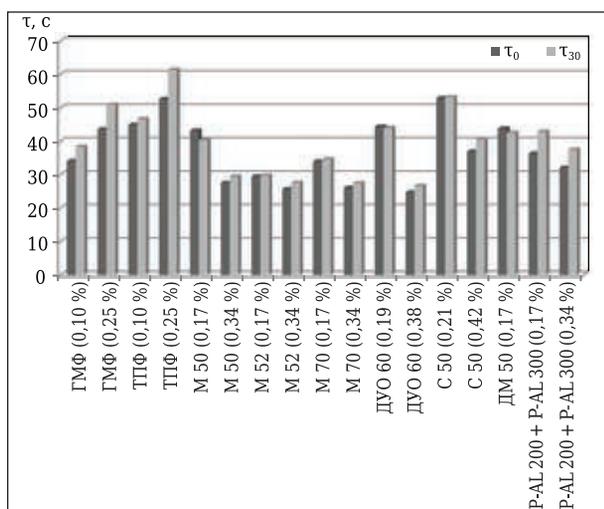


Рис. 5. Текучесть суспензий СМАЛОКС-А, дефлокулированных полифосфатными агентами и добавками ПКЭ

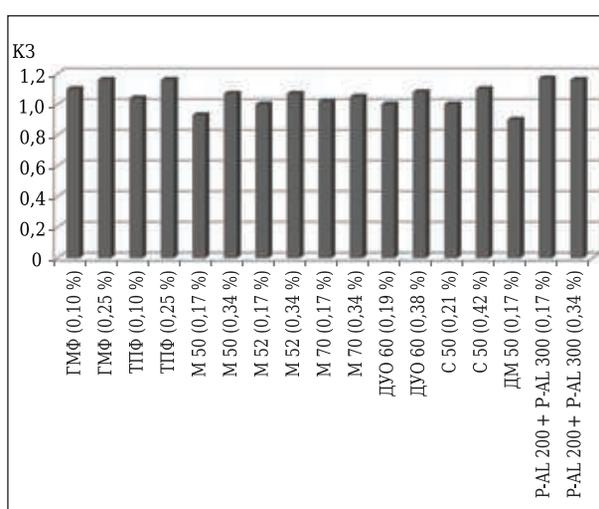


Рис. 6.  $K_3$  суспензий СМАЛОКС-А, дефлокулированных полифосфатными агентами и добавками ПКЭ

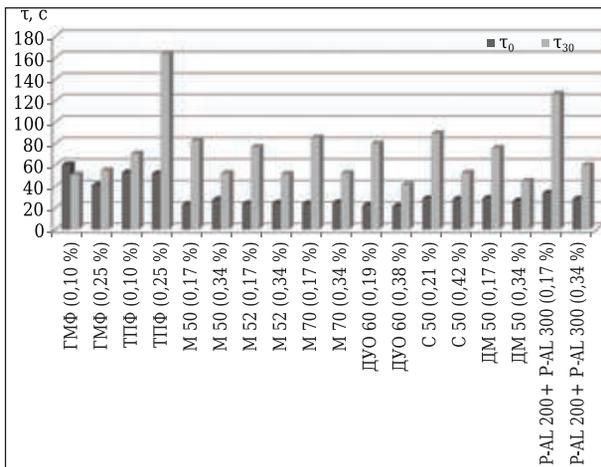


Рис. 7. Текучесть суспензий ФМС, дефлокулированных полифосфатами и разными марками ПКЭ

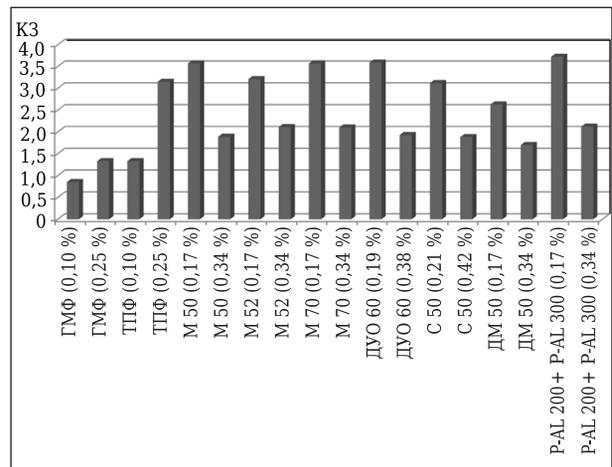


Рис. 8. КЗ суспензий ФМС, дефлокулированных полифосфатами и разными марками ПКЭ

тричных суспензий. Максимальное значение КЗ наблюдается у ФМС с добавками ДУО 60 (0,19 %) и С 70 (0,17 %), оно равно 3,59 и 3,59 соответственно. Повышение концентрации этих дефлокулянтов до 0,34 % обуславливает снижение КЗ до 2,1 (в 1,7 раза). В целом аналогичная зависимость отмечается у всех марок ПКЭ.

Образцы с разной концентрацией P-AL 200 + P-AL 300 показали сопоставимую эффективность по сравнению с ПКЭ отечественного производства. Значения текучести ФМС при повышении концентрации дефлокулянта практически не изменяются. Показатель  $\tau_0$  для суспензий с добавкой P-AL 200 + P-AL 300 0,17 и 0,34 % составляет 25 и 29 с соответственно. При увеличении количества добавки КЗ возрастает.

Сравнительный анализ дефлокулирующего действия полифосфатов и ПКЭ показал, что поликарбоксилатные дисперсанты оказывают более сильное диспергирующее действие на матричные суспензии (в 1,8–2 раза). Например,  $\tau_0$  для ФМС с добавками ДУО 60 (0,38 %) и ГМФ (0,25 %) составляет 22 и 41 с. В целом наилучший разжижающий эффект показал ДУО 60: при концентрациях 0,19 и 0,38 %  $\tau_0$  составляла 22,2 и 21,5 с соответственно.

У суспензий МВГЦ и СМАЛОКС-А при добавке ПКЭ в течение 30 мин загустеваемость практически отсутствует. Это связано с полной стабилизацией литейных систем в изученном интервале концентраций ПКЭ. Загустеваемость матричных суспензий в большей степени связана с процессами гидратации кальцийалюминатного цемента, который взаимодействует с водой, в результате чего происходит образование высокодисперсных гидратных фаз. Это приводит к коагуляции гидродисперсий. Макромолекулы ПКЭ при контакте с водной средой растворяются, адсорбируются на тонкодисперсных минеральных частицах СМАЛОКС-А и МВГЦ и блокируют взаимодействие цемента с водой. В связи

с этим образование гидратных фаз и процессе коагуляции протекает медленнее.

Для матричных смесей при выбранном соотношении СМАЛОКС-А : МВГЦ = 80 : 20 большая часть межфазной поверхности приходится на частицы СМАЛОКС-А. С учетом удельной поверхности каждого из компонентов вклад СМАЛОКС-А в общую поверхность в матричной системе примерно 90 %. Поэтому при растворении ПКЭ его молекулы в большей степени адсорбируются на частицах СМАЛОКС-А; оставшаяся часть молекул сорбируется на частицах МВГЦ. При высоких концентрациях ПКЭ молекул дефлокулянта достаточно для блокирования частиц цемента. Как следствие, это приводит к замедлению процессов гидратации МВГЦ и уменьшению загустеваемости в течение первых 30 мин. При малых концентрациях ПКЭ молекул дефлокулянта уже не хватает для полного блокирования частиц цемента, что интенсифицирует гидратацию и последующую коагуляцию. Последнее объясняет рост коэффициента загустеваемости для таких систем. Для матричных суспензий, дефлокулированных полифосфатами, в которых молекулы имеют линейную структуру и реализуется только электростатический механизм диспергации, вышеприведенные закономерности не наблюдаются.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

◆ Добавки всех исследуемых коммерческих марок дефлокулянтов в разной степени снижают вязкость суспензий тонкодисперсного глинозема, в то время как хорошая диспергация суспензий МВГЦ достигается только при введении ПКЭ.

◆ Установлен более высокий дефлокулирующий эффект добавок ПКЭ по отношению к суспензиям матричных смесей на основе реактивного глинозема СМАЛОКС-А и высокоглиноземистого цемента. Комплексный зарубежный дефлокулянт Peramin® AL 200 + Peramin® AL 300 показал сопоставимую эффективность с ПКЭ отечественного производства.

♦ У суспензий МВГЦ и СМАЛОКС-А, дефлокулированных добавками ПКЭ, в течение 30 мин загустеваемость практически отсутствует. Это можно объяснить почти полной агрегативной стабилизацией литейных систем в изученном интервале концентраций ПКЭ.

♦ Повышенные значения коэффициента загустеваемости суспензий ФМС при концентрациях ПКЭ 0,17 мас. % обусловлены, по нашему мнению, интенсивно протекающими процессами гидратации кальцийалюминатного цемента. В результате этого происходят образование высокодисперсных гидратных фаз и коагуляция гидродисперсий. При введении ПКЭ в количестве 0,34 мас. % молекул дефлокулянта достаточно

как для адсорбции на частицах СМАЛОКС-А, так и для блокирования поверхности частиц цемента. Как следствие, это приводит к замедлению процессов гидратации МВГЦ и уменьшению загустеваемости в течение первых 30 мин.

\* \* \*

Работа выполнена в НИУ БелГУ при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения от 14.12.2020 г. № 075-11-2020-038 о реализации комплексного проекта «Создание импортозамещающего производства компонентов матричных систем и теплотехнических композиционных материалов нового поколения на их основе» согласно Постановлению Правительства РФ от 09.04.2010 г. № 218.

### Библиографический список

1. **Schnabel, M.** Benefit of matrix alumina and modern dispersing systems in low cement castables / *M. Schnabel, A. Buhr, R. Kockeey-Lorenz* [et al.] // *Interceram — Refractories Manual*. — 2014. — Vol. 63, № 6. — P. 281–285.
2. **Samanta, A. K.** Studies on flow behavior of low cement castables in presence of different reactive alumina and microsilica / *A. K. Samanta, S. Satpathy, S. Adak, A. K. Chattopadhyay* // 56th International Colloquium on Refractories «Refractories for Industrials», 2013. — P. 2–6.
3. **Пивинский, Ю. Е.** Керамические и огнеупорные материалы : избр. тр. Т. 2 / *Ю. Е. Пивинский*. — СПб. : Стройиздат СПб., 2003. — 668 с.
4. **Demidova-Buizine, I.** Effect of amount of deflocculant on change in physicomechanical properties of medium-cement heat-resistant concretes during drying and heat treatment / *I. Demidova-Buizine, I. Pundiene* // *Refract. Ind. Ceram.* — 2014. — Vol. 55, № 2. — P. 121–127.
5. **Sarkar, R.** Study on the effect of deflocculant variation in high-alumina low-cement castable / *R. Sarkar, A. D. Samant* // *Interceram : Int. Ceram. Rev.* — 2016. — Vol. 28, № 7. — P. 28–34.
6. **Goberis, S.** The effect of sodium tri-polyphosphate on the properties of medium cement refractory castables based on Gorkal-40 cement / *S. Goberis, L. Pundiene, V. Antonovich* // *Refract. Ind. Ceram.* — 2005. — Vol. 46, № 6. — P. 403–408.
7. **Гоберис, С.** Исследование влияния триполифосфата натрия на свойства среднецементного жаростойкого бетона на цементе Gorkal-40 / *С. Гоберис, Л. Пундиене, В. Антонович* // *Новые огнеупоры*. — 2005. — № 11. — С. 32–37.
8. **Вакуленко, И. А.** Влияние триполифосфата натрия на свойства низкоцементных бетонов / *И. А. Вакуленко, В. В. Песчанская, Н. В. Шебанова, В. Г. Чистяков* // *Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск «Химия, химтехнология и экология»*. — 2007. — № 26. — С. 58–61.
9. **Davies, J.** The role of ammonium polyacrylate in dispersing concentrated alumina suspensions / *J. Davies, J. G. P. Binner* // *J. Eur. Ceram. Soc.* — 2000. — Vol. 20. — P. 1539–1553.
10. **Hommer, H.** The effect of organic deflocculants in castables / *H. Hommer, K. Wutz* // *Proceedings of the Technical Association of Refractories*. — 2006. — Vol. 58, № 5. — P. 248–255.
11. **Von Seyerl, J.** Use of polycarboxylate ethers to improve workability of castables / *J. Von Seyerl* // *Ceram. Forum Int.* — 2007. — Vol. 9. — P. 46–49.
12. **Otroj, S.** Impact of dispersants on the mechanical strength development of alumina-spinel self-floing

refractory castables / *S. Otroj, M. R. Nilforushan, A. Daghighi, R. Marzban* // *Ceramics – Silikáty*. — 2010. — Vol. 54, № 3. — P. 284–289.

12. **Пивинский, Ю. Е.** Диспергирующие (дефлокулирующие) глиноземы / *Ю. Е. Пивинский, П. В. Дякин, П. В. Дякин* // *Новые огнеупоры* — 2004. — № 3. — С. 29–38.
13. **Kockeey-Lorenz, R.** The value of additives in refractory castables. Part 1. Castables without silica fume / *R. Kockeey-Lorenz, A. Buhr, D. Schmidtmeier* [et al.] // *Refractories Worldforum*. — 2014. — Vol. 6. — P. 76–79.
14. **Пиц, И. В.** Влияние разжижающих добавок на реологические свойства керамических шликеров / *И. В. Пиц, Ю. А. Климош, Е. В. Габалов* // *Труды БГТУ. Химия и технология неорганических веществ*. — 2013. — № 3. — С. 106–109.
15. **Labanda, J.** Improvement of the deflocculating power of polyacrylates in ceramic slips by small additions of quaternary ammonium salts / *J. Labanda, J. Llorens* // *Powder Technology*. — 2005. — № 155. — P. 181–186.
16. **Тарасов, В. Н.** Оценка эффективности применения поликарбоксилатных суперпластификаторов для производства бетона / *В. Н. Тарасов, Б. В. Гусев, С. Ю. Петрунин* [и др.] // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. — 2018. — Т. 4, № 1. — С. 1–12.
17. **Трубицын, М. А.** Исследование влияния технологических параметров на гранулометрические характеристики субмикронного оксида алюминия в α-форме / *М. А. Трубицын, Н. А. Воловичева, Л. В. Фурда, Н. С. Скрыпников* // *Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова*. — 2021. — Т. 6, № 12. — С. 84–97.
18. **Трубицын, М. А.** Влияние режимов термообработки на процесс синтеза кальцийалюминатных фаз в технологии особо чистого высокоглиноземистого цемента / *М. А. Трубицын, М. Н. Япрынцева, Л. В. Фурда* [и др.] // *Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова*. — 2022. — Т. 7, № 2. — С. 84–93.
19. **Шнабель, М.** Улучшение свойств огнеупорных бетонов за счет модификации матрицы / *М. Шнабель, А. Бур, Р. Кокегей-Лоренц, Д. Шмидтмайер, Д. Даттон* // *Новые огнеупоры*. — 2015. — № 3. — С. 91–97.
20. **Parr, C.** Additives for high purity reduced cement castables / *C. Parr, G. Assis, H. Fryda, S. Li* // *Refractories Worldforum*. — 2010. — № 2. — P. 87–91. ■

Получено 03.03.22

© М. А. Трубицын, Л. В. Фурда, Н. А. Воловичева, М. Н. Устинова, 2022 г.