

ВЛИЯНИЕ ПОЛИСИЛОКСАНДИКАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ НА СВОЙСТВА БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО ЛАТЕКСА СКС-65ГП

Д. В. Быковский¹, А. В. Самотин¹, М. С. Лавлинская¹, В. А. Кузнецов¹,
Л. А. Корыстина², А. В. Сорокин¹, В. М. Ходеева¹

¹Воронежский государственный университет

²ОАО «Воронежсинтезкаучук»,

Поступила в редакцию 10.08.2018 г.

Аннотация. Цель работы состояла в изучении влияния добавок полисилоксандикарбоновой кислоты (ПСДК) в рецептуре синтеза бутадиен-стирольных латексов СКС-65ГП. Для этого были получены образцы латексов по стандартной рецептуре и с содержанием ПСДК в пределах 0.25-2.0 массовых частей сокращением количеств используемых классических эмульгаторов. Для все синтезированных образцов изучены их коллоидно-химические свойства, такие как механическая устойчивость, поверхностное натяжение, определены размеры частиц, а также получены пленки на основе синтезированных латексов. В ходе исследования установлено, что модифицированные латексы характеризуются практически таким же содержанием сухого вещества, в то время как величина поверхностного натяжения и минимальная температура пленкообразования снизились. Введение в изначальную полимеризационную массу кремнийорганического стабилизатора способствует получению системы с более узким распределением частиц по размерам. Отдельно стоит заметить, что использование водонерастворимого товарного эмульгатора ПСДК способствует значительному снижению пенообразующей способности латекса и повышению агрегативной устойчивости, определенной как образование коагулюма при фиксированном механическом воздействии. Улучшение этих характеристик способствует упрощению транспортировки и переработки латексов. Не менее важным является и влагопоглощающая способность пленок, получаемых из латексов. В ходе эксперимента установлено, что пленки, полученные из латексов, модифицированных полисилоксандикарбоновой кислотой, обладают практически такой же влагопоглощающей способностью, как и пленки, полученные из латексов, синтезированных по стандартной методике. Наилучшие результаты получены для латексов, содержащих 0.25-0.75 массовых частей эмульгатора полисилоксандикарбоновой кислоты. Таким образом, установлено, что введение в стандартную рецептуру латекса СКС-65ГП кремнийорганического модификатора полисилоксандикарбоновой кислоты в количестве 0.25-0.75 массовых частей способствует улучшению ряда потребительски важных характеристик, таких как агрегативная устойчивость, распределение частиц по размерам и пенообразующая способность. Свойства пленок, в первую очередь, влагопоглощающая способность, полученных на основе латексов, практически не изменяются от введения ПСДК в рецептуру.

Ключевые слова: полисилоксандикарбоновая кислота, бутадиен-стирольные латексы, латексные пленки, СКС-65ГП.

Водные полимерные дисперсии, полученные методом эмульсионной полимеризации, широко используются в различных областях промышленности. Они применяются в качестве связующего при производстве красок, клеев, аппретирования текстильных изделий, получения различных покрытий и др. [1-6].

© Быковский Д. В., Самотин А. В., Лавлинская М. С., Кузнецов В. А., Корыстина Л. А., Сорокин А. В., Ходеева В. М., 2019

Как известно, процесс получения латексов связан с использованием различных поверхностно активных веществ, которые выполняют двоякую роль: стабилизатора эмульсии мономеров в процессе синтеза и обеспечивают стабильность готового латекса при переработке и хранении [7-9].

Однако количество эмульгатора, присутствующего в латексе может играть и отрицательную роль, так как с увеличением его дозировки резко возрастает пенообразующая способность, снижа-

ется прочность пленок, уменьшается адгезия к различным подложкам [5-14].

Поэтому представляет интерес разработка методов синтеза латексов с пониженным содержанием эмульгатора. Одним из таких путей является модификация эмульсионных систем введением различных стабилизаторов, позволяющих снизить содержание эмульгатора в рецептуре синтеза.

Кроме того, следует отметить что снижение содержания эмульгатора в латексе приведет к снижению экологической нагрузки на окружающую среду, так как в большинстве случаев ПАВ являются бионеразлагаемыми продуктами [10-20].

В связи с чем цель работы состояла в изучении влияния добавок полисилоксандикарбоновой кислоты (ПСДК) в рецептуры синтеза бутадиенстирольных латексов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Синтез латексов проводился на опытной установке НТЦ ОАО «Воронежсинтезкаучук» в тринадцатилитровых аппаратах. В аппарат подавалась подготовленная водная фаза, в которую входили вода, эмульгаторы, буфер трилон Б, гидроокись натрия, лейканол и сульфат натрия (табл.1). Затем в аппарат подавался стирол с растворенным в нем ПСДК, а после продувки реактора азотом подавался бутадиен. После подачи всех ингредиентов в аппарате включалась мешалка и проводилось эмульгирование мономеров в течение 1 часа, затем аппарат нагревался до температуры 45 °С и при этой температуре через мерник подавался инициатор – водный раствор персульфата калия. Время подачи инициатора считалась началом реакции полимеризации. Синтез латекса проводился при температуре 45-55 °С до 100%-ной конверсии мономеров, что соответствовало сухому остатку 50-52 %. Отбор проб на сухой остаток проводился с интервалом в 2 часа.

Поверхностное натяжение (σ) латексов определяли методом отрыва кольца на тензиометре Дю-Нуи (ГОСТ 20216-74, стандарт ИСО 1409-74) и рассчитывали по формуле:

$$\sigma = K \cdot F,$$

где F - показание шкалы прибора в момент отрыва кольца от поверхности, мН/м; K - калибровочный коэффициент, определяемый измерением поверхностного натяжения дистиллированной воды.

Устойчивость латекса к механическим воздействиям определяли методом Марона-Улевича. Испытание состоит в том, что латекс (75 мл) подвергается действию силы сдвига, создаваемой погруженным в него металлическим ротором, находящимся в контакте с полиэтиленфталатной поверхностью. Измеряется количество коагулюма, образующееся в результате вращения ротора в течение определенного времени (5 мин) с фиксированными усилием (11.3 кг) и скоростью вращения (3000 об/мин). За меру устойчивости принимается количество образовавшегося коагулюма в % масс:

$$M = (W/S) \cdot 100,$$

где M – механическая устойчивость, %; W – масса полученного коагулюма, г; S – общая масса сухого остатка в латексе, г.

Гидродинамический диаметр латексных частиц, D_h , определяли с помощью анализатора размера частиц «*Nanotrac 150*» фирмы «*Microtrac Inc.*».

Способность латекса к пенообразованию изучали по следующей методике: в градуированную пробирку наливали 10 мл латекса, закрывали пробкой и встряхивали 10 раз. Затем измеряли объем полученной пены и оставляли пробирку в покое на 3 минуты. После этого повторно измеряли объем оставшейся пены.

Определение минимальной температуры пленкообразования проводили на термоградиент-

Таблица 1.

Рецептура синтеза латексов СКС-65ГП

№ п/п	Наименование компонента	Номер рецептуры латекса					
		0*	1	2	3	4	5
1	Стирол, м.ч.	65	65	65	65	65	65
2	Бутадиен, м.ч.	35	35	35	35	35	35
3	Парафинат калия, м.ч.	0.50	0.50	-	-	0.50	0.50
4	Сульфат калия, м.ч.	4.70	4.70	4.70	4.70	3.70	2.70
5	Лейканол, м.ч.	0.25	-	0.25	-	0.25	0.25
6	Неонол, м.ч.	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
7	ПСДК, м.ч.	-	0.25	0.5	0.75	1.0	2.0
8	NaOH, м.ч.	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
9	Na ₂ SO ₄ , м.ч.	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	ПСК, м.ч.	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
11	Трилон Б, м.ч.	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

* - латекс, полученный по стандартной методике

ной установке «Термоспектр». После установления заданных температур на термоградиентной панели при помощи аппликатора на поверхность полиэтилентерефталатной пленки наносят тонкий слой испытуемой пробы. Пробу выдерживают до полного высыхания. Проводят отсчет расстояния (L) в сантиметрах от начала измерительной шкалы на холодной части панели до границы между дискретной и непрерывной пленкой. Производят запись показаний цифровых индикаторов, расположенных на передней панели (T_1, T_2, T_3).

Расчет МТП производят по формулам:

$$\text{при } L > 10: \text{МТП} = T_2 + ((T_3 - T_2)/10) \cdot (L - 10),$$

$$\text{при } L \leq 10: \text{МТП} = T_1 + ((T_2 - T_1)/10) \cdot L,$$

где T_1, T_2, T_3 – температура левой, центральной, правой части панели, L – расстояние от начала шкалы до границы между дискретной и непрерывной пленкой.

Для приготовления пленки латекс, предварительно профильтрованный, доводят до 40 ± 1 -ной концентрации путем разбавления его водой. Отбирают 20 мл латекса и наливают на целлофан, предварительно смоченный водой и закрепленный на металлическом кольце. Диаметр кольца составляет 20 см. Латекс равномерным покачиванием распределяют на поверхности целлофана и оставляют для высушивания в сушильном шкафу при температуре (50 ± 5) °С до тех пор, пока пленка не станет полностью прозрачной. Сухую пленку надрезают по периметру, смачивают водой и отделяют от целлофана. Остатки влаги с пленки удаляют фильтровальной бумагой. Пленку припудривают тальком для предотвращения слипания и выдерживают при комнатной температуре не менее часа.

Испытание физико-механических свойств заключается в растяжении образца пленки до разрыва и измерении нагрузки, вызывающей разрыв, удлинения, при котором происходит разрыв, и удлинения, остающегося после разрыва (ГОСТ 13522-78). Для определения этих показателей

пользуются разрывной машиной «Tensometer 2020» производства фирмы «Alpha Technologies».

Набухание пленок в воде изучали по следующей методике: образцы латексов помещались на чашку Петри (в объеме 7 мл) и равномерно распределялись по её поверхности. Чашку с латексом помещали в сушильный шкаф до полного высушивания при температуре 45 °С. Высушенную пленку отделяли от поверхности чашки, и вырезали из неё образцы 10×10 мм. Полученные квадратики взвешивали и помещали их в бюксы с водой. Набухшие пленки извлекали из воды, промокали фильтровальной бумагой и взвешивали через определенные промежутки времени, фиксируя привес воды на полимере.

Набухание пленки в % определяется по следующей формуле:

$$B = (m_1 - m) \cdot 100/m,$$

где B – процент водопоглощения пленки, m_1 – масса образца пленки после набухания; m – масса образца пленки до набухания.

ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Образцы бутадиен-стирольных латексов СКС-65ГП с различным количеством введенной ПСДК были получены радикальной эмульсионной полимеризацией. Для всех синтезированных латексов были определены некоторые коллоидно-химические свойства, численные значения которых представлены в таблице 2.

Определение механической стабильности проводилось при рН 2.5 ± 0.2 , так как только в кислой среде обнаруживалась различие в значениях механической стабильности, при рН латексов 7.5 ± 0.2 и выше все образцы имели высокую механическую устойчивость, и коагулом отсутствовал. Как видно из представленных данных, при увеличении содержания модификатора полисилоксандикарбоновой кислоты в рецептуре синтеза от 0.25 до 0.75 масс.ч. механическая стабильность образцов латекса меняется незначительно,

Таблица 2.

Коллоидно-химические свойства полученных образцов бутадиен-стирольных латексов СКС-65ГП, модифицированных ПСДК

№	ПСДК, м.ч.	С.О., %	σ , мН/м	Минимальная температура пленкообразования, °С	Механическая стабильность, % (при рН 2.5)	Пенообразование, мл (после 10 встряхиваний)	D_h , нм
1	0	50.8	45.3	13	0.90	4.0	134
2	0.25	52.4	45.4	13	0.80	2.0	143
3	0.50	49.6	46.0	12	0.50	3.0	150
4	0.75	59.4	40.2	11	0.40	3.0	157
5	1.00	50.2	39.9	10	0.24	2.0	200
6	2.00	48.6	42.3	-	-	2.5	225

Быковский Д. В., Самотин А. В., Лавлинская М. С., Кузнецов В. А., Корыстина Л. А., Сорокин А. В., Ходеева В. М.

однако при дальнейшем увеличении дозировки ПСДК механическая стабильность падает. При изменении рецептуры синтеза в сторону уменьшения количества эмульгаторов и с содержанием ПСДК 0.25 масс.ч. получены наилучшие результаты механической устойчивости латекса.

Также стоит отметить, что с увеличением дозировки модификатора ПСДК степень монодисперсности частиц получаемых латексов увеличивается. Данные о размере частиц, полученные на приборе «Nanotrac 150», представлены в таблице 1. Установлено, что при содержании эмульгатора 3.0 масс.ч. и увеличении дозировки ПСДК от 0.5 до 1.0 происходит постепенное снижение размера частиц, однако дальнейшее увеличение дозировки ПСДК приводит к обратному эффекту, что, по-видимому, требует более детального изучения механизма взаимодействия эмульгатора и модификатора.

Пенообразующая способность латекса является одним из важнейших потребительских и промышленных качеств товарного продукта. В ходе исследования установлено, что пенообразующая способность резко уменьшается с увеличением концентрации вводимой ПСДК [4-7].

Кроме того, следует отметить, что присутствие ПСДК в количестве 0.25 – 2.0 масс.ч. снижает минимальную температуру пленкообразования латекса, что, очевидно, связано с пластифицирующим действием модификатора на латексные глобулы. Данная характеристика очень важна для латексов, используемых в производстве лакокрасочных материалов, где для более эффективного пленкообразования используются специальные добавки веществ, понижающих температуру пленкообразования (коалесцентоов).

Физико-механических свойствах пленок, полученных из образцов модифицированных латексов, мало отличаются от свойств пленок латексов, полученных по стандартной рецептуре. Присутствию 0.25 масс.ч. ПСДК приводит к увеличению прочности пленки и снижению ее эластичности, что можно объяснить оптимальным сочетанием соотношения дозировки эмульгатора и пластифицирующего действия ПСДК на полимерные глобулы, что привело к более полной коалесценции латексных глобул в процессе пленкообразования [1, 9-13].

Данные по водопоглощению пленок, полученных из данных образцов латексов, представлены на рисунке 1.

Как видно из представленного графика, замена лейканола и парафината калия не привело к существенному изменению водопоглощения пленок по

сравнению с контрольным образцом. Тогда как замена 2.0 масс.ч. сульфанола привела к снижению водопоглощения латексных пленок, что объясняется высокой гидрофильностью самого сульфанола.

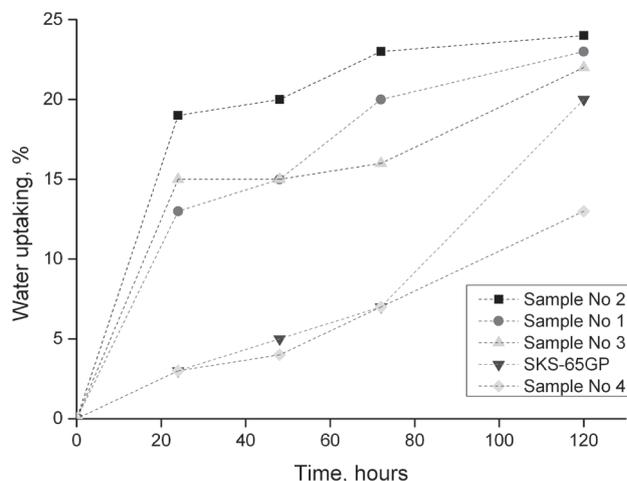


Рис. 1. Водопоглощение пленок, полученных на основе образцов латексов СКС-65ГП

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано что введение ПСДК в рецептуру синтеза позволяет получить эффективные эмульгирующие системы для синтеза бутадиен-стирольного латекса СКС-65ГП, что выражается в снижении коагулообразования в процессе синтеза даже при снижении дозировки эмульгатора, узким распределением частиц по размерам, устойчивостью в процессе синтеза, низким пенообразованием, повышенной механической устойчивостью. Так же отмечается снижение минимальной температуры пленкообразования латекса, что повышает его технологичность при переработке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грицкова И.А., Прокопов Н.И., Левачев С.М., Царькова М.С., Гусев С. А. Новейшие достижения в области гетерофазной полимеризации: учебное пособие под ред. проф. С.А. Кедика. М.: ЗАО ИФТ, 2018, 352 с.
2. Прокопов Н.И. Дисс...докт. хим. наук, Москва, 1999, 304 с.
3. Бахтина А.В. Дисс...канд. хим. наук, Москва, 2018, 106 с.
4. Елисеева В.И. Полимерные дисперсии. М.: Мир, 1980, 256 с.
5. Елисеева В.И. Полимерные суспензии. М.: Химия, 1980, 167 с.
6. Вережников В.Н., Гринфельд Е.А. Синтез латексов: учебное пособие. Воронеж: ВНИИСК, 2005, 47 с.

7. Вережников В.Н. Коллоидная химия поверхностно-активных веществ: учебное пособие. СПб: Издательство "Лань", 2015, 304 с.
8. Елисеева В.И., Иванчев С.С., Кучанов С.И. Эмульсионная полимеризация и ее применение в промышленности. М.: Химия, 1976, 243 с.
9. Грицкова И.А., Жаченков С.В., Царькова М.С., Левачев С.М., Симакова Г.А., Хаддаж М., Прокопов Н.И. // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 2011. т. 53, № 11. с. 1994-2004.
10. Грицкова И.А., Шрагин Д.И., Левачев С.М., Ежова А.А., Милушкова Е.В., Копылов В.М., Гусев С.А., Прокопов Н.И., Лобанова Н.А. // Тонкие химические технологии. 2016. т. 11, № 2. с. 5-16.
11. Грицкова И.А., Чадаев П.Н., Шрагин Д.И., Левшенко Е.Н., Злыднева Л.А., Волкова Е.В., Рассоха Н.В. // Известия высших учебных заведений. Серия: химия и химическая технология. 2011. т. 54, № 9. с. 70-73.
12. Gritskova I.A., Shragin D.I., Kopylov V.M., Zlydneva L.A., Levachev S.M. // Silicon. 2015. No 2. pp. 217-227.
13. Marchenko S.B., Gritskova I.A., Zaitsev S. Yu. // Colloids and Surfaces A: Physicochem Eng Aspects. 2002. Vol. 198-200. pp 501-507.
14. Tuncel A., Tuncel M., Ergun B., Alagoz C., Bahar T. // Colloid Surface A. 2002. Vol. 197, No 1-3. pp. 79-94.
15. Camli T., Tuncel M., Senel S., Tuncel A. // Journal of Applied Polymer Science. 2002. Vol. 84, No 2. pp. 414-429.
16. Wen G. Zhang, Zhang Y., Sun K., Fan Y. // Polymer Testing. 2002. Vol. 21. pp. 295-302.
17. Cai H.M., Wang T., Zhang J.Y., Zhang Y.Z. // Petroleum Science and Technology. 2010. Vol. 28. pp. 987-996.
18. Ouyang Ch., Wang Sh., Zhang Y., Zhang Y. // Polymer Degradation and Stability. 2006. Vol. 91. pp. 795-804.
19. Lu X., Isacsson U. // Polymer Testing. 2001. Vol. 20. pp. 77-86.
20. Romero N. // Colloid and Surface Physicochemical Engineering Aspects. 2002. Vol. 204. pp. 271-284.

*Воронежский государственный университет
Быковский Д. В., аспирант кафедры высокомолекулярных соединений и коллоидной химии
E-mail: nasredinne@mail.ru*

*Voronezh State University
Bykovskiy D. V., post-graduate student, dept. of macromolecules compounds and colloid chemistry
E-mail: nasredinne@mail.ru*

Самотин А. В., магистрант 1 года обучения кафедры высокомолекулярных соединений и коллоидной химии

Samotin A. V., master student of the first year education of chair of macromolecules compounds and colloid chemistry of Voronezh State University

*Лавлинская М. С., к.х.н., младший научный сотрудник базовой кафедры ЭФКО «Молекулярная биотехнология»
E-mail: maria.lavlinskaya@gmail.com*

*Lavlinskaya M. S., PhD (Chem), junior researcher of molecular biotechnology dept.
E-mail: maria.lavlinskaya@gmail.com*

*Кузнецов В. А., доцент, профессор кафедры высокомолекулярных соединений и коллоидной химии
E-mail: dr.v.kuznetsov@gmail.com*

*Kuznetsov V. A., Dr. Sci. (Chem.), professor of dept. of macromolecules compounds and colloid chemistry
E-mail: dr.v.kuznetsov@gmail.com*

Сорокин А. В., магистрант 2 года обучения кафедры высокомолекулярных соединений и коллоидной химии

Sorokin A. V., 2nd year education master student of chair of macromolecules compounds and colloid chemistry

Ходеева В. М., магистрант 2 года обучения кафедры высокомолекулярных соединений и коллоидной химии

Khodeeva V. M., 2nd year education master student of chair of macromolecules compounds and colloid chemistry

*ОАО «Воронежсинтезкаучук»
Корыстина Л. А., к.х.н., ведущий научный сотрудник*

*JSC «Voronezhsintezkauchuk»
Korystina Lyudmila Andreevna – PhD (Chem), senior researcher of*

THE INFLUENCE OF POLYSILOXANE DICARBOXYLIC ACID ON SKS-65GP STYRENE BUTADIENE LATEX PROPERTIES

D. V. Bykovskiy¹, A. V. Samotin¹, M. S. Lavlinskaya¹, V. A. Kuznetsov¹, L. A. Korystina²,
A. V. Sorokin¹, V. M. Khodeeva¹

¹ Voronezh State University

² JSC «Voronezhskintezkauchuk»

Abstract. The aim of this work is researching of the influence of polysiloxane dicarboxylic acid (PSDA) on properties of styrene butadiene latex SKS-65GP (SBL) and films based on it. PSDA is industry manufactured organic silicone water insoluble surfactant able to form stable oil-in-water emulsion in a presence of 0.1 weight parts. Synthesis of SBLs with different containing of the emulsifier PSDA was carried out by free radical emulsion polymerization with potassium persulfate initiator. Solid contents of SBLs is slightly depends on the emulsifier content in the initial polymerization mixture. Surface tension of modified SBLs is negligibly higher in comparison to classical SBL. It was found via dynamic light scattering that size of the latex particles is decreased in a presence of 0.25-0.75 weight parts of PSDA compared to latex prepared by standard method. The growth of the content of the latter leads to particle size increasing. Mechanical stability evaluated as coagulum formation, and foam formation ability of SBLs also improved in a presence of 0.25-1.0 weight parts of PSDA. Latex films obtained from the modified SBLs by layer-by-layer growing possess the same mechanical properties. Water sorption properties of modified latex films (Fig.1) are the same for SBLs prepared with PSDA. To sum up, presence of 0.25-1.0 weight parts of PSDA in initial polymerization emulsion leads to improving of some properties of SBL and films based on it such as mechanical stability, foam formation of the modified SBL films.

Keywords: polysiloxane dicarboxylic acid, styrene-butadiene latex, SKS-65GP

REFERENCES

1. Grickova I.A., Prokopov N.I., Tsarkova M.S., Gusev S.A. Noveishie dostizheniya v oblasti geterofaznoy polymerizatsii: uchebnoe posobie pod red. prof. Kedika S.A. (The newest achievements in a range of emulsion polymerization). Moscow, ZAO IFT, 2018, 352 p. (in Russian)
2. Prokopov N.I. Diss...dr. chem. sci., Moscow, 1999, 304 p.
3. Bakhtina A.V. Diss...cand. chem. sci., Moscow, 2018, 106 p.
4. Eliseeva V.I. Polimernye dispersii (Polymeric dispersion). Moscow, Mir, 1980, 256 p. (in Russian)
5. Eliseeva V.I. Polimernye suspensii (Polymeric suspension). Moscow, Khimiya, 1980, 167 p. (in Russian)
6. Verezhnikov V.N., Grinfeld E.A. Sintez lateksov: uchebnoe posobie (Synthesis of latexes). Voronezh, VNIISK, 2005, 47 p. (in Russian)
7. Verezhnikov V.N. Kolloidnaya khimiya poverkhnostno-aktivnykh veschestv: uchebnoe posobie (Colloid chemistry of the surfactants). S-Petersburg, «Lan'», 2015, 304 p. (in Russian)
8. Eliseeva V.I., Ivanchev S.S., Kuchanov S.I. et al. Emulsionnaya polymerizatsiya i ee primeneniye v promyshlennosti (Emulsion polymerization and its application in industry). Khimiya, Moscow, 1976, 243 p. (in Russian)
9. Grickova I.A., Zhachenkov S.V., Tsarkova M.S., Levachev S.M., Simakova G.A., Haddaj M., Prokopov N.I. Polymer Science. Series B. 2011, Vol. 53 No 11-12, pp. 568-577.
10. Grickova I.A., Shragin D.I., Levachev S.M., Ezhova A.A., Milushkova E.V., Kopylov V.M., Gusev S.A., Prokopov N.I., Lobanova N.A. Fine chemical technologies, 2016, vol. 11, No. 2, pp. 5-16.
11. Grickova I.A., Chadaeva P.N., Shragin D.I., Levshenko E.N., Zlydneva L.A., Volkov E.V., Rossokha N.V. Izvestiya vysshikh uchenykh zavedeniy. Seriya: khimiya khimicheskaya tekhnologiya, 2011, Vol. 54, No 9, pp. 70-73.
12. Gritskova I.A., Shragin D.I., Kopylov V.M., Zlydneva L.A., Levachev S.M. Silicon, 2015, No 2, pp. 217-227.
13. Marchenko S.B., Gritskova I.A., Zaitsev S. Yu. Colloids and Surfaces A: Physicochem Eng Aspects, 2002, Vol. 198-200, pp 501-507.
14. Tuncel A., Tuncel M., Ergun B., Alagoz C., Bahar T. Colloid Surface A, 2002, Vol. 197, No 1-3, pp. 79-94.
15. Camli T., Tuncel M., Senel S., Tuncel A. Journal of Applied Polymer Science, 2002, Vol. 84,

No 2, pp. 414-429.

16. Wen G. Zhang, Zhang Y., Sun K., Fan Y. Polymer Testing, 2002, Vol. 21, pp. 295-302.

17. Cai H.M., Wang T., Zhang J.Y., Zhang Y.Z. Petroleum Science and Technology, 2010, Vol. 28, pp. 987-996.

18. Ouyang Ch., Wang Sh., Zhang Y., Zhang Y. Polymer Degradation and Stability, 2006, Vol. 91, pp. 795-804.

19. Lu X., Isacsson U. Polymer Testing, 2001, Vol. 20, pp. 77-86.

20. Romero N. Colloid and Surface Physicochemical Engineering Aspects, 2002, Vol. 204, pp. 271-284.