

DOI: 10.32864/polymmattech-2019-5-3-57-63

УДК 666.3-183.2:691.434

ПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ АКРИЛАТА НАТРИЯ В КАЧЕСТВЕ РАЗЖИЖИТЕЛЕЙ МИНЕРАЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ

Д. А. БЕЛОВ¹⁺, Ю. В. ВЕЛЮГО²

¹Белорусский государственный университет, пр-т Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

²ЧПУП «Белхимос», ул. Чуйкова, 48а, 211174, г. Лепель, Витебская обл., Беларусь

Свободно-радикальной полимеризацией в водном растворе с использованием различных регуляторов молекулярной массы синтезировали полимеры акрилата натрия. Методом капиллярной вискозиметрии оценивали молекулярно-массовые характеристики полученных образцов. Полученные полимеры использовали для придания оптимальной текучести керамическим шликерам, приготовленным по рецептуре, используемой на предприятиях, производящих керамические изделия. Разжижающую способность полимерных образцов с различной молекулярной массой оценивали с помощью вискозиметра Энглера во времени истечения керамического шликера.

Выявлено влияние типа и количества регулятора молекулярной массы полимера на молекулярно-массовые характеристики полученных полиакрилатов. Установлено, что характеристическая вязкость полученных образцов находится в пределах 0,26–0,43 дл/г. В результате сравнительного анализа эффективности регуляторов молекулярной массы оптимальными для синтеза разжижающих добавок признаны сульфит натрия и изопропиловый спирт. Установлено, что для придания оптимальной текучести керамическому шликеру пригодны образцы с характеристической вязкостью 0,27–0,41 дл/г, синтезированные с использованием сульфита натрия (в дозировке 125–150% по массе инициатора) или изопропилового спирта (в дозировке 140% по массе инициатора). Макромолекулы в этом случае обладают оптимальной молекулярной массой и конформацией цепей, что обеспечивает необходимую текучесть минеральной суспензии.

Ключевые слова: минеральная суспензия, шликер, текучесть, характеристическая вязкость, свободнорадикальная полимеризация, полиакрилат натрия.

POLYMERS BASED ON SODIUM ACRYLATE AS DISPERSANTS OF MINERAL SUSPENSIONS

D. A. BELOV¹⁺, Y. V. VELUGO²

¹Belarusian State University, Nezavisimosti Ave, 4, 220030, Minsk, Belarus

²PUE "Belkhimos", Chuikova St., 48a, 211174, Lepel, Vitebsk region, Belarus

Sodium acrylate polymers were synthesized by free radical polymerization in an aqueous solution using molecular weight regulators. The method of capillary viscometry was used to calculate the molecular weight characteristics of the obtained samples. The resulting polymers were used to give optimum flow to ceramic slurries prepared according to the recipe used by manufacturing ceramic products. The thinning ability of the polymeric samples with different molecular weights was estimated using an Engler viscometer by the time of outflow of the ceramic slip.

The influence of the type and amount of the regulator of the molecular weight of the polymer on the molecular weight characteristics of the obtained polyacrylates is determined. It was found that the characteristic viscosity of the obtained samples is 0,26–0,43 dl/g. A comparative analysis of the effectiveness of molecular

⁺ Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: beldis@tut.by

weight regulators was carried out, as a result sodium sulfite and isopropyl alcohol was proposed as optimal one for the synthesis of fluidizing additives. It was determined that for optimal fluidity of the ceramic slurries, samples with a characteristic viscosity of 0,27–0,41 dl/g are suitable. Such samples using sodium sulfite (at a dosage of 125–150% by weight of initiator) or isopropyl alcohol (at a dosage of 140% by weight of initiator) was synthesized. The macromolecules in this case have the optimal size and conformation of the chains, which provides the necessary fluidity of the mineral suspension.

Keywords: mineral suspension, slurry, fluidity, intrinsic viscosity, free radical polymerization, sodium polyacrylate.

Введение

В современном производстве строительных материалов и керамики активно используют дисперсионные системы на основе природных минеральных компонентов. Поэтому весьма актуальной является проблема разработки и внедрения химических добавок, регулирующих структурообразование и реологические свойства таких систем, в частности минеральных суспензий. Помимо определенного минералогического состава, суспензии должны обладать низкой вязкостью при высоком содержании твердой дисперсной фазы в минеральной суспензии, т. е. они должны быть достаточно текучими при наименьшем содержании в них воды, что обеспечивает высокую производительность и сокращает энергозатраты при приготовлении шликера и получении пресс-порошка. Это достигается путем введения различных разжижающих добавок минеральных суспензий — дефлокулянтов. Водорастворимые полимеры акрилового ряда препятствуют агрегации минеральных частиц, что приводит к уменьшению вязкости суспензии без увеличения содержания воды. Способность акриловых полимеров вступать в роли разжижителей минеральных суспензий зависит от мономерного состава и характеристик молекулярно массового распределения [1–6].

Цель работы — получение образцов полиакрилата натрия с различной характеристической вязкостью при использовании регуляторов молекулярной массы; проведение сравнительного анализа эффективности регуляторов молекулярной массы; определение разжижающей способности полиакрилата натрия по отношению к минеральным суспензиям; получение эффективной разжижающей добавки.

Материалы и методы исследования

Для синтеза полимерных соединений использовали: акриловую кислоту 99% («Aldrich», США), персульфат аммония 99% («Aldrich», США), карбонат натрия ГОСТ 5100 («Химпэк», Россия), соль Мора (сульфат аммония-железа(II)) ТУ 2141-003-62571670-10 («Химпэк», Россия), сульфит натрия (СН) ТУ 400069905.031-2006 («Химпэк», Россия), изопропиловый спирт (ИС) ГОСТ 9805 («Ацетон-синтез, Россия), хлорид натрия ГОСТ 4233 («Ленреактив», Россия). Реактивы использовали без предварительной очистки.

Свободно-радикальной полимеризацией в водном растворе синтезировали полимеры и сополимеры акрилата натрия. Схема превращений представлена на рис. 1.

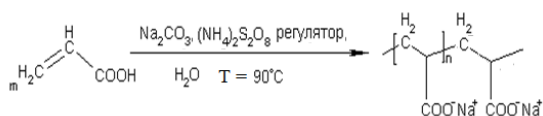


Рисунок 1 — Схема синтеза полиакрилата натрия
Fig. 1 — Sodium polyacrylate synthesis

В герметичную реакционную колбу с дистиллированной водой, нагретой до 90°C, одновременно вводили растворы акриловой кислоты, персульфата аммония (ПСА) и регулятора молекулярной массы (РММ) (при необходимости), скорость введения реактивов подбирали так, чтобы не допустить закипания реакционной среды за счет экзотермических эффектов полимеризации. Синтез проводили в течении 4 часов, после охлаждали и нейтрализовали карбонатом натрия. Количество воды, используемое при синтезе, рассчитывали для получения 20% итогового раствора полиакрилата натрия. Синтезировали 4 серии образцов полимеров на основе акрилата натрия: без РММ, с использованием соли Мора (сульфат аммония-железа(II)), СН и ИС в качестве РММ.

Характеристическую вязкость определяли по методике, описанной в [7], для этого готовили 0,1% раствор полимера в 3% NaCl. Измерения проводили при 25 °С в капиллярном вискозиметре «ВПЖ-2» («Экротим», Россия) с висязим уровнем (диаметр капилляра 0,56 мм).

Определение плотности, влажности и текучести минеральных суспензий проводили в лаборатории ЧПУП «Белхимос» согласно стандартным методикам [8].

Для получения шликера использовали следующие компоненты: песок (месторождение Улесье, Беларусь, ГОСТ 8736), глину (Нижне-Увельская полукислая огнеупорная каолиновая, Россия), воду, синтезированный полиакрилат натрия (в качестве разжижителя). Соотношение компонентов соответствует отработанной рецептуре, используемой на предприятиях, производящих керамические изделия. Шликер загружали в шаровую мельницу на 30 мин; после приготовления определяли плотность полученной минеральной суспензии. Для определения плотности глиняный шликер тщательно перемешивали и быстро наливали в предварительно взвешенный мерный сосуд — металлический пик-

нометр. Избыток шликера срезали металлической линейкой вровень с краями, затем пикнометр со шликером взвешивали на лабораторных весах с точностью до 0,01 г. Плотность глиняного шликера $\rho_{ш}$, г/см³, вычисляли по формуле:

$$\rho_{ш} = \frac{P_1 - P_2}{V},$$

где P_1 , г — масса мерного сосуда со шликером; P_2 , г — масса мерного сосуда; V , см³ — объем мерного сосуда.

Плотность шликера рассчитывали как среднеарифметическое значение результатов трех параллельных испытаний.

Текучесть шликера определяли на вискозиметре Энглера (рис. 2). В цилиндрический резервуар 1 заливали исследуемую суспензию, температуру которой контролировали термометром 5, помещенным в водяную баню 2. При заданной температуре с помощью запорной иглы 4 открыли сопло 3, расположенное в центре резервуара 1 и обеспечивающее истечение жидкости. Время истечения фиксировали секундометром. При определении текучести с одним шликером проводили 3 опыта и вычисляли среднее значение, определив оптимальные пределы.

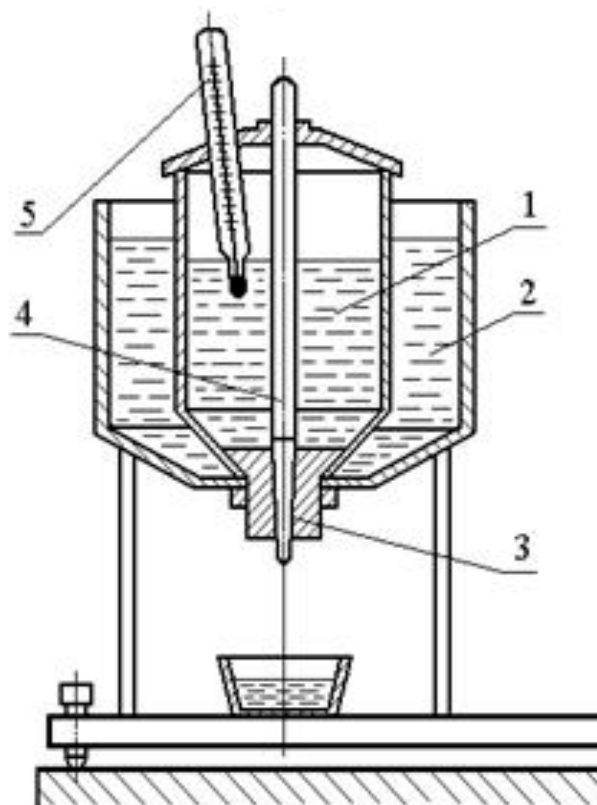


Рисунок 2 — Схема вискозиметра Энглера. Пояснения в тексте
Fig. 2 — Engler viscometer. Explanations are in the text

Результаты и их обсуждение

Молекулярная масса (ММ) соединений, получаемых методом радикальной полимеризации, зависит от множества факторов: природы моно-

мера, инициатора и растворителя; температуры; соотношения компонентов и т. д. Для получения полимеров с определенным значением ММ можно варьировать концентрацию инициатора полимеризации (чем больше концентрация инициатора, тем выше скорость полимеризации, но ниже ММ образующегося полимера). Однако этот способ повышает затраты на производство, а также способствует реакциям разветвления и сшивки полимерной цепи, как следствие этого, молекулярно-массовое распределение полимера весьма широкое. Как видно из табл. 1, даже при весьма значительном содержании инициатора (более 8% от массы мономера) характеристическая вязкость и, соответственно, ММ довольно велики.

Таблица 1 — Массовое соотношение компонентов при синтезе полиакрилата натрия и характеристическая вязкость раствора полимера

Table 1 — Mass ratio of components in the synthesis of sodium polyacrylate and the intrinsic viscosity of the polymer solution

№ образца	$m(\text{AK})$, г	$m(\text{ПСА})$, г	$[\eta]$, дл/г
1	14,20	1,20	0,45
2	14,20	0,80	0,49
3	14,60	0,40	0,60
4	14,80	0,20	0,68
5	14,86	0,14	0,80
6	14,89	0,11	0,89

Для контроля ММ синтезированного полимера можно вводить в реакционную смесь РММ, которые влияют на нее при неизменной концентрации инициатора. Механизм действия РММ может быть различным. В случае применения соединений, дающих пространственно затрудненный радикал (хлорорганические соединения, алкилмеркаптаны, ИС), имеет место вырожденная передача цепи (т. е. рост цепи происходит с меньшей скоростью на частице РММ, чем на макрорадикале). Другим подходом для регулирования ММ полимеров является введение соединений, обладающих окислительно-восстановительной активностью (соединения железа, сульфиты, гидрохинон, фенолы), которые, взаимодействуя с макрорадикалами, приводят к обрыву цепи. В зависимости от условий применения они могут выступать также как компоненты иницирующих систем [4, 7, 9]. Использование РММ дает следующие преимущества:

- обычно это более доступные и стабильные вещества, по сравнению с веществами, которые используются как инициаторы полимеризации;
- распределение ММ полимеров, полученных с использованием РММ, более узкое [4, 9].

Для оценки влияния содержания РММ фиксировали количество инициатора (2,7% от массы мономера) и вводили различное количество РММ (от 10 до 180% от массы инициатора). Соотношения компонентов синтеза для трех серий образцов представлены в табл. 2–4.

Таблица 2 — Массовое соотношение компонентов при синтезе полиакрилата натрия с использованием СН в качестве РММ

Table 2 — Mass ratio of components in the synthesis of sodium polyacrylate using sodium sulfite as a molecular weight regulator

№ образца	$m(\text{АК}), \text{ г}$	$m(\text{ПСА}), \text{ г}$	РММ, % от $m(\text{ПСА})$
1	14,60	0,40	СН, 10
2	14,60	0,40	СН, 32
3	14,60	0,40	СН, 70
4	14,60	0,40	СН, 70
5	14,60	0,40	СН, 70
6	14,60	0,40	СН, 85
7	14,60	0,40	СН, 100
8	14,60	0,40	СН, 120
9	14,60	0,40	СН, 140
10	14,60	0,40	СН, 160

Таблица 3 — Массовое соотношение компонентов при синтезе полиакрилата натрия с использованием соли Мора в качестве РММ

Table 3 — Mass ratio of components in the synthesis of sodium polyacrylate using Mohr's salt as a molecular weight regulator

№ образца	$m(\text{АК}), \text{ г}$	$m(\text{ПСА}), \text{ г}$	РММ, % от $m(\text{ПСА})$
1	14,60	0,40	Соль Мора, 10
2	14,60	0,40	Соль Мора, 20
3	14,60	0,40	Соль Мора, 40
4	14,60	0,40	Соль Мора, 100

Таблица 4 — Массовое соотношение компонентов при синтезе полиакрилата натрия с использованием ИС в качестве РММ

Table 4 — Mass ratio of components in the synthesis of sodium polyacrylate using isopropyl alcohol as a molecular weight regulator

№ образца	$m(\text{АК}), \text{ г}$	$m(\text{ПСА}), \text{ г}$	РММ, % от $m(\text{ПСА})$
1	14,60	0,40	ИС, 10
2	14,60	0,40	ИС, 20
3	14,60	0,40	ИС, 50
4	14,60	0,40	ИС, 70
5	14,60	0,40	ИС, 100
6	14,60	0,40	ИС, 125
7	14,60	0,40	ИС, 150
8	14,60	0,40	ИС, 180

Для оценки влияния соотношения компонентов на характеристическую вязкость образцов выполнен сравнительный анализ эффективности РММ. Результаты представлены на рис. 3. Как видно из графиков, значения характеристической вязкости полимерных образцов, полученных с использованием РММ, изменяются в диапазоне 0,26–0,59 дл/г в зависимости от соотношения компонентов.

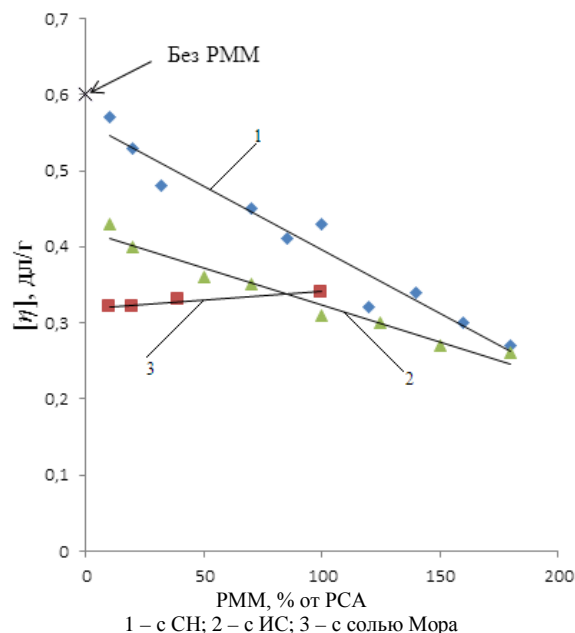


Рисунок 3 — Зависимость характеристической вязкости от количества и типа РММ

Fig. 3 — Dependence of characteristic viscosity on amount and type of molecular weight regulator

Во всех трех случаях, при добавлении РММ, характеристическая вязкость и, соответственно, ММ снижается. Несмотря на разный механизм действия, все три вещества могут быть использованы как компоненты реакционной смеси для регулирования ММ образующегося полимера. Механизм действия этих веществ хорошо изучен [10–13], но сравнительная эффективность данных соединений и влияние их воздействия на свойства целевого продукта, который применяется для разжижения глиняных суспензий, представляет научный интерес.

Соль Мора, с одной стороны, весьма эффективна в качестве РММ, так как даже при сравнительно небольших количествах характеристическая вязкость снижается фактически в два раза, по сравнению с образцом без использования РММ. С другой стороны, дальнейшее увеличение концентрации данного вещества к снижению характеристической вязкости не приводит. Таким образом, использование соли Мора для контроля ММ при неизменном количестве инициатора представляется невозможным.

Увеличение концентрации СН и ИС приводит к линейному падению характеристической вязкости. В случае СН падение более резкое. Вместе с тем, при малых дозах ИС демонстрирует более высокую эффективность.

Исходя из сказанного, можно сделать вывод, что наиболее эффективное снижение ММ обеспечивается использованием соли Мора, контроль ММ достигается изменением концентрации СН и ИС в системе.

Результаты определения характеристик шликера представлены на рис. 4, 5, где отображена зависимость текучести шликера от характеристической вязкости образцов полиакрилата натрия, при синтезе которых применяли разные способы регулирования ММ.

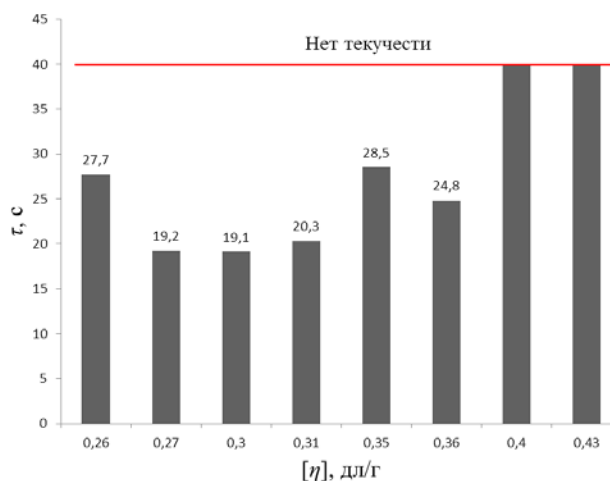


Рисунок 4 — Зависимость текучести шликера от характеристической вязкости полимеров, полученных с использованием ИС в качестве РММ

Fig. 4 — The dependence of slurry fluidity on the characteristic viscosity of polymers synthesized using isopropyl alcohol as a molecular weight regulator

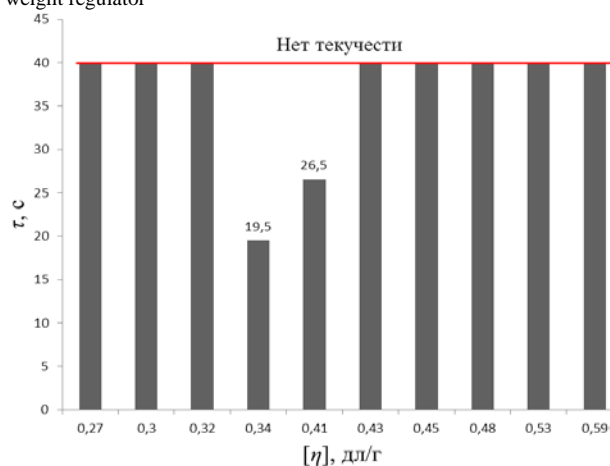


Рисунок 5 — Зависимость текучести шликера от характеристической вязкости полимеров, полученных с использованием СН в качестве РММ

Fig. 5 — The dependence of slurry fluidity on the characteristic viscosity of polymers synthesized using sodium sulfite as a molecular weight regulator

Оптимальная текучесть глиняной суспензии, используемой в производстве керамических изделий, составляет $(17-19) \pm 1$ с [2]. Плотность шликера должна быть в пределах $1,480-1,485$ г/см³. Данные параметры выдерживали для всех полученных образцов глиняной суспензии. Синте-

зируя образцы без РММ, не удастся достигнуть требуемого результата даже при увеличении количества инициатора в 15 раз. Несмотря на то, что соль Мора способствует снижению ММ, строение полученных макромолекул не позволяет получить необходимый эффект разжижения — шликер не проявлял текучести.

Образцы, полученные с использованием ИС в качестве РММ, обладают значениями характеристической вязкости в диапазоне $0,26-0,43$ дл/г. Оптимальное значение текучести достигали при добавлении 125–150% ИС от массы ПСА и при характеристической вязкости $0,27-0,30$ г/дл.

Для образцов, синтезированных с использованием СН, также наблюдается экстремальная зависимость эффективности разжижения от характеристической вязкости (диапазон значений $0,27-0,59$ дл/г). Наилучший результат достигнут при добавлении 120% СН от массы ПСА, что обеспечило характеристическую вязкость $0,34$ дл/г. Такая эффективность сопоставима с использованием ИС. Таким образом, установлено оптимальное значение характеристической вязкости полимера и оптимальная концентрация РММ, при которой получаемый продукт обладает наилучшей разжижающей способностью по отношению к минеральным суспензиям.

Явления, приводящие к изменению реологических свойств шликера, происходят в двойном электрическом слое (ДЭС). ДЭС образуется на поверхности частиц глины, в результате адсорбции ионов из раствора, диссоциации поверхностного соединения или ориентирования полярных молекул на границе фаз. Согласно современным представлениям ДЭС можно рассматривать как пространственное разделение зарядов противоположного знака в межфазном слое. Ионы, непосредственно связанные с поверхностью, являются потенциалопределяющими. Заряд этого слоя компенсируется зарядом ионов второго слоя — противоионами [13]. Эффект разжижения, демонстрируемый образцами полиакрилата натрия в глиняной суспензии, может быть обусловлен следующими механизмами:

1. Катионный обмен. Для увеличения ДЭС и, следовательно, для повышения эффекта отталкивания, необходимо заменить двухвалентные катионы на одновалентные. Отрицательный поверхностный заряд глинистых минералов не может быть полностью экранирован двухвалентными катионами. Замена двухвалентных катионов на одновалентные, например натрия, приводит к лучшему перекрытию отрицательных зарядов и к увеличению ДЭС. Агломерация частиц предотвращается, вязкость снижается.

2. Стерическое отталкивание. По механизму стерического отталкивания действуют дефлокулянты с функциональными группами. Эти функциональные группы действуют как «распорки» между минеральными частицами. Адсорбция де-

флокулянта на поверхности частиц сырья вызывает отталкивание между ними, что приводит к однородному распределению мелких частиц в дисперсионной среде, в которой все частицы в идеале удалены от ближайших соседних на равное расстояние.

3. Комплексообразование. Данный механизм заключается в добавлении агентов, которые связывают свободные двухвалентные катионы, прежде чем они могут связаться с поверхностью частицы исходного материала, и вызвать флокуляцию.

Поскольку количество карбоксильных групп, определяющих первый и третий механизмы дефлокулирующего действия при добавлении равных количеств полиакрилатов с различной ММ не менялось, можно сделать вывод, что при определенной ММ, соответствующей $[\eta]$ 0,27–0,34 дл/г, конформация и размер клубков цепей полиакрилата натрия обеспечивают максимальное стерическое отталкивание.

Выводы

1. Получены полимеры и сополимеры акрилата натрия при различных соотношениях компонентов. Методом вискозиметрии определена характеристическая вязкость образцов. Значения характеристической вязкости находятся в диапазоне 0,26–0,59 дл/г и 0,45–0,89 дл/г с использованием РММ и без их использования соответственно.

2. На основании результатов сравнительного анализа эффективности РММ установлено, что наиболее эффективным РММ является соль Мора. Однако, использование ее для контроля ММ при неизменном количестве инициатора представляется невозможным. Эту задачу можно выполнить, применяя СН или ИС.

3. Изучена разжижающая способность полимеров и сополимеров акрилата натрия по отношению к минеральным суспензиям, используемым в производстве керамических изделий. Установлено, что в случае полимеров акрилата натрия в качестве РММ можно использовать СН в дозировке 120% от массы ПСА или ИС в дозировке около 125–150% от массы ПСА. Такое соотношение компонентов при синтезе позволяет получить образцы с характеристической вязкостью 0,27–0,34 дл/г. Макромолекулы в этом случае обладают оптимальными ММ и конформацией цепей, что обеспечивает необходимую текучесть минеральной суспензии.

Обозначения

АК — акриловая кислота; ДЭС — двойной электрический слой; ИС — изопропиловый спирт; ММ — молекулярная масса; ПСА — персульфат аммония; РММ — регулятор молекулярной массы; СН — сульфит натрия; m , г — масса компонентов; τ , °С — текучесть шликера; $[\eta]$, дл/г — характеристическая вязкость.

Литература

1. Пищ И. В., Климош Ю. А., Габалов Е. В. Влияние разжижающих добавок на реологические свойства керамических шликеров // Труды БГТУ. 2013. № 3. С. 106–109.
2. Мороз И. И. Технология фарфоро-фаянсовых изделий. М.: Стройиздат, 1984. 334 с.
3. Холмберг К., Йенсон Б., Кронберг Б., Линдман Б. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. 532с.
4. Мельникова М. А. Практикум по химии и физике полимеров и полимерных материалов. Благовещенск: АГУ, 2015. 100 с.
5. Guanghua Huang, Zhidong Pan, Yanmin Wang. Synthesis of sodium polyacrylate copolymers as water-based dispersants for ultrafine grinding of praseodymium zirconium silicate // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2018, vol. 558, pp. 591–599.
6. Jie Yin, Xuejian Liu, Jian Chen, Sea-Hoon Lee, Zhengren Huang. Polyacrylic acid, a highly efficient dispersant for aqueous processing of tantalum carbide // Ceramics International, 2017, vol. 43, no. 4, pp. 3654–3659.
7. Рабек Я. Экспериментальные методы в химии полимеров: ч. 2. М.: Мир, 1983. 480 с.
8. ГОСТ 21216-2014. Сырье глинистое. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2015. 39с.
9. Николаев А. Ф., Крыжановский В. К., Бурлов В. В., Шульгина Э. С., Лавров Н. А., Дворко И. М., Сивцов Е. В., Крыжановская Ю. В., Семенова А. Д. Технология полимерных материалов. СПб.: Профессия, 2008. 544 с.
10. Савицкая Т. А. Котиков Д. А., Шичкова Т. А. Коллоидная химия: строение двойного электрического слоя, получение и устойчивость дисперсных систем: пособие для студентов химического факультета. Минск: БГУ, 2011. 82 с.
11. Pishch I. V., Klimosh Yu. A., Gapanovich E. I. Flow properties of slip for producing ceramic sanitary ware // Glass and Ceramics, 2006, vol. 63, no. 7–8, pp. 259–261.
12. Madhura Bhalerao, Vijay Y. Karadbhajne. Polymeric Surfactants. Its Evolution and Review // International Journal of Chem. Tech. Research, 2019, vol. 12, no. 1, pp. 183–190.
13. Handbook of advanced ceramics: materials, applications, processing, and properties / ed. Shigeyuki Somiya. Amsterdam [et al.]: Academic Press, 2013, pp. 1240.

References

1. Pishch I. V., Klimosh Yu. A., Gabalov E. V. Vliyaniye razzhizhayushchikh dobavok na reologicheskie svoystva keramicheskikh shlikеров [The effect of thinning additives on the rheological properties of ceramic slips]. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 3, pp. 106–109.
2. Moroz I. I. *Tekhnologiya farforo-fayansovykh izdeliy* [Technology of porcelain and faience products]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1984. 334p.
3. Kholmberg K., Yenson B., Kronberg B., Lindman B. *Poverkhnostno-aktivnye veshchestva i polimery v vodnykh rastvorakh* [Surfactants and polymers in aqueous solutions]. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy Publ., 2012. 528 p.
4. Mel'nikova M. A. *Praktikum po khimii i fizike polimerov i polimernykh materialov* [Workshop on chemistry and physics of polymers and polymeric materials]. Blagoveshchensk: AGU Publ., 2015. 100 p.
5. Guanghua Huang, Zhidong Pan, Yanmin Wang. Synthesis of sodium polyacrylate copolymers as water-based dispersants for ultrafine grinding of praseodymium zirconium silicate. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2018, vol. 558, pp. 591–599.
6. Jie Yin, Xuejian Liu, Jian Chen, Sea-Hoon Lee, Zhengren Huang. Polyacrylic acid, a highly efficient dispersant for aqueous processing of tantalum carbide. *Ceramics International*, 2017, vol. 43, no. 4, pp. 3654–3659.
7. Rabek Y. *Ekspperimental'nye metody v khimii polimerov*. [Experimental methods in polymer chemistry]. Moscow: Mir Publ., 1983, ch. 2, 480 p.

8. GOST 21216-2014. Syr'e glinistoe. Metody ispytaniy [State standard 21216-2014. Raw clay. Test methods]. Moscow: Standartinform Publ, 2015. 39p.
9. Nikolaev A. F., Kryzhanovskiy V. K., Burlov V. V., Shul'gina E. S., Lavrov N. A., Dvorko I. M., Sivtsov E. V., Kryzhanovskaya Yu. V., Semenova A. D. *Tekhnologiya polimernykh materialov* [Technology of polymeric materials]. Saint-Petersburg: Professiya Publ., 2008. 544 p.
10. Savitskaya T. A., Kotikov D. A., Shichkova T. A. Kolloidnaya khimiya: stroenie dvoynogo elektricheskogo sloya, poluchenie i ustoychivost' dispersnykh system: posobie dlya studentov khimicheskogo fakul'teta. [Colloid chemistry: the structure of the electric double layer, the production and stability of dispersed systems. Manual for students of the Faculty of Chemistry]. Minsk: BGU Publ., 2011. 82 p.
11. Pishch I. V., Klimosh Yu. A., Gapanovich E. I. Flow properties of slip for producing ceramic sanitary ware. *Glass and Ceramics*, 2006, vol. 63, no. 7–8, pp. 259–261.
12. Madhura Bhalerao, Vijay Y. Karadbhajne. Polymeric Surfactants. Its Evolution and Review. *International Journal of Chem. Tech. Research*, 2019, vol. 12, no. 1, pp. 183–190.
13. Handbook of advanced ceramics: materials, applications, processing, and properties. Ed. Shigeyuki Somiya. Amsterdam [et al.]: Academic Press, 2013, pp. 1240.

Поступила в редакцию 24.06.2019

© Д. А. Белов, Ю. В. Велого, 2019