

**СИНТЕЗ И ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРОВ
И КОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ**
**SYNTHESIS AND PROCESSING OF POLYMERS
AND POLYMERIC COMPOSITES**

ISSN 2410-6593 (Print), ISSN 2686-7575 (Online)

<https://doi.org/10.32362/2410-6593-2021-16-6-490-501>



УДК 678

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

**Влияние природы эмульгатора и концентрации полимера
на дисперсность и устойчивость искусственных полимерных
суспензий на основе поликарбоната и полиметилметакрилата**

А.Н. Стужук[@], А.В. Школьников, П.С. Горбатов, И.А. Грицкова

МИРЭА – Российский технологический университет (Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова), Москва, 119571 Россия

[@]Автор для переписки, e-mail: aleksandr-stuzhuk@mail.ru

Аннотация

Цели. Создание агрегативно устойчивых искусственных полимерных суспензий с положительным зарядом частиц на основе поликарбоната и полиметилметакрилата с использованием катионных поверхностно-активных веществ (КПАВ), а также их смесей с кремнийорганическим поверхностно-активным веществом (КОПАВ).

Методы. Размер капель и частиц полимерных суспензий определяли методом фотонной корреляционной спектроскопии (динамического светорассеяния) с помощью лазерного анализатора частиц Zetasizer NanoZS (Malvern, Великобритания).

Результаты. Было установлено, что для получения устойчивых искусственных поликарбонатных и полиметилметакрилатных суспензий могут быть использованы отечественные КПАВ Катамин АБ и Азол-129. Оптимальная концентрация ПАВ составила 6 мас. % в расчете на полимер. Показано влияние концентрации полимера в растворе на устойчивость и размер частиц конечных полимерных суспензий. Определено, что концентрация полимера в растворе не должна превышать 10%. Дальнейшее повышение концентрации приводит к повышению вязкости эмульсий при получении высокодисперсной суспензии в процессе диспергирования. Использованы смеси КПАВ Катамин АБ/Азол-138 и Азол-129/Азол-138 для повышения устойчивости конечных полимерных суспензий за счет образования синергетического эффекта. Оптимальное массовое соотношение ПАВ составило 9:1. Общая концентрация смеси 10 мас. % в расчете на полимер. Получены

полимерные суспензии, стабилизированные смесями КПАВ Катамин АБ/КОПАВ U-851 и КПАВ Азол-129/КОПАВ U-851 в соотношении 2:1 каждой смеси в расчете на полимер. Общая концентрация смеси составила 9 мас. % в расчете на полимер.

Выводы. Предложены новые способы получения искусственных поликарбонатных и полиметилметакрилатных суспензий, полученных в присутствии КПАВ отечественного производства, а также их смесей и смесей КПАВ с КОПАВ. Рассмотрены коллоидно-химические свойства полученных полимерных суспензий и показано, что при использовании смеси КПАВ и КОПАВ, взятых в объемном соотношении 2:1, образуются устойчивые в процессе получения и хранения полимерные суспензии.

Ключевые слова: кремнийорганические ПАВ, искусственная полимерная суспензия, катионные ПАВ, поликарбонат, полиметилметакрилат, структурно-механический барьер

Для цитирования: Стужук А.Н., Школьников А.В., Горбатов П.С., Грицкова И.А. Влияние природы эмульгатора и концентрации полимера на дисперсность и устойчивость искусственных полимерных суспензий на основе поликарбоната и полиметилметакрилата. *Тонкие химические технологии*. 2021;16(6):490–501. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2021-16-6-490-501>

RESEARCH ARTICLE

Influence of emulgator nature on dispersity and stability of artificial polymer suspensions based on polycarbonate and polymethyl methacrylate

Aleksandr N. Stuzhuk[@], Aleksandr V. Shkolnikov, Pavel S. Gorbatov, Inessa A. Gritskova

MIREA – Russian Technological University (M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies), Moscow, 119571 Russia

[@]Corresponding author, e-mail: aleksandr-stuzhuk@mail.ru

Abstract

Objectives. To create stable artificial polymer suspensions with a positive charge of particles based on polycarbonate and polymethyl methacrylate using cationic surfactants and organosilicon surfactants.

Methods. The size of droplets and polymer suspension particles was determined by photon correlation spectroscopy (dynamic light scattering) using a Zetasizer NanoZS laser particle analyzer (Malvern, UK).

Results. Domestic cationic surfactants Katamin-AB and Azol-129 were found to be capable of producing stable artificial polycarbonate and polymethyl methacrylate suspensions. Based on the polymer, the optimal surfactant concentration was 6 wt %. The effect of polymer concentration in solution on the stability and particle size of final polymer suspensions was shown. It was determined that the polymer concentration in the solution should not exceed 10%. When obtaining a highly dispersed suspension during dispersion, a higher concentration causes an increase in the viscosity of emulsions. As a result of a synergistic effect formation, we used mixtures of cationic surfactants (Katamin-AB/Azol-138 and Azol-129/Azol-138) to enhance the stability of the final polymer suspensions. The optimal surfactant ratio was 9:1. The total concentration of

the mixture is 10 wt %, based on the polymer. Polymer suspensions were stabilized with each of 2:1 mixtures of cationic surfactants Katamin-AB and Azol-129 with an organosilicon surfactant U-851. The total mixture concentration was 9 wt %, based on the polymer.

Conclusions. New methods of producing artificial polycarbonate and polymethyl methacrylate suspensions in the presence of domestically produced cationic surfactants, as well as cationic-organosilicon surfactants mixtures, were proposed. The colloidal-chemical properties of the obtained polymer suspensions were considered. It was found that using a 2:1 mixture of cationic and organosilicon surfactants produces polymer suspensions that are stable during production and storage.

Keywords: organosilicon surfactants, artificial polymer suspension, cationic surfactants, polycarbonate, polymethyl methacrylate, structural and mechanical barrier

For citation: Stuzhuk A.N., Shkolnikov A.V., Gorbatov P.S., Gritskova I.A. Influence of emulgator nature on dispersity and stability of artificial polymer suspensions based on polycarbonate and polymethyl methacrylate. *Tonk. Khim. Tekhnol. = Fine Chem. Technol.* 2021;16(6):490–501 (Russ., Eng.). <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2021-16-6-490-501>

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время искусственные полимерные суспензии приобретают все большее значение в связи с тем, что они находят применение в широком спектре отраслей: резинотехнической (пленки, покрытия, перчатки резиновые нити и т.п.), легкой (клеи, текстильные материалы), пищевой (защитные покрытия на продуктах питания), целлюлозно-бумажной, строительстве (связующее, герметики, компаунды), сельском хозяйстве (защита почвы от эрозии) и ряде других отраслей.

Искусственные полимерные суспензии (искусственные латексы) получают путем эмульгирования растворов полимеров в органическом растворителе в присутствии поверхностно активных веществ (ПАВ) различной природы с последующей его заменой водной фазой, отгонкой растворителя и концентрированием до требуемых значений содержания полимера в суспензии. В процессе их получения необходимым условием является обеспечение устойчивости на всех стадиях процесса. Для этого используют катионные ПАВ (КПАВ) различного строения. Из литературы известно, что при получении устойчивых полярных полимерных суспензий целесообразно использовать смеси ПАВ различной природы. Получение искусственных полимерных суспензий в литературе не описано, поэтому для их получения было целесообразно использовать данные о том, что синтетические полярные полимерные суспензии характеризуются высокой устойчивостью при использовании смеси ПАВ различной природы.

Для повышения устойчивости полимерных суспензий в данной работе использовали смеси ПАВ различной природы, которые обеспечивали формирование структурно-механического и электростатического барьеров стабилизации по Ребиндеру [1].

Цель данной работы состояла в получении устойчивых искусственных поликарбонатных и полиметилметакрилатных суспензий с положительным зарядом частиц в присутствии КПАВ и их смесей с ПАВ различной природы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве исходного сырья были выбраны гранулированные поликарбонат марки Makrolon компании (Bayer, Германия) и полиметилметакрилат марки Acrypet VH 001 компании (Mitsubishi Chemical Corporation, Япония).

Хлороформ (х.ч.), применяли в качестве растворителя без дополнительной очистки.

В качестве ПАВ использовали КПАВ, синтезированные в ОАО «Котласский химический завод» (Россия): Катамин АБ (алкилдиметилбензиламмоний хлорид, где алкил – смесь нормальных алкильных радикалов C10–C16); Азол-129 (четвертичное аммониевое соединение треталкиламина кислот кокосового масла и бензилхлорида с углеводородным радикалом жирных кислот кокосового масла C8–C14 в качестве заместителя, содержание активного вещества 75%); Азол-138 (N,N,N-триметил-N-(алкил 12–14) аммоний метилфосфит; Азол-139 (четвертичное аммониевое соединение из дикооалкилдиметиламина

и диметилфосфоната, с углеводородным радикалом жирных кислот кокосового масла C12–C14). Также использовали кремнийорганическое ПАВ (КОПАВ) U-851, α, ω -бис[3–метилсилокси]полидиметилметил-(10–карбоксихидрил)силоксан, синтезированное в Институте синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук.

Размер капель и частиц полимерных суспензий определяли методом фотонной корреляционной спектроскопии (динамического светорассеяния) с помощью лазерного анализатора частиц Zetasizer NanoZS (Malvern, Великобритания) [2].

Динамическое рассеяние света (ДРС) — представляет собой совокупность таких явлений как изменение частоты (доплеровский сдвиг), интенсивности и направления движения света, прошедшего через среду движущихся (броуновских) частиц. Это способ измерения частиц до 6 мкм в диаметре. ДРС измеряет броуновское движение частиц и соотносит его с их размером. При прохождении пучка света через суспензию происходит его упругое (рэлеевское) рассеяние. В случае ДРС используют лазерное излучение, которое является когерентным и монохроматическим. Измеряемой величиной служит так называемая автокорреляционная функция, определяемая по временному изменению интенсивности рассеиваемого излучения:

$$G(t_d) = 1/N \sum_i I(t_i)I(t_i - t_d) = (I(t)I(t - t_d)),$$

где $G(t_d)$ – автокорреляционная функция; N – число измерений, выполняемых в момент времени t_i ; $I(t_i - t_d)$ – интенсивность рассеивания света после определенного периода времени задержки t_d .

Суспензии готовили смешением углеводородной фазы (полимер, растворенный в растворителе) и водного раствора ПАВ в соотношении 1:1, соответственно. Первая стадия: приготовление низкодисперсной эмульсии с помощью магнитной мешалки. Размер капель находился в диапазоне от 20 до 100 мкм. Вторая стадия: диспергирование низкодисперсной эмульсии до получения высокодисперсной эмульсии с помощью гомогенизатора типа ротор-статор DIAХ-900 (Heidolph, Германия). Скорость диспергирования 24000 об/мин, время диспергирования 7–10 мин. Для отгонки растворителя использовали роторный испаритель RV 10 (IKA, Германия).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно опубликованным данным дисперсность эмульсии (выражаемая индексом полидисперсности, от англ. polydispersity index (*PdI*)), средний диаметр частиц (d_{cp}) и их заряд (ζ -потенциал) являются основными параметрами, определяющими устойчивость суспензий [3–5].

Исследования были начаты с изучения коллоидно-химических свойств поликарбонатных (ПК) и полиметилметакрилатных (ПММА) суспензий, приготовленных в присутствии КПАВ разного строения.

Были получены искусственные полимерные суспензии при использовании 5% раствора полимера. Концентрация ПАВ составила 6 мас. % в расчете на полимер.

В табл. 1 и 2 и на рис. 1 и 2 приведены коллоидно-химические свойства поликарбонатных и полиметилметакрилатных суспензий, полученных при использовании Катамина АБ и Азол-129 в разных концентрациях.

Таблица 1. Сравнительный анализ коллоидно-химических свойств поликарбонатных искусственных полимерных суспензий, стабилизированных Катамином АБ, Азолом-129, Азолом-138 и Азолом-139, взятых в разных концентрациях

Table 1. Comparative analysis of the colloidal-chemical properties of artificial polycarbonate polymer suspensions stabilized by Katamin AB, Azol-129, Azol-138, and Azol-139, taken at different concentrations

Полимер Polymer	ПАВ Surfactant	d_{cp} , нм d_{av} , nm	<i>PdI</i>	ζ -потенциал, мВ ζ -potential, mV	Коагулюм, мас. % Coagulum, wt %
ПК PC	Катамин АБ Katamin AB	620	0.140	+30	–
	Азол-129 Azol-129	830	0.290	+24	–
	Азол-138* Azol-138*	1050	0.330	+25	10
	Азол-139 Azol-139	–	–	–	100

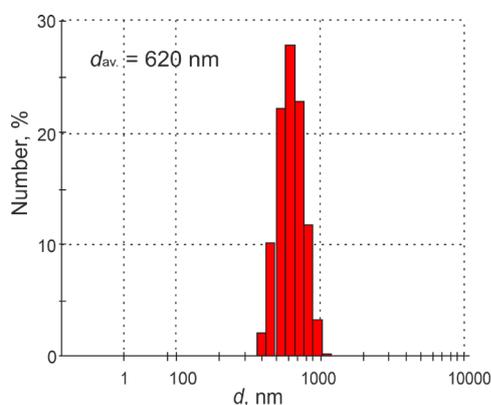
*Размеры очищенной от коагулома полимерной суспензии.

*The size of the coagulum-free polymer suspension.

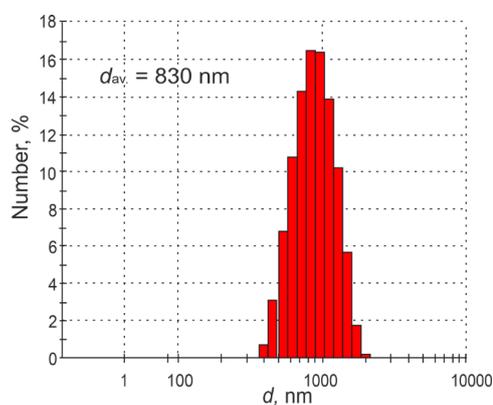
Таблица 2. Сравнительный анализ коллоидно-химических свойств полиметилметакрилатных искусственных полимерных суспензий, стабилизированных Катамином АБ, Азолом-129, Азолом-138 и Азолом-139

Table 2. Comparative analysis of the colloidal-chemical properties of artificial polymethyl methacrylate PS stabilized by Katamin AB, Azol-129, Azol-138, and Azol-139

Полимер Polymer	ПАВ Surfactant	d_{cp}, nm d_{av}, nm	<i>PdI</i>	ζ -потенциал, мВ ζ -potential, mV	Коагулум, мас. % Coagulum, wt %
ПММА PMMA	Катамин АБ Katamin AB	260	0.270	+39	–
	Азол-129 Azol-129	300	0.359	+28	–
	Азол-138 Azol-138	310	0.375	+23	–
	Азол-139 Azol-139	–	–	–	100



а



б

Рис. 1. Среднечисловые распределения частиц поликарбонатных искусственных полимерных суспензий по размерам при использовании в качестве ПАВ: а) Катамин АБ, б) Азол-129.

Fig. 1. The number-average particle size distributions of polycarbonate artificial polymer suspensions when used in the production process as a surfactant: (a) Katamin AB, (b) Azol-129.

В табл. 1 и на рис. 1 приведены среднечисловые диаметры частиц поликарбонатных искусственных полимерных суспензий при использовании Катамина АБ, Азола-129, Азола-138 и Азола-139. Образец полимерной суспензии, полученный при использовании в качестве стабилизатора Катамина АБ, характеризовался высокой устойчивостью, узким распределением частиц по размерам и диаметром частиц в интервале от 500 нм до 700 нм (80% частиц по числу). Образцы, стабилизированные Азолом-129 и Азолом-138, имели наибольший диаметр и распределение частиц по размерам. В присутствии Азола-139 не удалось получить устойчивые искусственные полимерные суспензии – значительная часть полимера коагулировала при удалении растворителя под вакуумом. Вероятнее всего, это объясняется недостаточной устойчивостью частиц в присутствии нетипичного

КПАВ с структурой гидрофобной части молекулы ПАВ (наличием двух алкильных радикалов с длиной цепи C12–C14). Наиболее устойчивые суспензии получились при использовании Катамина АБ. Данный результат можно объяснить тем, что он обладает большей поверхностной активностью по сравнению с другими представленными стабилизаторами [6].

Данные по устойчивости полиметилметакрилатных полимерных суспензий при использовании ПАВ различного строения показали, что Катамин АБ позволяет получить частицы с наиболее узким распределением частиц по размерам (табл. 3 и рис. 2).

Влияние концентрации полимера в исходном растворе хлороформа на все стадии синтеза оценивали по конечным свойствам полимерных суспензий. Концентрацию полимера в растворе изменяли в интервале от 5% до 20% (табл. 4 и рис. 3).

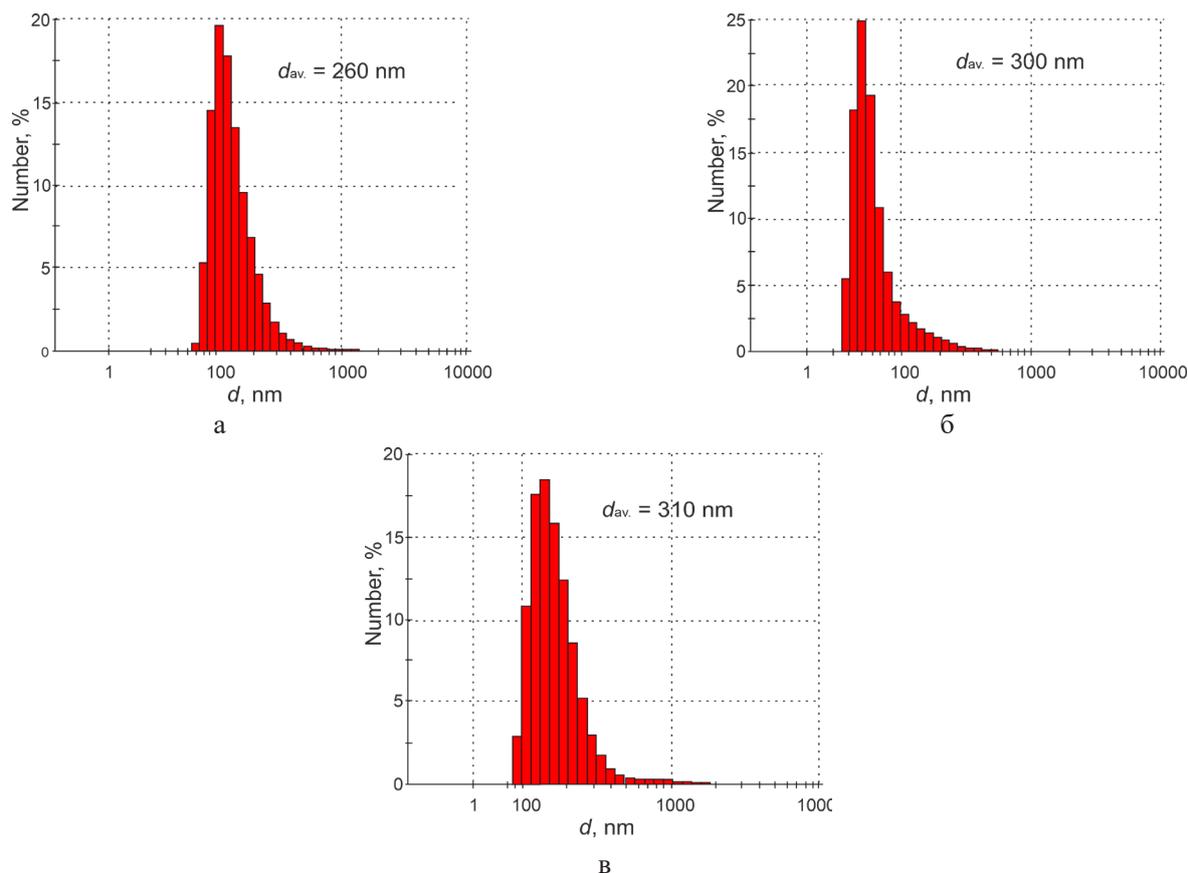


Рис. 2. Среднечисловые распределения частиц полиметилметакрилатных искусственных полимерных суспензий по размерам при использовании в качестве ПАВ:
а) Катамин АБ, б) Азол-129, в) Азол-138.

Fig. 2. The number-average particle size distributions of polymethyl methacrylate artificial polymer suspensions when the following surfactants were used in the production process:
(a) Katamin AB, (b) Azol-129, and (c) Azol-138.

Таблица 3. Устойчивость поликарбонатных и полиметилметакрилатных искусственных полимерных суспензий в зависимости от концентрации полимера
Table 3. The stability of artificial polycarbonate and polymethyl methacrylate polymer suspensions depending on the polymer concentration

Концентрация полимера в растворе Polymer concentration in solution	Устойчивость во времени Stability in time	
	ПК PC	ПММА PMMA
5	+	+
10	+	+
20	+/-	+/-

Видно, что суспензии, полученные при использовании растворов полимеров с концентрацией 5% и 10%, устойчивы, средние диаметры частиц и *PdI* увеличиваются с повышением концентрации полимера.

Растворы с концентрацией полимера более 10% имели высокую вязкость, вследствие чего процессы эмульгирования, дегазации и концентрирования полимерных суспензий были затруднены.

Из литературы известно, что при применении смесей ПАВ в определенном объемном соотношении компонентов может иметь место синергетический эффект, который существенно влияет на коллоидно-химические свойства полимерных суспензий [6].

В качестве смеси ПАВ были выбраны Азол-129/Азол-138 и Катамин АБ/Азол-138. Коллоидно-химические свойства полимерных суспензий, полученных в присутствии данных смесей, представлены в табл. 5, 6 и на рис. 4.

Таблица 4. Коллоидно-химические свойства поликарбонатных суспензий, стабилизированных Катамином АБ и полученных при различной концентрации полимера в растворе
Table 4. Colloidal-chemical properties of polycarbonate suspensions stabilized using Katamin AB and obtained at various polymer concentrations in solution

Концентрация, % Concentration, %	d_{cp} , нм d_{av} , нм	<i>PdI</i>	Коагулум, мас. % Coagulum, wt %
5	620	0.140	–
10	1260	0.330	–
20	840	0.270	50

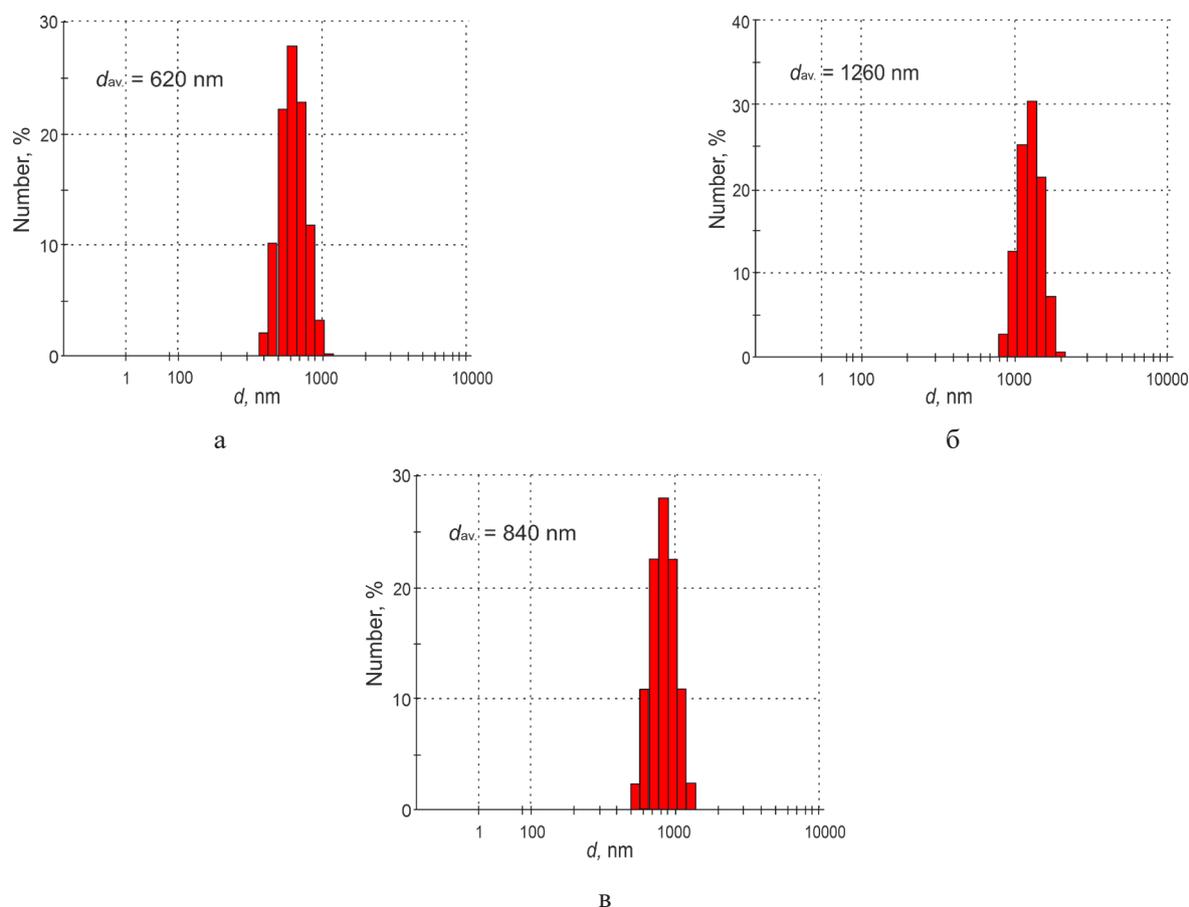


Рис. 3. Числовые распределения частиц полимерных суспензий по размерам для суспензий, представленных в табл. 3: а) 5%, б) 10%, в) 20%.

Fig. 3. Numerical distributions of particle size in polymer suspensions for the suspensions presented in Table 3: (a) 5%, (b) 10%, and (c) 20%.

Таблица 5. Коллоидно-химические свойства поликарбонатных полимерных суспензий при использовании смеси ПАВ Азол-129/Азол-138 в различных соотношениях
Table 5. Colloidal-chemical properties of polycarbonate polymer suspensions obtained using varied ratios of the surfactants Azol-129/Azol-138

ПАВ Surfactants	Соотношение ПАВ Surfactants ratio	d_{cp} , нм d_{av} , нм	<i>PdI</i>	ζ-потенциал, мВ ζ-potential, mV	Коагулум, мас. % Coagulum, wt %
Азол-129/Азол-138 Azol-129/Azol-138	9:1	588	0.101	+22	нет no
Азол-129/Азол-138 Azol-129/Azol-138	3:1	770	0.331	+16	–
Азол-129/Азол-138 Azol-129/Azol-138	2:1	1510	0.255	+6	10

Таблица 6. Коллоидно-химические свойства поликарбонатных полимерных суспензий, стабилизированных смесью ПАВ Катамин АБ/Азол-138 и взятых в различных массовых соотношениях
Table 6. Colloidal-chemical properties of polycarbonate polymer suspensions stabilized with Katamin AB/Azol-138 in different mass ratios

ПАВ Surfactants	Соотношение ПАВ Surfactants ratio	d_{cp} , нм d_{av} , нм	<i>PdI</i>	ζ -потенциал, мВ ζ -potential, mV	Коагулум, мас. % Coagulum, wt %
Катамин АБ/Азол-138 Katamin AB/Azol-138	9:1	402	0.136	+32	нет no
Катамин АБ/Азол-138 Katamin AB/Azol-138	3:1	607	0.320	+13	5
Катамин АБ/Азол-138 Katamin AB/Azol-138	2:1	694	0.382	+7	10

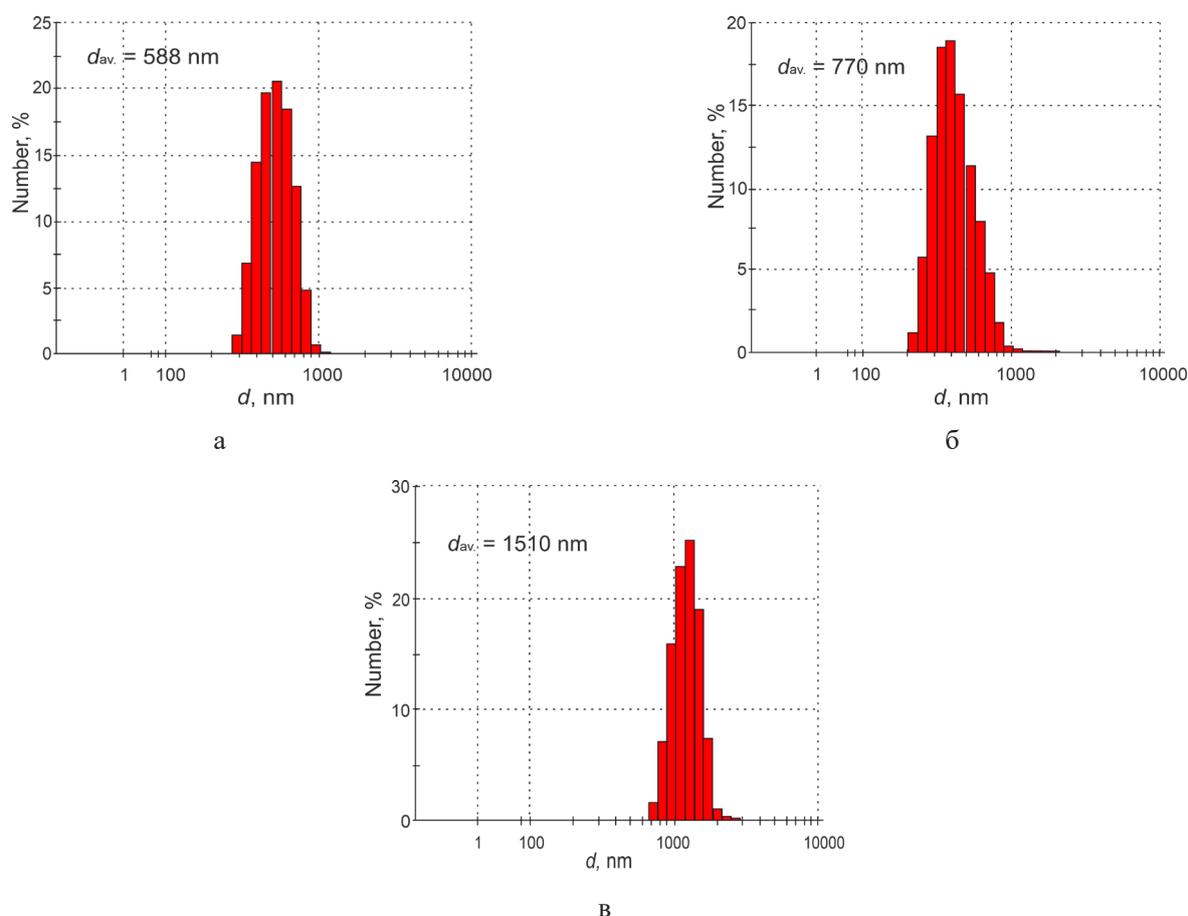


Рис. 4. Числовые распределения частиц полимерных суспензий по размерам для суспензий, представленных в табл. 4: а) 9:1, б) 3:1, в) 2:1.

Fig. 4. Numerical distributions of polymer suspension particle size for suspensions presented in Table 4: (a) 9:1, (b) 3:1, and (c) 2:1.

Проведенные исследования показали, что при использовании смесей Азол-129/Азол-138 и Катамин АБ/Азол-138 наблюдается значительное повышение устойчивости по сравнению с полимерными суспензиями, где данные ПАВ используются по отдельности. При этом максимальный эффект (снижение диаметра частиц) наблюдается при использовании каждой из смесей ПАВ, Азол-129/Азол-138 и Катамин АБ/Азол-138, в соотношении 9:1.

Полимерные суспензии, стабилизированные Азолом-129, характеризовались невысокой устойчивостью и средним диаметром частиц порядка 800 нм. Добавление в систему одной массовой части Азола-138 значительно повысило устойчивость полимерной суспензии и снизило диаметр частиц до 580 нм. При добавлении к Катамину АБ Азола-138 средний диаметр частиц уменьшился с 620 нм до 400 нм.

В последние годы проявился интерес к КОПАВ, нерастворимым в воде, что обусловлено возможностью получения агрегативно устойчивых полимерных суспензий при полимеризации виниловых мономеров [7, 8].

В этих работах было установлено, что формирование межфазного адсорбционного слоя на поверхности частиц в их присутствии принципиально отличается от наблюдаемого в присутствии водорастворимых ПАВ [3, 7].

Это отличие определяется тем, что адсорбция нерастворимого в воде ПАВ из мономерной фазы приводит к образованию толстого прочного межфазного слоя. Эти результаты продемонстрированы при изучении коллоидно-химических свойств КОПАВ различного строения [9–16].

В качестве КОПАВ был использован карбоксилсодержащий КОПАВ α,ω -бис(триметилсилокси-оли-

годиметилметил-(10-карбокситецил)силоксан (U-851) и его смесь с КПАВ Азол-129 и Катамин АБ.

Концентрация смеси ПАВ составила 9 мас. % в расчете на полимер: соотношение КПАВ/КОПАВ 2:1, соответственно. Концентрация U-851 составляла 3 мас. % в расчете на полимер.

Для получения устойчивых полимерных суспензий использовали смеси КПАВ Катамин АБ и Азол-129 с карбоксилсодержащим КОПАВ U-851.

Концентрация смеси ПАВ составила 9 мас. % в расчете на полимер: соотношение КПАВ/КОПАВ 2:1, соответственно. Концентрация ПАВ U-851 в суспензии, стабилизированной только им, составляла 6 мас. % в расчете на полимер.

Данные об устойчивости полученных суспензий и их коллоидно-химических свойств представлены в табл. 7, 8 и на рис. 5.

Таблица 7. Устойчивость поликарбонатных суспензий во времени при использовании смеси КПАВ и КОПАВ
Table 7. Stability of polycarbonate suspensions over time when a mixture of a cationic surfactant and an organosilicon surfactant is used

ПАВ Surfactant	Устойчивость во времени Stability over time
Катамин АБ/U-851 Katamin AB/U-851	+
Азол-129/U-851 Azol-129/U-851	+
U-851	-

Таблица 8. Коллоидно-химические свойства искусственных поликарбонатных суспензий, полученных при использовании U-851 и его смеси с КПАВ
Table 8. Colloidal-chemical properties of artificial polycarbonate suspensions obtained using U-851 and its mixture with a cationic surfactant

ПАВ Surfactant	d_{sp}, nm d_{av}, nm	<i>PdI</i>	ζ -потенциал, мВ ζ -potential, mV	Коагулум, мас. % Coagulum, %
Катамин АБ/U-851 Katamin AB/U-851	360	0.240	+32	-
Азол-129/U-851 Azol-129/U-851	410	0.287	+25	-
U-851	-	-	-	100

Обе суспензии характеризовались достаточно узким распределением частиц по размерам, средним диаметром частиц 360 нм и зарядом +32 мВ для смеси Катамин АБ/U-851, а для смеси Азол-129/U-851 410 нм и +25 мВ, соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложена методология получения устойчивых поликарбонатных и полиметилметакрилатных искусственных полимерных суспензий с

положительным зарядом частиц. Показано, что для их получения могут быть использованы КПАВ отечественного производства с концентрацией 6 мас. % в расчете на полимер. Целесообразно использовать смеси КПАВ, взятые в массовом соотношении 9:1: Азол-129 и Азол-138, Катамин-АБ и Азол-138, с общей концентрацией ПАВ 10 мас. % в расчете на полимер для формирования в межфазных адсорбционных слоях более прочного электростатического барьера устойчивости. Увеличить устойчивость

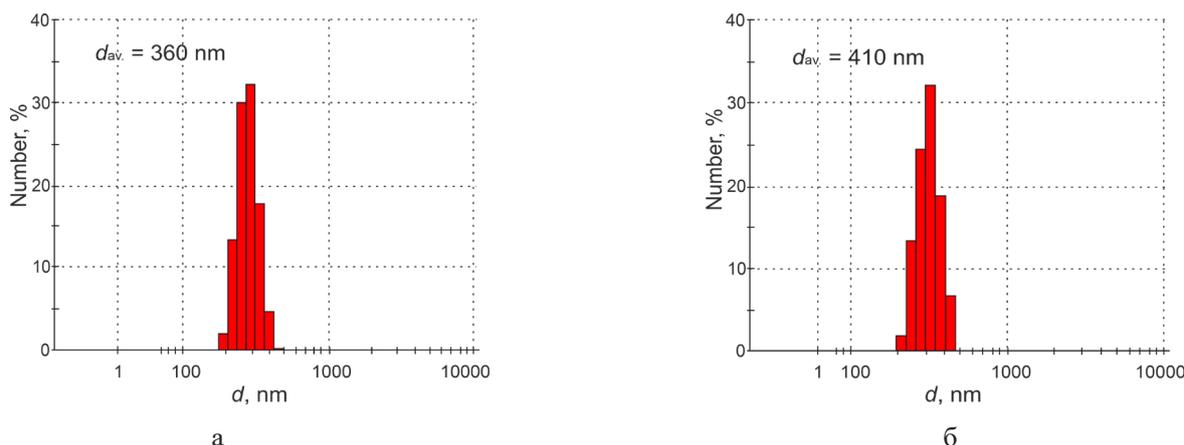


Рис. 5. Числовые распределения частиц поликарбонатных суспензий по размерам в зависимости от выбора смеси ПАВ: а) Катамин АБ/U-851, б) Азол-129/U-851.

Fig. 5. Numerical distributions of polycarbonate suspensions particle sizes depending on the choice of surfactant mixtures: (a) Katamin AB/U-851 and (b) Azol-129/U-851.

суспензий во времени можно при использовании смесей Катамин-АБ и U-851, Азол-129 и U-851 за счет формирования в межфазных адсорбционных слоях полимерных частиц структурно-механического и электростатического барьеров устойчивости.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 19-33-90128\19.

Acknowledgments

The reported study was funded by the Russian Foundation for Basic Research, project No. 19-33-90128\19.

Вклад авторов

А.Н. Стужук – разработка способа получения агрегативно-устойчивых искусственных полиметилметакрилатных и поликарбонатных суспензий с положительным зарядом частиц, написание и редактирование текста статьи, подготовка рукописи к публикации;

А.В. Школьников – сбор и обработка материала, синтез агрегативно-устойчивых искусственных полиметилметакрилатных и поликарбонатных суспензий с положительным зарядом частиц;

П.С. Горбатов – синтез искусственных полиметилметакрилатных суспензий с положительным за-

рядом частиц, статистическая обработка результатов исследований;

И.А. Грицкова – разработка концепции научной работы, консультация по вопросам методологии проведения исследования, написание и редактирование текста статьи.

Authors' contributions

A.N. Stuzhuk – development of a method for obtaining aggregate-stable artificial polymethylmethacrylate and polycarbonate suspensions with a positive charge of particles, writing and editing the text of the article, and preparing a manuscript for publication;

A.V. Shkolnikov – collecting and processing the material, synthesis of aggregate-stable artificial polymethyl methacrylate and polycarbonate suspensions with a positive particle charge;

P.S. Gorbatov – synthesis of artificial polymethylmethacrylate suspensions with a positive particle charge, and statistical processing of research results;

I.A. Gritskova – developing the scientific concept, offering consultation on the research methodology, writing and editing the text of the article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мэнсон Дж., Сперлинг Л. *Полимерные смеси и композиции*: пер. с англ., под ред. Ю.К. Годовского. М.: Химия; 1979. 440 с.
2. Tscharnuter W. Photon correlation spectroscopy in particle sizing. In: Meyers R.A. (Ed.) *Encyclopedia of Analytical Chemistry*. 2000. P. 5469–5485.

REFERENCES

1. Manson J., Sperling L. *Polimernye smesi i kompozity (Polymer mixtures and composites)*: trans. from Engl.). Godowsky Yu.K. (Ed.). Moscow: Khimiya; 1979. 440 p. (in Russ.).
[Manson J., Sperling L. *Polymer blends and composites*. NY: Plenum Press; 1976. 513 p.]

3. Грицкова И.А., Копылов В.М., Симакова Г.А., Гусев С.А., Маркузе И.Ю. Полимеризация стирола в присутствии поверхностно-активных кремнийорганических веществ различной природы. *Высокомолекулярные соединения. Серия Б.* 2010;52(9):1689–1695.
4. Грицкова И.А., Ботова О.И., Шитов Р.О., Гринфельд Е.А. Получение искусственных латексов на основе изопрен-стирольного термоэластопласта. *Тонкие химические технологии.* 2014;9(5):61–63.
5. Larsson M., Hill A., Duffy J. Suspension stability; why particle size, zeta potential and rheology are important. *Annu. Trans. Nord. Rheol. Soc.* 2012;12:209–214.
6. Холмберг К., Йёнссон Ю., Кронберг Б., Линдман Б. *Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах.* М.: Лаборатория знаний; 2020. 531 с. ISBN 978-5-00101-767-7
7. Жданов А.А., Грицкова И.А., Чирикова О.В., Щеголихина О.И. Кремнийорганические ПАВ – стабилизаторы частиц полистирольных суспензий. *Коллоидный журнал.* 1995;57(1):30–33.
8. Семчиков Ю.Д. *Высокомолекулярные соединения.* Москва, Н. Новгород: Изд-во НГТУ: Издательский центр «Академия»; 2008. 368 с. ISBN 978-5-7695-5389-9, 5-7695-3028-6.
9. Lee V.Ya. *Organosilicon Compounds: Theory and Experiment (Synthesis).* Academic Press; 2017. 758 p. ISBN 978-0-12-801981-8
10. Саладжес Д.Л. Поверхностно-активные вещества – виды и применение. Буклет FIRP 300 А, 2002. 49 с.
11. Srividhya M., Chandrasekar K., Baskar G., Reddy B.S.R., Physico-chemical properties of siloxane surfactants in water and their surface energy characteristics. *Polymer.* 2007;48(5):1261–1268. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2007.01.015>
12. Curstedt T., Calkovska A., Johansson J. New Generation Synthetic Surfactants. *Neonatology.* 2013;103(4): 327–330. <https://doi.org/10.1159/000349942>
13. Шинода К., Накагава Т., Тамамуси Б., Исемура Т. *Коллоидные поверхностно-активные вещества.* пер. с англ., под ред. А.Б. Таубмана, М.: Мир, 1966. 319 с.
14. Зимон А.Д. *Адгезия жидкости и смачивание.* М.: Химия; 1974. 416 с.
15. Liu J., Zhang F.F., Song Y.H., Lv K. Zhang N., Li Y.C. The synthesis of nonionic hyperbranched organosilicone surfactant and characterization of its wetting ability. *Coatings.* 2021;11(1). <https://doi.org/10.3390/coatings11010032>
16. Aveyard B. *Surfactants: In Solution, at Interfaces and in Colloidal Dispersions.* Oxford, New-York: Oxford University Press; 2019. 576 p. ISBN 978-0-19-882860-0
2. Tscharnuter W. Photon correlation spectroscopy in particle sizing. In: Meyers R.A. (Ed.) *Encyclopedia of Analytical Chemistry.* 2000. P. 5469–5485.
3. Gritskova I.A., Kopylov V.M., Simakova G.A., Gusev S.A., Markuze I.Yu. Polymerization of styrene in the presence of surface-active organosilicon substances of various nature. *Polym. Sci. Ser. B.* 2010;52(9):1689–1695. <https://doi.org/10.1134/S1560090410090046>
4. Gritskova I.A., Botova O.I., Shitov R.O., Grinfeld E.A. Preparation of artificial latexes based on isoprene-styrene thermoplastic elastomers. *Fine Chemical Technologies.* 2014;9(5):61–63 (in Russ.)
5. Larsson M., Hill A., Duffy J. Suspension stability; why particle size, zeta potential and rheology are important. *Annu. Trans. Nord. Rheol. Soc.* 2012;12:209–214.
6. Holmberg K., Jönsson Yu., Kronberg B., Lindman B. *Poverkhnostno-aktivnye veshchestva i polimery v vodnykh rastvorakh (Surfactants and polymers in aqueous solutions).* Moscow: Laboratoriya znaniy; 2020. 531 p. (in Russ.). ISBN 978-5-00101-767-7
- [Holmberg K., Jönsson Yu., Kronberg B., Lindman B. *Surfactants and polymers in aqueous solutions.* John Wiley & Sons; 2003. 562 p.]
7. Zhdanov A.A., Gritskova I.A., Chirikova O.V., Shchegolikhina O.I. Organosilicon surfactants as stabilizers of polystyrene suspensions particles. *Kolloidnyi zhurnal = Colloid J.* 1995;57(1):30–33 (in Russ.)
8. Semchikov Yu.D. *Vysokomolekulyarnye soedineniya (High-molecular compounds).* Moscow, N. Novgorod: NSTU: Publishing Center “Academy”; 2003. 368 p. (in Russ.)
9. Lee V.Ya. *Organosilicon Compounds: Theory and Experiment (Synthesis).* Academic Press; 2017. 758 p. ISBN 978-0-12-801981-8
10. Salages J.L. Surfactants. Types and Uses. FIRP Booklet 300 A; 2002. 49 p. URL: <https://dokumen.tips/documents/surfactants-types-and-uses.html>
11. Srividhya M., Chandrasekar K., Baskar G., Reddy B.S.R., Physico-chemical properties of siloxane surfactants in water and their surface energy characteristics. *Polymer.* 2007;48(5):1261–1268. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2007.01.015>
12. Curstedt T., Calkovska A., Johansson J. New Generation Synthetic Surfactants. *Neonatology.* 2013;103(4): 327–330. <https://doi.org/10.1159/000349942>
13. Shinoda K., Nakagawa T., Tamamushi B., Isemura T. *Kolloidnye poverkhnostno-aktivnye veshchestva. Fiziko-khimicheskie svoystva (Colloidal Surfactants: Some Physicochemical Properties trans: trans. from Engl.)*. Taubman A.B. (Ed.). Moscow: Mir; 1966. 319 p. (in Russ.)
- [Shinoda K., Nakagawa T., Tamamushi B., Isemura T. *Colloidal Surfactants: Some Physicochemical Properties trans.* New-York: Academic Press; 1963. 310 p. ISBN 978-1-4832-2923-2]
14. Zimon A.D. *Adgeziya zhidkosti i smachivanie.* М.: Himiya; 1974. 416 p. (in Russ.)
15. Liu J., Zhang F.F., Song Y.H., Lv K. Zhang N., Li Y.C. The synthesis of nonionic hyperbranched organosilicone surfactant and characterization of its wetting ability. *Coatings.* 2021;11(1). <https://doi.org/10.3390/coatings11010032>
16. Aveyard B. *Surfactants.* In: *Solution, at Interfaces and in Colloidal Dispersions.* Oxford, New-York: Oxford University Press; 2019. 576 p. ISBN 978-0-19-882860-0

Об авторах:

Стужук Александр Николаевич, аспирант кафедры химии и технологии высокомолекулярных соединений Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 86). E-mail: aleksandr-stuzhuk@mail.ru. <http://orcid.org/0000-0001-6593-3045>

Школьников Александр Васильевич, аспирант кафедры химии и технологии высокомолекулярных соединений Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 86). E-mail: sashka513@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-3320-3344>

Горбатов Павел Сергеевич, аспирант кафедры химии и технологии высокомолекулярных соединений Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 86). E-mail: refazer@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0003-4925-7176>

Грицкова Инесса Александровна, д.х.н., профессор кафедры химии и технологии ВМС Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119571, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 86). E-mail: inessagritskova@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-4358-1998>

About the authors:

Alexander N. Stuzhuk, Postgraduate Student, S.S. Medvedev Department of Chemistry and Technology of Macromolecular Compounds, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological University (86, Vernadskogo pr., Moscow, 119571, Russia). E-mail: aleksandr-stuzhuk@mail.ru. <http://orcid.org/0000-0001-6593-3045>

Alexander V. Shkolnikov, Postgraduate Student, S.S. Medvedev Department of Chemistry and Technology of Macromolecular Compounds, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological University (86, Vernadskogo pr., Moscow, 119571, Russia). E-mail: sashka513@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-3320-3344>

Pavel S. Gorbatov, Postgraduate Student, S.S. Medvedev Department of Chemistry and Technology of Macromolecular Compounds, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological University (86, Vernadskogo pr., Moscow, 119571, Russia). E-mail: refazer@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0003-4925-7176>

Inessa A. Gritskova, Dr. Sci. (Chem.), Professor, S.S. Medvedev Department of Chemistry and Technology of Macromolecular Compounds, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological University (86, Vernadskogo pr., Moscow, 119571, Russia). E-mail: inessagritskova@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-4358-1998>

*Поступила: 18.08.2021; получена после доработки: 27.10.2021; принята к опубликованию: 22.11.2021.
The article was submitted: August 18, 2021; approved after reviewed: October 27, 2021; accepted for publication: November 22, 2021.*