

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-3-95-106

*Трубицын М.А., Воловичева Н.А., Лисняк В.В., Бондарева И.А., Морозова Н.А.,
Тарасов И.А.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

*E-mail: troubitsin@bsu.edu.ru

ОЦЕНКА ДЕФЛОКУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДИСПЕРСАНТОВ РАЗЛИЧНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Аннотация. В работе представлены результаты исследования возможности использования фотометрического метода для оценки эффективности дефлокулянтов различной химической природы. В качестве модельных систем использованы водные суспензии порошков реактивного глинозема различной дисперсности с добавкой поликарбоксилатного эфира в диапазоне концентраций от 0,05 до 0,50 мас. %. Массовая доля твердой фазы для концентрированных суспензий составляла 80 %, для разбавленных суспензий – 0,1 %. Для выявления целесообразности применения современных дисперсантов и их оптимальной концентрации разработана и апробирована фотометрическая методика оценки их дефлокулирующей активности. За основу предлагаемого нового подхода взята существующая фотометрическая методика определения мутности воды. С помощью математического анализа кинетических кривых изменения мутности 0,1 %-ных водных суспензий с использованием уравнения седиментации Стокса рассчитаны эквивалентный диаметр агрегатов частиц в случае не полностью дефлокулированных суспензий и размер отдельных частиц для полностью дефлокулированных систем. Универсальность и эффективность разработанной методики была также апробирована в отношении дефлокулянта триполифосфата натрия. Полученные данные по влиянию концентрации дефлокулянта на кинетические зависимости изменения мутности 0,1 %-ых водных суспензий глинозема были подтверждены результатами, полученными при определении текучести концентрированных водных суспензий.

Ключевые слова: дефлокуляция, минеральные порошки, дисперсанты, водные суспензии, реактивный глинозем, мутность, седиментация, фотометрия

Введение. Суспензии на основе высокодисперсных корундовых порошков находят широкое применение в производстве технической и специальной корундовой керамики, а также как ключевой компонент матричных систем в технологии низкоцементных огнеупорных литьевых масс. Основным требованием, предъявляемым к таким суспензиям, является обеспечение низкой вязкости и оптимального реологического типа течения при высоком содержании твердой фазы наряду с агрегативной и седиментационной устойчивостью.

Важнейшим инструментом, обеспечивающим достижение хороших реотехнологических характеристик суспензий, является использование эффективных дефлокулянтов. В технологии приготовления минеральных суспензий, в том числе корундового состава, применяют достаточно широкий спектр различных дисперсантов, в числе которых в настоящее время используются, прежде всего, полифосфаты [1], полиакрилаты [2, 3-6], поликарбоксилатные эфиры (ПКЭ) [2-5] и их комбинации. В ряду полифосфатов наиболее распространенными являются гексаметафосфат натрия (ГМФ) $\text{Na}_6(\text{PO}_3)_6$ и триполифосфат натрия (ТПФ) $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$.

Известны различные методологические подходы к оценке эффективности диспергаторов, которые в основном базируются на анализе кривых реологического течения, получаемых при помощи реометров разного типа, а также приборов для измерения ζ -потенциала. Использование таких методологических подходов является, по мнению авторов, достаточно трудоемким, продолжительным по времени и требующим использования дорогостоящего специализированного оборудования.

В настоящее время для изучения и контроля процессов коагуляции водных суспензий успешно применяют фотометрические методы, с помощью которых определяют размер, форму и структуру коллоидных частиц. Для определения порога коагуляции широко используется нефелометрический метод. В процессе образования агрегатов частиц изменяются индикатрисы светорассеяния, определяемые методами статического рассеяния, а также автокорреляционные функции интенсивности рассеянного света, определяемые методами динамического светорассеяния [6]. Также отмечается, что для более детальных исследований коагуляции эффективен метод, осно-

ванный на одновременном изучении статического и динамического светорассеяния [6–10]. В работе [11] продемонстрирована возможность применения электрооптического метода при изучении коагуляции жидких нанодисперсных систем, в частности, коллоидов и суспензий. Авторами использованы два электрооптических эффекта: зависящий и не зависящий от поляризации света, проходящего сквозь систему в электрическом поле. Показано, что определенные электрооптическим методом зависимости концентрации частиц от времени коагуляции в изоэлектрической точке хорошо согласуются с теорией быстрой коагуляции Смолуховского.

Как было обозначено выше, образование агрегатов из частиц в дисперсных системах меняет их оптические свойства, такие как мутность, индикатриса светорассеяния, показатель преломления. Известна методика определения мутности воды согласно ГОСТ Р 57164-2016 [12], основанная либо на регистрации рассеянного излучения, возникающего при прохождении излучения в видимой или ближней инфракрасной области спектра через пробу воды, содержащей взвешенные частицы (нефелометрический метод), либо на регистрации ослабления излучения, проходящего через пробу воды, содержащей взвеси (турбидиметрический метод). Интенсивность рассеянного

излучения зависит от длины волны падающего излучения, угла измерения, формы, оптических характеристик и гранулометрического состава частиц, взвешенных в воде. Вместе с тем, использование фотометрических методов определения мутности для оценки действия различных дефлокулянтов в минеральных суспензиях является малоизученным.

Целью настоящей работы являлось исследование возможности использования фотометрического метода для оценки эффективности дефлокулянтов различной химической природы на примере высокоглиноземистых водных суспензий.

Материалы и методы. В настоящей работе для приготовления модельных водных суспензий использовали порошки реактивного глинозема различной дисперсности (индексы образцов РГ0 и РГ1). Порошковые материалы получены методом сухого помола без присутствия добавок (образец РГ0) и в присутствии интенсификатора – полиэтиленгликоля (ПЭГ) в количестве 0,05 масс. % (образец РГ1) [13]. Минералогический состав обоих образцов представлен кристаллической фазой $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (не менее 98 масс. %), химический состав представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав порошков глинозема, мас. %

Образец	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	TiO_2	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$
РГ0	99,57	0,02	0,03	0,02	-	0,10
РГ1	99,61	0,02	0,03	0,02	-	0,10

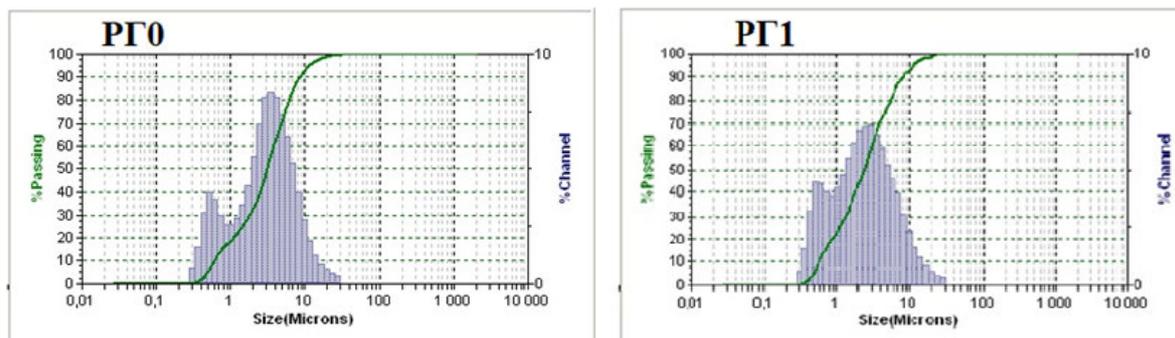
Гранулометрический состав экспериментальных порошков определяли методом лазерной дифракции с помощью анализатора «Microtrac S3500» (США). В качестве дисперсионной среды

при исследовании использовали дистиллированную воду. Перед измерением проводили ультразвуковое диспергирование пробы в дисперсионной среде в течение 30 с. Гранулометрический состав представлен в таблице 2 и на рисунке 1.

Таблица 2

Гранулометрический состав экспериментальных порошков глинозема

Образец	D_{20} , мкм	D_{50} , мкм	D_{90} , мкм	Фракция < 1 мкм, %
РГ0	1,07	2,87	8,49	20,8
РГ1	0,88	2,40	8,05	24,7

Рис. 1. Интегральные кривые и гистограммы распределения частиц в порошках $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$

Анализ рисунка 1 показал, что оба экспериментальных порошка глинозема имеют бимодальный характер распределения частиц. Максимум первой моды для исследованных образцов располагается в области 0,5–0,6 мкм, а расположение максимума второй моды фиксируется в интервале 2,0–3,0 мкм. Важным отличием образца РГ1 является более высокое (на 4,7% выше) содержание субмикронной фракции, по сравнению с РГ0 (табл. 2).

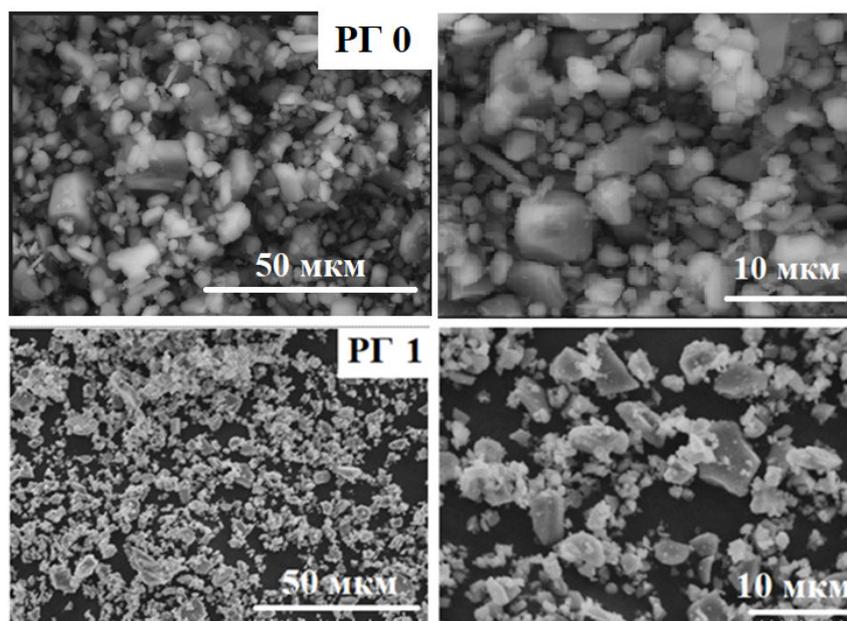


Рис. 2. СЭМ-изображения экспериментальных высокодисперсных корундовых порошков

При анализе микрофотографий установлено, что микроструктура глиноземистых порошковых продуктов сформирована дезагрегированными зернами α - Al_2O_3 . Для образцов РГ0 и РГ1 характерна четкая дифференциация частиц на 2 типа. Первую группу формируют сравнительно крупные беспористые кристаллы неправильной остроугольной формы размером от 2 до 5 мкм. Ко второму типу можно отнести округлые пластинообразные зерна размером до 1,5 мкм.

В качестве экспериментальных дефлокулянтов при приготовлении суспензий использовали добавки на основе поликарбоксилатного эфира (ПКЭ) марки Синтефлоу ДМ50 (Синтез ОКА, Россия) и триполифосфат натрия (ТПФ).

Реологические свойства водных глиноземистых суспензий оценивали по величине текучести, которую определяли как время истечения 100 мл суспензии на вискозиметре Энглера с выходным отверстием 5,4 мм. Перед испытанием суспензию перемешивали стеклянной палочкой, переливали в сосуд вискозиметра и выдерживали в состоянии покоя в течение 30 с. После этого открывали выпускное отверстие и по секундомеру фиксировали время истечения 100 мл суспензии

Для детального изучения структурно-морфологических особенностей порошков использовали метод сканирующей электронной микроскопии с использованием растрового электронного микроскопа Hitachi SU1510 (Япония). Изображения, представленные на рис. 2, получали с использованием детектора вторичных электронов. Съемку проводили при ускоряющем напряжении 15 кВ в условиях низкого вакуума (6–270 кПа). Максимальное разрешение – 4 нм.

– τ_0 . Выполняли не менее трех параллельных измерений. Аналогичные испытания проводили для суспензии после выдержки в вискозиметре в течение 30 мин и определяли вторую текучесть τ_{30} . Также по результатам определений текучести рассчитывали коэффициент загустевания (КЗ), равный отношению τ_{30}/τ_0 , который характеризует склонность суспензии к коагуляционному структурообразованию.

Величину мутности (в формазиновых единицах) разбавленных водных суспензий определяли с помощью УФ-спектрофотометра DR 6000 (НАСН, США) в автоматическом режиме по стандартной методике, встроенной в прибор. Длина волны составляла 860 нм, кювета – 50 мм.

Основная часть. Для выявления целесообразности применения современных дисперсантов и их оптимальной концентрации нами была разработана и апробирована фотометрическая методика оценки их дефлокулирующей активности. За основу предлагаемых новых подходов взята существующая фотометрическая методика определения мутности воды [12].

На первом этапе экспериментальной работы была приготовлена серия модельных водных сус-

пензий на основе порошка глинозема РГ1 с добавкой поликарбоксилатного эфира различной концентрации. В настоящей работе дозировка ПКЭ составляла: 0,05 (С005); 0,26 (С026); 0,33 (С033) и 0,50 (С05) мас.%, влажность суспензий во всех случаях – 20%. Выбор указанных концентраций ПКЭ основан на экспериментальных результатах, представленных нами в работе [14]. Суспензии готовили следующим образом. Навески порошков, рассчитанные с учетом получения объема суспензии не менее 150 см³, переносили в пластиковый стакан и перемешивали в течение 1 мин. Далее добавляли требуемое количество дистиллированной воды с растворенным поликарбоксилатным эфиром (ПКЭ) и перемешивали при помощи ручного миксера 3 мин до получения гомогенной суспензии. Также были приготовлены две контрольные суспензии: К0 – с использованием порошка РГ0 без добавки ПКЭ; К1 – с использованием порошка РГ1 без добавки ПКЭ.

Седиментация твердых частиц суспензии происходит под действием сил тяжести, чему препятствует вязкость дисперсионной среды, действующая в обратном направлении [14, 15]. При достижении равновесия этих двух составляющих твердые частицы одинакового размера начинают перемещаться с постоянной скоростью, и скорость их седиментации в этом случае описывается уравнением Стокса (1):

$$v = \frac{g(\rho_2 - \rho_1)d^2}{18\eta}, \quad (1)$$

где η – вязкость среды; v – скорость движения частицы d – диаметр частицы, ρ_2 – плотность частицы; ρ_1 – плотность среды; g – ускорение силы тяжести. Однако использование данного уравнения возможно при соблюдении условий применения закона Стокса к изучаемой системе:

- скорость оседания частицы должна быть постоянной. Это условие практически соблюдается для частиц размером от 0,1 до 100 мкм;
- частицы должны быть твердыми и иметь сферичную форму;
- суспензии должны быть мало концентрированными (ω твердой фазы – менее 1%) с целью минимизации межчастичного взаимодействия;
- осаждение частиц должно проходить в ламинарном режиме.

С учетом выполнения вышеуказанных требований для использования закона Стокса в методике, приготовленные концентрированные суспензии разбавляли дистиллированной водой до содержания твердой фазы 0,1%. В полученных системах определяли величину мутности через определенные промежутки времени.

В используемом приборе (фотометр DR 6000 (НАСН)) размер сечения выходного отверстия составляет 10×10 мм. Таким образом, световой поток, проходящий через измерительную кювету, будет иметь аналогичные размеры (рис. 3).

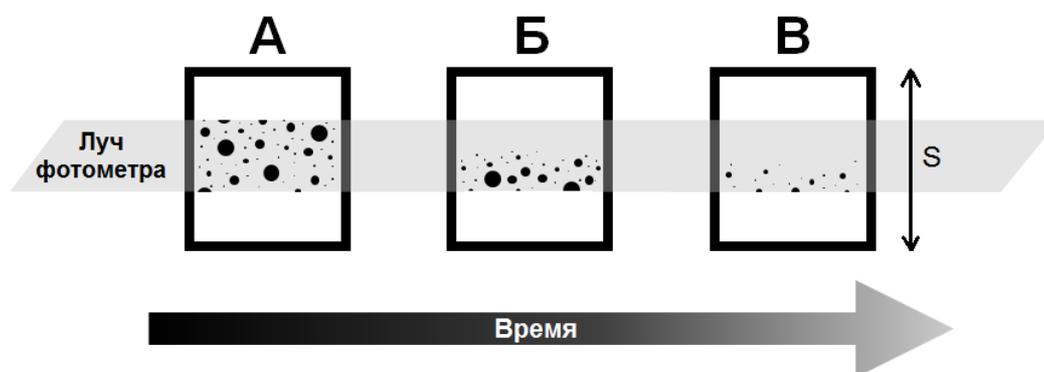


Рис. 3. Схематическое изображение процесса измерения мутности водных глиноземистых суспензий

В данном случае процесс измерения мутности будет возможен только при условии нахождения дисперсных частиц глинозема в поле проходящего светового потока. В момент начала измерения мутности фронт движущихся частиц будет соответствовать верхней границе светового потока (рис. 3А). Далее величина мутности начинает снижаться за счет постепенного осаждения частиц (рис. 3Б), а окончание фиксации изменения мутности будет соответствовать нижней границе фронта частиц (рис. 3В). Отсюда следует, что трек перемещения частиц дисперсной фазы S , когда возможна их фиксация в режиме мутности,

составляет 10 мм. После этого процесс седиментации происходит ниже границы светового потока и поэтому величина мутности не может быть зафиксирована. Полученные кривые изменения величины мутности представлены на рис. 4.

Выявлено, что для суспензии К0 наблюдается наиболее быстрое снижение величины мутности. Об этом свидетельствует резкий ниспадающий ход кривой, особенно, в первые 15 минут эксперимента. По мнению авторов, это связано с агрегацией высокодисперсных частиц твердой фазы, что, в свою очередь, приводит к образованию более крупных флюкул, оседающих с большей скоростью.

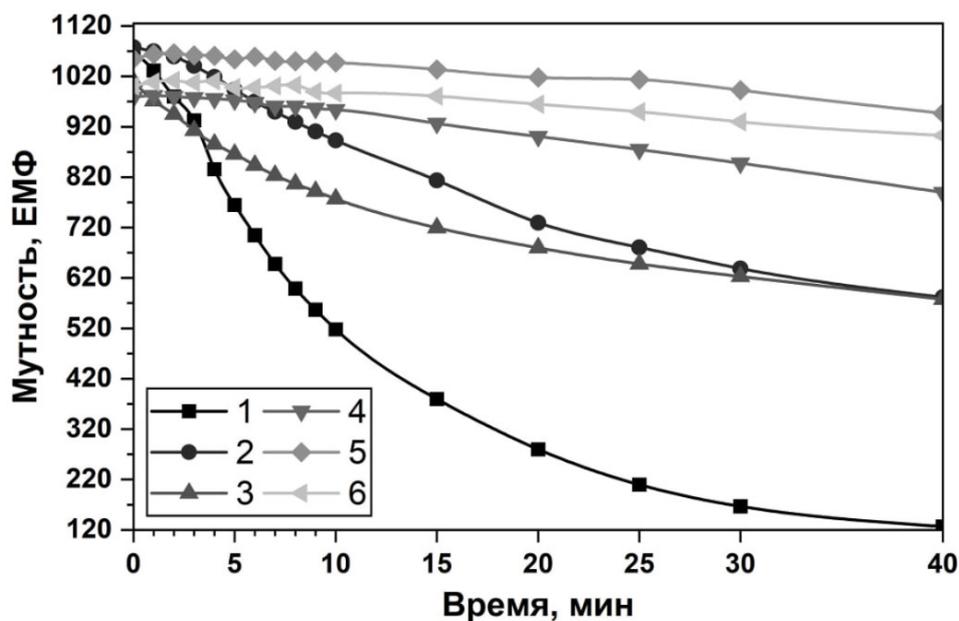


Рис. 4. Кинетические зависимости изменения величины мутности 0,1 % водных суспензий глинозема: 1 – К0; 2 – К1; 3 – С005; 4 – С026; 5 – С033 и 6 – С05

Также установлено, что интенсификатор ПЭГ, вводимый при помоле корунда, оказывает определенное дефлокулирующее действие и повышает седиментационную устойчивость водных суспензий (кривая К1). Дополнительное введение в водную суспензию РГ1 дисперсанта ПКЭ в количестве 0,05 % (кривая С005) не оказывает существенного дефлокулирующего действия и практически не влияет на седиментационную устойчивость суспензии. Это хорошо заметно при анализе хода кривых К1 и С005, который практически идентичен. Данный факт объясняется тем, что количества макромолекул введенного ПКЭ недостаточно для формирования стерической оболочки, а дезагрегация высокодисперсных зерен глинозема обусловлена, в большей степени, молекулами ПЭГ, которые адсорбировались на частицы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ в процессе помола.

Увеличение концентрации ПКЭ в суспензии до 0,26 % (С026) существенно замедляет скорость осаждения частиц твердой фазы, о чем свидетельствует плавный ход кривой снижения мутности. Для полностью дефлокулированных суспензий (С033 и С05) величина мутности изменяется крайне медленно, ход кинетических кривых практически параллелен оси абсцисс.

На полученных кривых можно выделить участки, которые носят практически линейный характер. То есть, могут быть линеаризованы посредством уравнения прямолинейной графической зависимости. На основе сопоставительного анализа данных рисунка 4 можно выделить кривые, которые имеют близкий характер изменения мутности с течением времени. Поэтому далее кинетические зависимости мутности исследуемых

суспензий были сгруппированы по данному признаку (рис. 5).

На кривых выделены отрезки АБ, максимально отвечающие линейной зависимости. Далее каждый линейный участок был описан уравнением прямой, исходя из критерия, что коэффициент аппроксимации R^2 соответствует условию $R^2 \geq 0,96$. Выбранный участок описывали уравнением прямой вида $y=kx+b$. Физический смысл коэффициента k в уравнении – скорость изменения мутности. В свою очередь, скорость изменения мутности, в данном случае, прямо пропорциональна скорости седиментации частиц глинозема, которая согласно уравнению Стокса, определяется их плотностью и размером (ρ и d). В данном исследовании плотность твердой фазы является величиной постоянной, а варьируется только средний эквивалентный размер частиц как следствие их агломерации.

В полностью дефлокулированных суспензиях РГ1 присутствуют частицы с эквивалентным диаметром, соответствующим первой и второй модам (0,5 и 2,8 мкм). Скорость осаждения $v_{теор}$, рассчитанная по уравнению Стокса, для частиц первой моды – 0,05 мм/мин; для второй моды – 1,5 мм/мин. Реальное значение скорости седиментации v_p находили с учетом фактора формы для округлых частиц равного 0,7 из выражения $v_p = 0,7 \cdot v_{теор}$. Таким образом, v_p для частиц первой моды составляет 0,035 мм/мин, а второй моды – 1,05 мм/мин. Соответственно, расчетное время прохождения измерительного трека S из выражения $\tau = S/v_p$ частицами 1 моды равно 286 мин., а 2 моды – 9,5 мин.

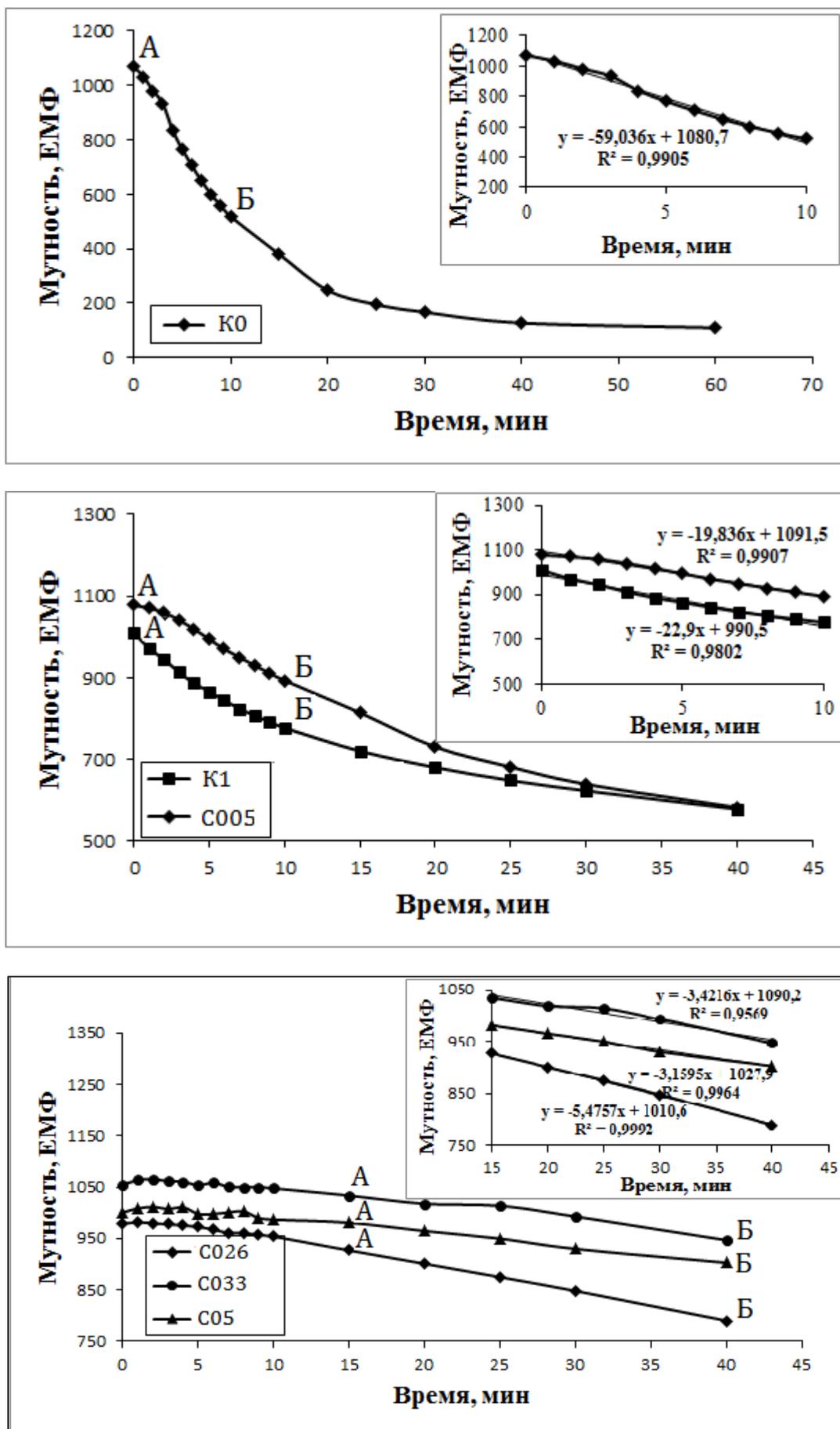


Рис. 5. Линеаризованные кинетические зависимости изменения величины мутности суспензий глиозема

При дальнейших расчетах исходили из наличия прямопропорциональной зависимости между скоростью изменения мутности (v_m) и скоростью седиментации (v_c) для одного типа частиц, т.е. $v_m = a \cdot v_c$, где a – коэффициент пропорциональности.

Поскольку размер частиц в дефлокулированной суспензии известен, то справедливо будет следующее соотношение:

$$\frac{v_{ca}}{v_{cd}} = \frac{v_{ma}}{v_{md}} = \frac{d_a^2}{d_d^2} \quad (2)$$

где d_a – эквивалентный диаметр агрегированных частиц в недефлокулированной суспензии, d_d^2 – эквивалентный диаметр дефлокулированных частиц, а v_{ca} , v_{ma} и v_{cd} , v_{md} – скорости изменения седиментации и мутности для агрегированных и дефлокулированных частиц, соответственно.

Отсюда эквивалентный диаметр агрегатов в недефлокулированной суспензии будет равен

$$d_a = \sqrt{\frac{v_{ma}}{v_{md}} \cdot d_d^2} \quad (3)$$

Пример расчета эквивалентного диаметра агрегатов для суспензии, которая была пригото-

влена на основе порошка РГ0 без введения дефлокулирующих добавок как при помоле, так и при приготовлении суспензии (К0) приведен ниже.

Исходя из коэффициента k в уравнении прямой, $v_{ма}$ для этой суспензии равно 59,036 ЕМФ/мин.

Скорость изменения мутности $v_{мд}$ для моды 0,5мкм в полностью дефлокулированной суспензии равна 3,159 ЕМФ/мин.

Тогда отношение скоростей равно 18,7, а эквивалентный диаметр агрегатов d_a составляет:

$$d_a = \sqrt{18,7 \cdot 0,5^2} = 2,16 \text{ мкм}$$

Зная параметр d_a и формулу для расчета объема сферической частицы $V = \frac{\pi \cdot d^3}{6}$, можно рассчитать количество частиц n , формирующих агрегат:

$$n = \frac{V_a}{V_{0,5}} = \frac{d_a^3}{d_{0,5}^3} = \frac{2,16^3}{0,5^3} = 65$$

Для остальных суспензий с различной концентрацией дефлокулянта расчеты проводили аналогичным образом. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3

Расчетные значения эквивалентного диаметра агрегатов и количества образующих их частиц

Индекс суспензии	Параметр		
	$\frac{v_{ma}}{v_{md}}$	Эквивалентный диаметр агрегатов d_a , мкм	Количество частиц первой моды 0,5 мкм, слагающих агрегат
К0	18,7	2,16	65
К1	7,2	1,35	20
С005	6,3	1,25	16
С026	1,7	0,66	2
С033	1,1	0,52	1
С05	1,0	0,5	1

Таким образом, с увеличением концентрации дефлокулянта в суспензии, размер агрегатов уменьшается пропорционально числу частиц, слагающих этот агломерат. В исходной концентрированной суспензии (80 % тв. фазы) агрегаты образуют трехмерную сетку (рис 6), внутри которой иммобилизуется определенный объем воды,

не участвующий в обеспечении подвижности системы. Как результат, в состоянии покоя система переходит в псевдотвёрдое состояние, прочность которого определяется пределом текучести. А сама суспензия приобретает ярко выраженный тиксотропный тип течения.

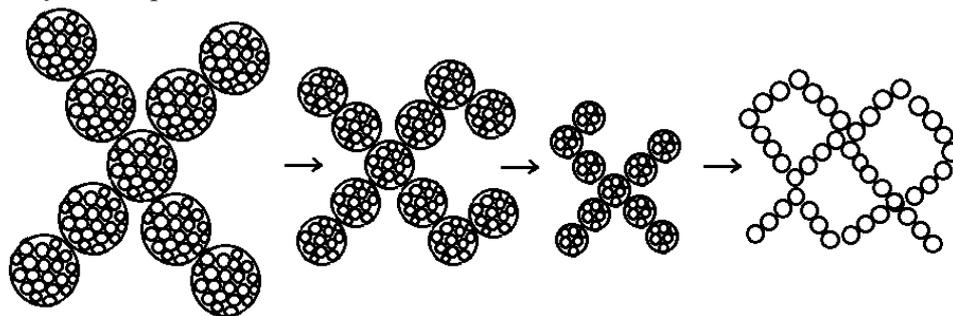


Рис. 6. Схематическое изображение трехмерной сетки агрегированных частиц при переходе от недефлокулированной к полностью дефлокулированной суспензии

Полученные данные в полной мере коррелируют с результатами, полученными при анализе текучести концентрированных водных суспензий РГ-1 с аналогичными концентрациями дефлокулянта. Для всех экспериментальных суспензий было проведено определение их времени

истечения на вискозиметре Энглера – τ_0 и τ_{30} , а также коэффициента загустевания (рис. 7). Стоит отметить, что время истечения суспензии на основе РГ0 удалось определить лишь при влажности 23 %. Полученные результаты составили: $\tau_0 = 206$ сек, $\tau_{30} = 318$ сек, $K_3 = 1,54$.

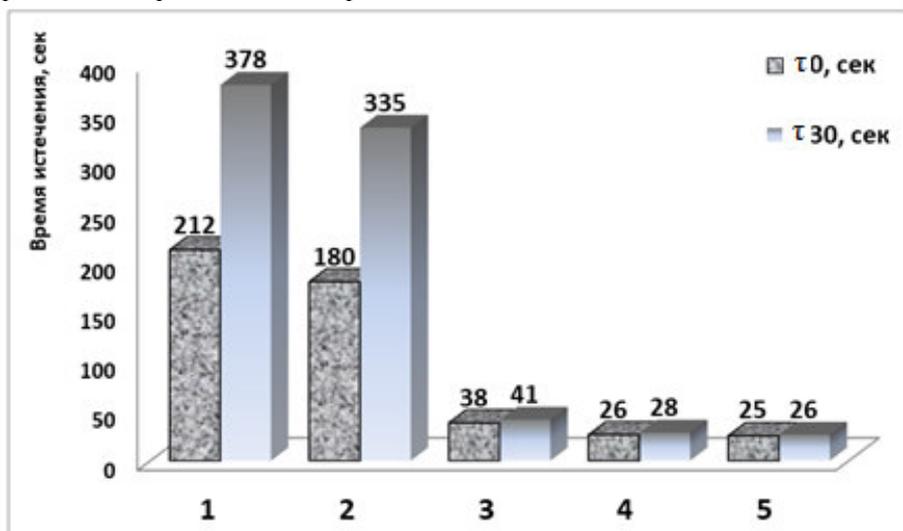


Рис. 7. Влияние концентрации ПКЭ на текучесть водных суспензий порошка РГ-1 (влажность 20 мас.%): 1 – без введения ПКЭ (К1); 2 – 0,05% ПКЭ (С005); 3 – 0,26% ПКЭ (С026); 4 – 0,33 % ПКЭ (С033) и 5 – 0,50% ПКЭ (С05)

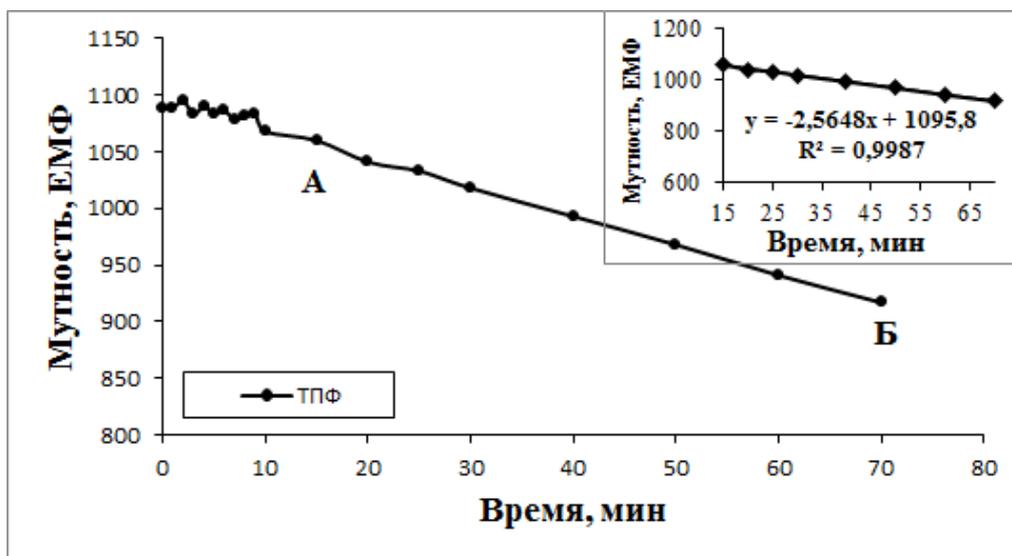


Рис. 8. Кинетическая зависимость изменения величины мутности 0,1% водных суспензий глинозема с дефлокулянтом ТПФ

Введение в систему 0,05 % ПКЭ не обеспечивает заметного улучшения текучести по сравнению с суспензией К1. Коэффициент загустевания суспензий К1 и С005 имеет близкие значения – 1,7–1,8. Увеличение количества вводимого дефлокулянта до 0,26 % уменьшает время истечения τ_0 более чем в 5 раз. А при добавлении ПКЭ в количестве 0,33 % имеет место практически полная дефлокуляция суспензии, которая сохраняет свою текучесть после 30 минут вы-

держки в вискозиметре Энглера. Такая концентрация молекул дисперсанта обеспечивает высокий уровень действия стерических и электростатических факторов, что исключает возможность агломерации высокодисперсных частиц $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Это объясняет низкую вязкость дефлокулированных суспензий на ряду с их седиментационной устойчивостью.

Универсальность и эффективность разработанной методики была апробирована в отношении дефлокулянта другой химической природы,

а именно триполифосфата натрия ТПФ, который также находит широкое применение на практике. Для проведения эксперимента была приготовлена суспензия на основе порошка РГ1 с добавлением ТПФ, содержание твердой фазы в которой – 80 %. Согласно данным статьи [16], оптимальная концентрация дефлокулянта, в случае ТПФ, составляла 0,1%. Далее данную суспензию разбавляли по методике, описанной выше. Полученная кривая изменения мутности представлена на рис. 8.

Исходя из расчетов, для данного образца эквивалентный диаметр частиц равен 0,5 мкм, что указывает на полностью дефлокулированную систему.

Выводы.

1. Предложена простая унифицированная методика оценки эффективности дефлокулянтов различной химической природы, основанная на выявлении кинетических зависимостей изменения величины мутности минеральных водных суспензий.

2. Математический анализ кривых изменения мутности суспензий с использованием уравнения седиментации Стокса позволил рассчитать, как эквивалентный диаметр агрегатов частиц в случае не полностью дефлокулированных суспензий, так и размер отдельных частиц для полностью дефлокулированных систем.

3. Полученные данные по влиянию концентрации дефлокулянта на кинетические зависимости изменения мутности 0,1 %-ых водных суспензий глинозема были подтверждены результатами, полученными при определении текучести концентрированных водных суспензий. В случае недостаточной концентрации дефлокулянта в суспензии наблюдается быстрое снижение величины мутности ввиду активного осаждения агрегатов высокодисперсных частиц твердой фазы. С увеличением концентрации дефлокулянта в суспензии, размер агрегатов уменьшается пропорционально числу частиц, слагающих этот агломерат. Суспензия становится седиментационно устойчивой, а величина мутности изменяется крайне медленно. Таким образом, анализ кинетических зависимостей изменения величины мутности водных суспензий позволяет с хорошей достоверностью оценить эффективность дефлокулянтов при их использовании в качестве компонентов минеральных водных суспензий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Demidova-Buizine I., Pundiene I. Effect of amount of deflocculant on change in physico-mechanical properties of medium-cement heat-resistant

concretes during drying and heat treatment // *Refractories and Industrial Ceramics*. 2014. Vol. 55, № 2. Pp. 121–127. DOI: 10.1007/s11148-014-9673-4

2. Sarkar R., Samant A.D. Study on the effect of deflocculant variation in high-alumina low-cement castable // *Interceram - International Ceramic Review*. 2016. Vol. 28, № 7. Pp. 28–34. DOI: 10.1007/BF03401184

3. Davies J., Binner J.G.P. The role of ammonium polyacrylate in dispersing concentrated alumina suspensions // *Journal of the European Ceramic Society*. 2000. Vol. 20. Pp. 1539–1553. DOI: 10.1016/S0955-2219(00)00012-1

4. Hommer H., Wutz K. The effect of organic deflocculants in castables // *Proceedings of the Technical Association of Refractories*. 2006. Vol. 58, № 5. Pp. 248–255.

5. Von Seyerl J. Use of polycarboxylate ethers to improve workability of castables // *Ceram. Forum Int.* 2007. Vol. 9. Pp. 46–49.

6. Otraj S., Nilforushan M.R., Daghighi A., Marzban R. Impact of dispersants on the mechanical strength development of alumina-spinel self-floving refractory castables // *Ceramics–Silikáty*. 2010. Vol. 54, № 3. Pp. 284–289.

7. Elimelech M., Gregory J., Jia X., Williams R.A. *Particle Deposition and Aggregation: Measurement, Modeling, and Simulation*. Butterworth-Heinemann Ltd. Oxford, 1995. 448 p. DOI: 10.1016/C2013-0-04548-3

8. Xu S., Sun Z. Progress in coagulation rate measurements of colloidal dispersions // *Soft Matter*. 2011. Vol. 7. Pp. 11298–11308. DOI: 10.1039/C1SM06237A

9. Ntampou X., Zouboulis A.I., Samaras P. Appropriate combination of physico-chemical methods (coagulation/flocculation and ozonation) for the efficient treatment of landfill leachates // *Chemosphere*. 2006. Vol. 62, № 5. Pp. 722–730. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.04.067

10. Бибик Е.Е. Оптическая диагностика процесса коагуляции // *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*. 2011. №10. С. 3–5.

11. Везо О.С., Войтылов А.В., Войтылов В.В., Петров М.П., Трусов А.А. Электрооптический метод исследования коагуляции нанодисперсных систем. Образование агрегатов частиц графита в водных электролитах // *Оптика и спектроскопия*. 2020. Т. 128, №6. С. 713–721. DOI: 10.21883/OS.2020.06.49401.22-20

12. ГОСТ Р 57164-2016. Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности. М.: Стандартинформ, 2016. 20 с.

13. Трубицын М.А., Воловичева Н.А., Фурда Л.В., Скрыпников Н.С. Исследование влияния

технологических параметров на гранулометрические характеристики субмикронного оксида алюминия в α -форме // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. №12. С. 84–97.

14. Trubitsyn M.A., Furda L.V., Lisnyak V.V., Volovicheva N.A., Doan Van Dat, Le Van Thuan. Effect of deflocculants on the rheological behavior of high alumina matrix suspensions for self-flowing bauxite castable // Vietnam Journal of Science and Technology. 2024. Vol. 61, № 5. Pp. 894–905. DOI: 10.15625/2525-2518/17143

Информация об авторах

Трубицын Михаил Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры общей химии Института фармации, химии и биологии НИУ «БелГУ». E-mail: trubitsin@bsu.edu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85

Воловичева Наталья Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры общей химии Института фармации, химии и биологии НИУ «БелГУ». E-mail: volovicheva@bsu.edu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85

Лисняк Виктория Владимировна, аспирант кафедры общей химии Института фармации, химии и биологии НИУ «БелГУ». E-mail: lisnyak@bsu.edu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85

Бондарева Ирина Анатольевна, аспирант кафедры общей химии Института фармации, химии и биологии НИУ «БелГУ». E-mail: bondareva_i@bsu.edu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85

Морозова Наталия Александровна, главный технолог ЗАО «ПКФ «НК», аспирант кафедры общей химии Института фармации, химии и биологии НИУ «БелГУ». E-mail: n.morozova@nkthm.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85

Тарасов Игорь Александрович, студент кафедры общей химии Института фармации, химии и биологии НИУ «БелГУ». E-mail: 1514025@bsu.edu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85

Поступила 15.11.2024 г.

© Трубицын М.А., Воловичева Н.А., Лисняк В.В., Бондарева И.А., Морозова Н.А., Тарасов И.А., 2025

***Trubitsyn M.A., Volovicheva N.A., Lisnyak V.V., Bondareva I.A., Morozova N.A., Tarasov I.A.**
Belgorod National Research University
*E-mail: trubitsin@bsu.edu.ru

DEFLOCCULATING ABILITY EVALUATION OF DIFFERENT CHEMICAL NATURE DISPERSANTS BY PHOTOMETRIC METHOD

Abstract. This paper presents the results of the study of possibility of using the photometric method to evaluate the effectiveness of deflocculants of different chemical nature. Aqueous suspensions of reactive alumina powders of different dispersity with addition of polycarboxylate ether in the concentration range from 0.05 to 0.50 wt. % were used as model systems. Mass fraction of solid phase for concentrated suspensions was 80%, for dilute suspensions - 0.1%. To reveal the feasibility of modern dispersants application and their optimal concentration, a photometric method of deflocculating activity estimation was developed and tested. The existing photometric method of water turbidity determination was taken as a basis for the proposed new approach. By means of mathematical analysis of kinetic curves of turbidity change in 0.1% water suspensions using the Stokes' law, the equivalent diameter of particle aggregates in case of not fully deflocculated suspensions and the size of individual particles for fully deflocculated systems were calculated. The versatility and efficiency of the developed methodology was also tested with the respect to sodium tripolyphosphate used as

a deflocculant. The obtained data on the influence of deflocculant concentration on kinetic dependences of the turbidity change of 0.1% aqueous alumina suspensions were validated using results of fluidity determination of concentrated aqueous alumina suspensions.

Keywords: deflocculation mineral powders, dispersants, aqueous suspensions, reactive alumina, turbidity, sedimentation, photometry

REFERENCES

1. Demidova-Buizine I., Pundiene I. Effect of amount of deflocculant on change in physico-mechanical properties of medium-cement heat-resistant concretes during drying and heat treatment. *Refractories and Industrial Ceramics* 2014. Vol. 55. No. 2. Pp. 121–127. DOI: 10.1007/s11148-014-9673-4
2. Sarkar R., Samant A.D. Study on the effect of deflocculant variation in high-alumina low-cement castable. *Interceram - International Ceramic Review Rev.* 2016. Vol. 28. No. 7. Pp. 28–34. DOI: 10.1007/BF03401184
3. Davies J., Binner J.G.P. The role of ammonium polyacrylate in dispersing concentrated alumina suspensions. *Journal of the European Ceramic Society.* 2000. Vol. 20. Pp. 1539–1553. DOI: 10.1016/S0955-2219(00)00012-1
4. Hommer H., Wutz K. The effect of organic deflocculants in castables. *Proceedings of the Technical Association of Refractories.* 2006. Vol. 58. No. 5. Pp. 248–255.
5. Von Seyerl J. Use of polycarboxylate ethers to improve workability of castables. *Ceram. Forum Int.* 2007. Vol. 9. Pp. 46–49.
6. Otraj S., Nilforushan M.R., Daghighi A., Marzban R. Impact of dispersants on the mechanical strength development of alumina-spinel self-flowing refractory castables. *Ceramics–Silikáty.* 2010. Vol. 54. No. 3. Pp. 284–289.
7. Elimelech M., Gregory J., Jia X., Williams R.A. *Particle Deposition and Aggregation: Measurement, Modeling, and Simulation.* Butterworth-Heinemann Ltd. Oxford, 1995. 448 p. DOI: 10.1016/C2013-0-04548-3
8. Xu S., Sun Z. Progress in coagulation rate measurements of colloidal dispersions. *Soft Matter.* 2011. Vol. 7. Pp. 11298–11308. DOI: 10.1039/C1SM06237A
9. Ntampou X., Zouboulis A.I., Samaras P. Appropriate combination of physico-chemical methods (coagulation/flocculation and ozonation) for the efficient treatment of landfill leachates. *Chemosphere.* 2006. Vol. 62. No. 5. Pp. 722–730. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.04.067
10. Bibik E.E. Optical diagnostics of coagulation process [Opticheskaya diagnostika processa koagulyacii]. *Proceedings of St. Petersburg State Technological Institute (Technical University).* 2011. No. 10. Pp. 3–5. (rus)
11. Vezo O.S., Voitylov A.V., Voitylov V.V., Petrov M.P., Trusov A.A. An Electrooptical Method for Studying the Coagulation of Nanodisperse Systems: Formation of Aggregates of Graphite Particles in Aqueous Electrolytes [Elektroopticheskiy metod issledovaniya koagulyacii nanodispersnyh sistem. Obrazovanie agregatov chastic grafita v vodnyh elektrolitah. Optika i spektroskopiya]. *Optics and Spectroscopy.* 2020. Vol. 128. No. 6. Pp. 719–728. DOI: 10.21883/OS.2020.06.49401.22-20 (rus)
12. State Standard 57164-2016. Drinking water. Methods for determination of odor, taste and turbidity. Moscow: Standartinform Publ., 2007. 20 p. (rus)
13. Trubitsyn M.A., Volovicheva N.A., Furda L.V., Skrypnikov N.S. Influence of technological parameters on particle size distribution characteristics of submicron aluminum oxide in α -form [Issledovanie vliyaniya tekhnologicheskikh parametrov na granulometricheskie karakteristiki submikronnogo oksida alyuminiya v α -forme]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov.* 2021. No. 12. Pp. 84–97. (rus)
14. Trubitsyn M.A., Furda L.V., Lisnyak V.V., Volovicheva N.A., Doan Van Dat, Le Van Thuan. Effect of deflocculants on the rheological behavior of high alumina matrix suspensions for self-flowing bauxite castable. *Vietnam Journal of Science and Technology.* 2024. Vol. 61. No. 5. Pp. 894–905. DOI: 10.15625/2525-2518/17143
15. Grodskiy A.S., Kienskaya K.I., Gavrilova N.N., Nazarov V.V. Basic concepts and equations of colloid chemistry [Osnovnye ponyatiya i uravneniya kolloidnoj himii]. Moscow: D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, 2013. 40 p. (rus)
16. Eremina R.M., Skvorcov A.I., Mutygullina A.A., Salihova O.B., Blohin D.S. Experimental problems of general physical practical work on molecular physics and thermodynamics. Transfer processes. Liquids and solids [Eksperimental'nye zadachi obshchego fizicheskogo praktikuma po molekulyarnoy fizike i termodinamike. Processy perenosa. Zhidkosti i tverdye tela]. Kazan: University of Kazan, 2015. 42 p. (rus)

Information about the authors

Trubitsyn, Mikhail A. PhD, Assistant professor of the Department of General Chemistry, Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of the National Research University «BelSU». E-mail: trubitsin@bsu.edu.ru. Belgorod National Research University, Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85

Volovicheva, Natalya A. PhD, Assistant professor of the Department of General Chemistry, Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of the National Research University «BelSU». E-mail: volovicheva@bsu.edu.ru. Belgorod National Research University, Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85

Lisnyak, Viktoriya V., Postgraduate student of the Department of General Chemistry, Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of the National Research University «BelSU». E-mail: lisnyak@bsu.edu.ru. Belgorod National Research University, Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85

Bondareva, Irina A., Postgraduate student of the Department of General Chemistry, Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of the National Research University «BelSU». E-mail: bondareva_i@bsu.edu.ru. Belgorod National Research University, Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85.

Morozova, Natalia A., chief technologist CJSC «PKF «NK», Postgraduate student of the Department of General Chemistry, Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of the National Research University «BelSU». E-mail: n.morozova@nkthm.ru. Belgorod National Research University, Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85

Tarasov, Igor A. Student of the Department of General Chemistry, Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of the National Research University «BelSU». E-mail: 1514025@bsu.edu.ru. Belgorod National Research University, Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85

Received 15.11.2024

Для цитирования:

Трубицын М.А., Воловичева Н.А., Лисняк В.В., Бондарева И.А., Морозова Н.А., Тарасов И.А. Оценка дефлокулирующей способности дисперсантов различной химической природы фотометрическим методом // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 3. С. 95–106. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-3-95-106

For citation:

Trubitsyn M.A., Volovicheva N.A., Lisnyak V.V., Bondareva I.A., Morozova N.A., Tarasov I.A. Deflocculating ability evaluation of different chemical. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 3. Pp. 95–106. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-3-95-106