

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ КАТИОННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ КОАГУЛЯЦИИ КАУЧУКОВОГО ЛАТЕКСА

© С. С. Никулин¹, Н. С. Никулина², Е. В. Чурилина^{1,*}, В. Н. Вережников¹

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий,
394036, г. Воронеж, пр. Революции, д. 19

² Воронежский институт повышения квалификации сотрудников
Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам
гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий,
394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, д. 231
* E-mail: churilina1978@mail.ru

Поступила в Редакцию 25 ноября 2023 г.

После доработки 29 декабря 2023 г.

Принята к публикации 29 декабря 2023 г.

Проведена оценка коагулирующей способности катионных поверхностно-активных веществ, различающихся длиной радикалов, — децилтиридиний хлорида, додецилтиридиний хлорида, цетилтиридиний бромида, цетилтриметиламмоний бромида и алкилбензилдиметиламмоний хлорида. Показано, что расход исследуемых коагулянтов соответствует расходу катионного полиэлектролита полидиаллилдиметиламмоний хлорида, применяемого в промышленности. Выдвинута гипотеза действия катионных поверхностно-активных веществ на нарушение агрегативной устойчивости латексных систем и предложен механизм их действия, основанный на мицелло-глобулярном взаимодействии.

Ключевые слова: латекс; катионные ПАВ; коагуляция; каучук

DOI: 10.31857/S0044461823090049; EDN: VEZFWW

В шинной и резинотехнической промышленности традиционно используются эмульсионные каучуки, рынок которых остается наиболее емким [1]. Современная промышленность синтетического каучука является потребителем колоссального количества невозобновляемого природного сырья и оказывает отрицательное влияние на окружающую среду. При производстве эмульсионных каучуков основные отходы образуются на стадии их выделения [2]. Это связано с тем, что в процессе выделения каучуков из латекса используются солевые

коагулирующие агенты, расход которых составляет десятки или сотни килограмм на тонну каучука для солей металлов II и I группы Периодической системы соответственно. Поэтому разработка способов бессолевого или малосолевого выделения каучуков из латексов остается важной и актуальной задачей в настоящее время.

Особый интерес в этом направлении представляют катионные низкомолекулярные или высокомолекулярные коагулянты на основе аминных соединений. Их применение позволяет исключить сброс бионеразла-

гаемого лейканола в водоемы за счет его связывания в нерастворимый ионно-солевой комплекс и снизить расход коагулянта [3]. Однако некоторые коагулянты данного типа имеют существенный недостаток: при их использовании образуются каучуки, обладающие повышенной липкостью. Как показано ранее [4], предотвратить слипание полимерных частиц позволяет применение полидиаллилдиметиламмоний хлорида (товарный продукт ВПК-402) и Катамина АБ, относящегося к катионным поверхностно-активным веществам (КПАВ) и представляющего собой смесь алкилдиметилбензиламмоний хлоридов. Но высокая стоимость ВПК-402 сдерживает его внедрение в производстве синтетического каучука. Поскольку около 90% производимых в мире КПАВ приходится на четвертичные аммониевые соединения, они относятся к доступным реагентам и отличаются более низкой стоимостью по сравнению с полидиаллилдиметиламмоний хлоридом (ПДАДМАХ).

Поверхностно-активные вещества находят широкое применение в различных промышленных отраслях, в том числе в технологиях синтеза и переработки полимерных материалов [5, 6]. Известно, что поверхность промышленных латексов, полученных при производстве эмульсионных бутадиен-стирольных и бутадиен-нитрильных каучуков, для стабилизации которых используются в основном анионные ПАВ, заряжена отрицательно, поэтому наибольшее сродство к ней должны проявлять КПАВ. Однако в литературе вопросу их применения в технологии выделения каучуков из латексов не уделено особого внимания.

Цель исследования — оценка коагулирующей способности катионных поверхностно-активных веществ, выпускаемых в промышленных масштабах, в сравнении с низко- и высокомолекулярными аммонийными соединениями в технологии производства бутадиен-стирольных каучуков.

Экспериментальная часть

Объектом исследования выбран промышленный образец (АО «Воронежсинтезкаучук») бутадиен-стирольного латекса марки СКС-30АРК, полученный в присутствии эмульгатора — мыла на основе диспропорционированной канифоли и смоляных кислот таллового масла со следующими характеристиками: сухой остаток — 21.3 г·л⁻¹, содержание связанного стирола — 22.7 мас%, рН — 9.5, поверхностное натяжение — 57.1 мН·м⁻¹.

Процесс коагуляции проводили по методике, описанной в работе [7]. В качестве коагулирующих

агентов использовали водные растворы КПАВ с исходными концентрациями ~2.0 мас%, которые приготавливали из препаратов компании Astos Organic марки «ч.» без дополнительной очистки на дистиллированной воде (аквадистиллятор электрический ДЭ-4М, ООО «Ланфор РУС»).

Полноту коагуляции оценивали визуально по прозрачности серума и гравиметрически — по массе образующейся крошки каучука. Выделенные образцы каучука использовали для изготовления резиновых смесей и вулканизатов, которые в дальнейшем подвергали стандартным испытаниям. Определение физико-механических показателей вулканизатов осуществляли согласно требованиям ГОСТ 15627–2019.*

В качестве КПАВ при выделении каучука из латекса выбраны — децилпиридиний хлорид [C₁₀H₂₁N⁺C₅H₅]Cl⁻ (ДПХ); додецилпиридиний хлорид [C₁₂H₂₅N⁺C₅H₅]Cl⁻ (ДДПХ); цетилпиридиний бромид [C₁₆H₃₃N⁺C₅H₅]Br⁻ (ЦПБ); цетилтриметиламмоний бромид [CH₃(CH₂)₁₅N⁺(CH₃)₃]Br⁻ (ЦТМАБ); алкилбензилдиметиламмоний хлорид [C_nH_{2n+1}N⁺(CH₃)₂CH₂C₆H₅]Cl⁻ с n = 12–14 (АБДМАХ).

Обсуждение результатов

Среди катионных ПАВ весьма перспективными для промышленности рассматриваются четвертичные аммонийные и четвертичные пиридиниевые соли. Необходимо отметить, что эти соли наименее изучены, хотя отличаются от других ПАВ высокой поверхностной активностью как в кислой, так и в щелочной среде и хорошей совместимостью с веществами разной природы [8]. Установлено (табл. 1), что с увеличением расхода всех изучаемых коагулирующих агентов количество выделяемой крошки каучука закономерно возрастает, достигая максимального значения, соответствующего полной коагуляции, а затем снижается. Причиной последнего является стабилизация системы за счет перезарядки латексных частиц. Ранее [9] отмечалось аналогичное снижение эффективности коагулирующего действия при увеличении концентрации катионного реагента N,N-диметил-N-этил-N-дегидроабетиноиламмоний бромида, являющегося аналогом исследуемых в данной работе веществ. Факт перезарядки при введении катионактивных коагулянтов подтверждает также наличие максимума на кривой зависимости минутной

* ГОСТ 15627–2019. Межгосударственный стандарт. Каучуки синтетические бутадиен-метилстирольный СКМС-30АРК и бутадиен-стирольный СКС-30АРК.

Таблица 1

Влияние расхода коагулянтов на полноту выделения бутадиен-стирольного каучука СКС-30АРК из латекса

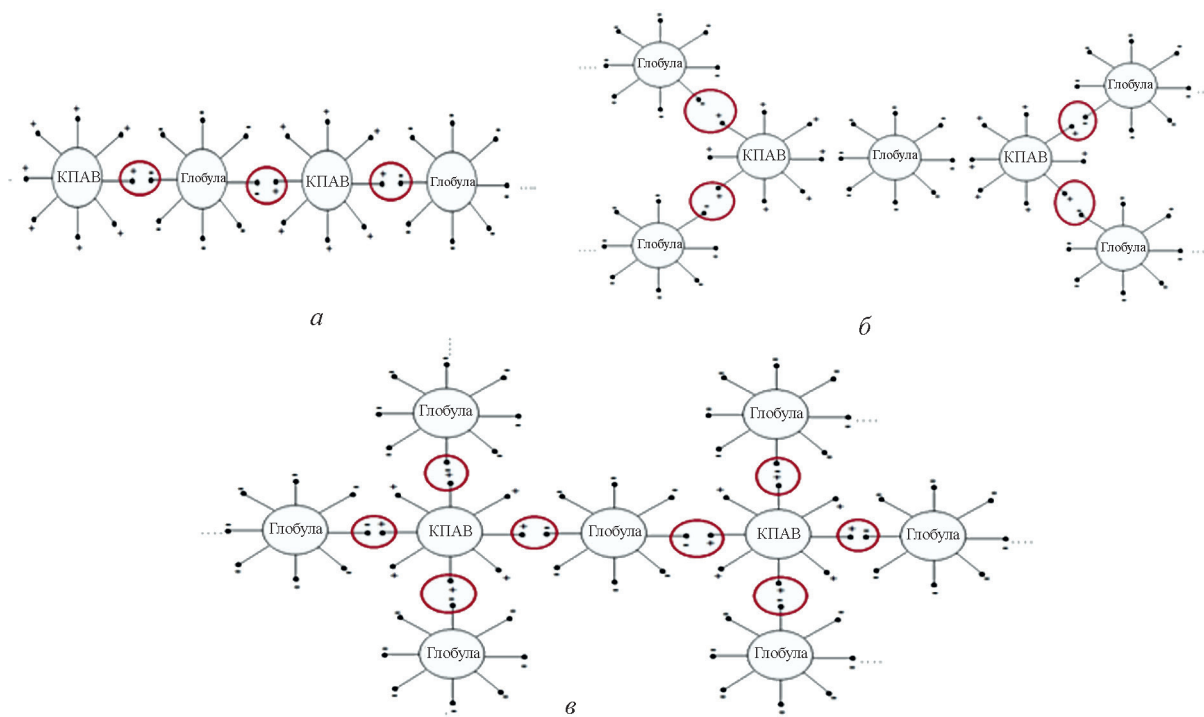
| Показатель | Значение | | | | | | | |
|---|---|------|------|------|------|------|------|------|
| | Додецилпиридиний хлорид (ДДПХ) | | | | | | | |
| Расход ДДПХ, кг·т ⁻¹ каучука | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 1.25 | 1.50 | 2.00 | 3.00 |
| Выход коагулюма, мас% | 12.7 | 20.9 | 42.2 | 80.2 | 89.1 | 93.6 | 94.2 | 90.4 |
| Оценка полноты протекания процесса | кнп | кнп | кнп | кнп | кнп | кп | кп | кнп |
| | Децилпиридиний хлорид (ДПХ) | | | | | | | |
| Расход ДПХ, кг·т ⁻¹ каучука | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 2.50 | 3.00 |
| Выход коагулюма, мас% | 27.3 | 37.8 | 59.9 | 85.0 | 91.4 | 92.1 | 94.4 | 91.6 |
| Оценка полноты протекания процесса | кнп | кнп | кнп | кнп | кп | кп | кп | кп |
| | Цетилпиридиний бромид (ЦПБ) | | | | | | | |
| Расход ЦПБ, кг·т ⁻¹ каучука | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 2.50 | 3.00 |
| Выход коагулюма, мас% | 17.5 | 50.2 | 50.8 | 75.0 | 90.2 | 93.2 | 95.2 | 90.8 |
| Оценка полноты протекания процесса | кнп | кнп | кнп | кнп | кнп | кп | кп | кнп |
| | Цетилтриметиламмоний бромид (ЦТМАБ) | | | | | | | |
| Расход ЦТМАБ, кг·т ⁻¹ каучука | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 2.50 | 3.00 |
| Выход коагулюма, мас% | 28.8 | 50.2 | 66.4 | 75.0 | 85.6 | 93.2 | 94.2 | 91.2 |
| Оценка полноты протекания процесса | кнп | кнп | кнп | кнп | кнп | кп | кп | кнп |
| | Алкилбензилдиметиламмоний хлорид (АБДМАХ) | | | | | | | |
| Расход АБДМАХ, кг·т ⁻¹ каучука | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 2.50 | 3.00 | 4.00 | |
| Выход коагулюма, мас% | 40.3 | 57.7 | 71.6 | 83.8 | 93.9 | 93.0 | 89.7 | |
| Оценка полноты протекания процесса | кнп | кнп | кнп | кнп | кп | кп | кнп | |

Примечание. рН водной фазы (серума) — 3.0, температура — 20°C, расход серной кислоты — 15 кг·т⁻¹ каучука; кнп — коагуляция неполная, кп — коагуляция полная.

мутности разбавленного латекса от добавки додецилпиридиний бромида [10]. Однако эффективность действия КПАВ различается по сравнению с ранее применяемыми низкомолекулярными катионными реагентами. Расход ДДПХ, ДПХ, ЦПБ, ЦТАБ в 15–20 раз меньше, чем расход сходного по химической структуре N,N-диаллил-N,N-диметиламмоний хлорида (25.0–30.0 кг·т⁻¹ каучука [11]), который не обладает способностью к мицеллообразованию. Исследуемые низкомолекулярные КПАВ по эффективности коагулирующего действия при выделении каучука сопоставимы с высокомолекулярным ПДАДМАХ, флокулирующая способность которого вызвана совокупным действием двух дестабилизирующих механизмов — нейтрализационного и мостикообразования, усиливающего действие первого [12]. Схожесть действия изученных коагулянтов с полимерными аммонийными соединениями может объясняться тем, что мицеллы ПАВ по размерам и молекулярно-кинетическим свойствам близки к макромолекулам высокомолекулярных соединений [13].

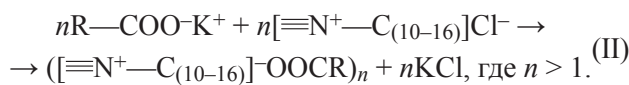
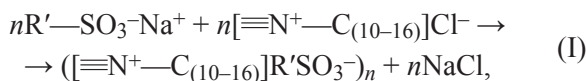
Особенность в поведении КПАВ в процессе выделения каучука связана, по-видимому, с их мицеллообразующей способностью. Значения критической концентрации мицеллообразования которых составляют $45 \cdot 10^{-3}$, $15 \cdot 10^{-3}$, $1 \cdot 10^{-3}$ и $0.96 \cdot 10^{-3}$ моль·л⁻¹ для ДПХ [14], ДДПХ [15], ЦПБ и ЦТАБ [16] соответственно.

На основании изложенного выше было выдвинуто предположение о том, что процесс коагуляции основан на взаимодействии латексных глобул, несущих на поверхности адсорбционные слои анионных ПАВ, не с отдельными молекулами катионного электролита (как в случае четвертичных солей аммония), а с мицеллами КПАВ (см. рисунок). Протекает своеобразная реакция поликонденсации с выделением низкомолекулярного продукта — неорганической соли (хлоридов натрия или калия) и образованием нестойкого комплекса латексная глобула–мицелла КПАВ. Данный комплекс является результатом химического взаимодействия катиона коагулянта с анионсодержащими компонентами эмульсионной системы: диспергатором — лейканолом, входящим в адсорб-

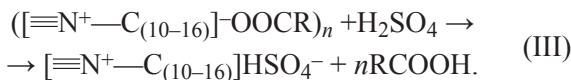


Предполагаемая структура взаимодействия отрицательно заряженных глобул латекса с мицеллами катионного ПАВ. *a* — двухлучевая структура, *b* — трехлучевая структура, *v* — четырехлучевая структура.

ционный слой на поверхности латексной глобулы, и эмульгатором — солями карбоновых кислот. Распад данного комплекса будет сопровождаться выделением в осадок нерастворимого в воде продукта взаимодействия КПАВ с анионным ПАВ по схеме



В кислой среде происходит только распад малоустойчивых карбоксилсодержащих полимерно-комплексных структур:



Возникновение помутнения при введении исследуемых КПАВ в раствор лейкола вследствие образования дисперсии нерастворимого недиссоциирующего комплекса подтверждает факт их взаимодействия. Образование водонерастворимых комплексов лейкола-четвертичная аммонийная соль доказано также в работе [9] методом ИК-спектроскопии.

Однако коагуляция латекса в присутствии ПАВ происходит не только за счет уменьшения сил электростатического отталкивания, но и за счет гидрофобных взаимодействий молекул ПАВ с неполярными участками поверхности латексных частиц. Причем, как показано ранее [17] при изучении влияния децил-, додецил- и цетилпиридиний хлоридов на агрегативную устойчивость гидрозолей наноалмазов, гидрофобные взаимодействия и поверхностное агрегирование играют при адсорбции ПАВ существенно более значимую роль, чем электростатические взаимодействия катионной пиридиниевой группы. Поэтому с увеличением длины углеводородного радикала в КПАВ гидрофобные взаимодействия усиливаются, и для дестабилизации системы требуется большее количество реагента, что находит отражение в расходе ПАВ (1.5 кг·т⁻¹ для реагентов, содержащих 10–12 атомов углерода, и ≥2.0 кг·т⁻¹ при содержании C₁₆).

Наблюдаемое влияние длины углеводородного радикала КПАВ на процесс выделения каучука из латекса также можно объяснить с помощью гипотетической модели взаимодействия мицелл латекса с КПАВ (см. рисунок). Мицеллы характеризуют числом агрегации, поскольку при содержании в радикале 10–12 атомов углерода ПАВ обладают невысоким числом агрегации: 51 — для ДПХ, 87 — для ДДПХ [16], вероятнее всего, для них характерна двухлучевая

Таблица 2

Характеристика каучука СКС-30АРК и вулканизатов, полученных бессолевой коагуляцией с применением КПАВ

| Показатель | Норма ГОСТ 15627–2019 | Вид коагулянтов | | | | |
|--|-----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------------|
| | | ВПК-402 [12] | децилпиридиний хлорид | цетилпиридиний бромид | цетилтриметил-аммоний бромид | алкилбензил-диметил-аммоний хлорид |
| Вязкость по Муни каучука | 45–58 | 50 | 51 | 53 | 52 | 55 |
| Условная прочность при растяжении, МПа | не менее 22.5 | 27.8 | 25.7 | 25.9 | 26.3 | 25.0 |
| Относительное удлинение при разрыве, % | не менее 420 | 540 | 510 | 560 | 600 | 590 |
| Относительная остаточная деформация, % | не более 20 | 15 | 18 | 18 | 20 | 17 |
| Массовая доля золы, % | не более 0.6 | 0.16 | 0.12 | 0.13 | 0.14 | 0.11 |
| Массовая доля органических кислот, % | 5.0–7.0 | 5.2 [4] | 6.1 | 5.9 | 6.0 | 5.5 |
| Массовая доля мыл органических кислот, % | не более 0.3 | 0.11 [4] | 0.13 | 0.10 | 0.08 | 0.10 |
| Эластичность по отскоку, % | не менее 37 | 40 | 39 | 37 | 36 | 38 |

структура (см. рисунок, *a*). Известно [18], что для прямых мицелл число агрегации является быстро возрастающей функцией длины углеводородного радикала. При содержании в радикале 16 атомов углерода размер мицеллы возрастает, и процесс коагуляции может протекать с образованием трех- и четырехлучевых структур (см. рисунок, *b*, *в*). Поскольку количество лучей обуславливается размером латексных глобул и мицелл, для других молекул КПАВ, отличающихся большим размером мицелл, число лучей может быть пять, шесть и более.

Положительные результаты по применению в технологическом процессе выделения каучуков из латекса КПАВ послужили основой для проведения дальнейших исследований, направленных на установление влияния предложенной новой технологии выделения каучука из латекса на показатели каучуков и вулканизатов, изготовленных на их основе (табл. 2).

Свойства каучуков и вулканизатов на их основе, выделенных с применением выпускаемых в промышленности мицеллообразующих КПАВ, по всем основным показателям соответствуют требованиям ГОСТ на каучук СКС-30АРК и сопоставимы с результатами тестирования образцов каучуков, полученных с использованием промышленного препарата ВПК-402.

Выводы

Применение КПАВ в технологии выделения каучука из латекса имеет прикладное значение, так как позволяет достичь полноты выделения каучука из латекса при расходах, соответствующих катионным полиэлектролитам, и позволяет преодолеть главный недостаток бессолевой коагуляции — повышенную липкость получаемого образца. Минимальные значения удельных расходов исследуемых ПАВ, при которых достигается наиболее полное выделение коагулюма, близки к величинам удельного расхода применяемого в производстве полимерного эффективного коагулянта полидиаллилдиметиламмоний хлорида (полиэлектролит ВПК-402). Выдвинута гипотеза о действии КПАВ на нарушение агрегативной устойчивости латексных систем. По своим показателям каучуки и вулканизаты обладают комплексом свойств, не уступающих стандартным образцам, и соответствуют показателям, заложенным в действующей нормативно-технической документации.

Все это позволяет рассматривать мицеллообразующие КПАВ как возможные заменители традиционного коагулянта NaCl или полимерного ВПК-402 в процессах выделения каучука из латексов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Информация о вкладе авторов

Е. В. Чурилина и В. Н. Вережников — выполнение экспериментов по коагуляции; Н. С. Никулина — выполнение эксперимента по определению физико-механических показателей резиновых смесей и вулканизатов на их основе, поиск литературы; С. С. Никулин — определение цели и объектов исследования с подборкой методик проведения экспериментов по коагуляции латексов.

Информация об авторах

Никулин Сергей Саввович, д.т.н., проф.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8141-8008>

Никулина Надежда Сергеевна, к.т.н.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2586-7738>

Чурилина Елена Васильевна, к.х.н., доцент

РИНЦ Autor ID: 641071

Вережников Виктор Николаевич, д.х.н., проф.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8785-7178>

Список литературы

- [1] Гусев Ю. К., Блинов Е. В., Папков В. Н. Современное состояние производства бутадиен-стирольных каучуков и его актуальные проблемы. Бутадиен-стирольные каучуки эмульсионной полимеризации // *Каучук и резина*. 2013. № 4. С. 52–59. <https://www.elibrary.ru/rcheqn>
- [2] Тезикова С. Л. Охрана окружающей среды при производстве синтетического каучука // *Каучук и резина*. 2020. Т. 79. № 4. С. 204–210. <https://www.elibrary.ru/runrfg>
- [3] Папков В. Н., Ривин Э. М., Блинов Е. В. Бутадиен-стирольные каучуки. Синтез и свойства. Воронеж: ВГУИТ, 2015. С. 175–180.
- [4] Один А. П., Рачинский А. В. Усовершенствованный метод выделения эмульсионных бутадиен-стирольных каучуков с использованием органических коагулянтов // *Каучук и резина*. 2009. № 3. С. 2–4. <https://www.elibrary.ru/tachnn>
- [5] Плетнев М. Ю. Поверхностно-активные вещества и композиции. М.: Клавель, 2002. С. 40–43.
- [6] Шмакова Н.С., Сдобникова О.А., Панкратов В.А., Канарский А.В. Влияние катионных ПАВ на физико-механические свойства пленочных материалов из полиэтилена и полипропилена // *Вестн. Казан. технол. ун-та*. 2014. Т. 17. № 1. С. 128–131. <https://www.elibrary.ru/rueigj>
- [7] Чурилина Е. В., Никулин С. С., Шаталов Г. В., Вережников В. Н., Сергеев М. В. Коагулирующая способность сополимеров на основе N,N-диаллил-N,N-диметиламмонийхлорида в процессах выделения каучуков разных марок // *ЖПХ*. 2023. Т. 96. № 1. С. 53–59. <https://doi.org/10.31857/S0044461823010073> [Churilina E. V., Nikulin S. S., Verezhnikov V. N., Shatalov G. V., Sergeev M. V. Coagulating ability of N,N-diallyl-N,N-dimethylammonium chloride-based copolymers in the separation of rubbers of various Grades // *Russ. J. Appl. Chem.* 2023. V. 96. N 1. P. 44–49. <https://doi.org/10.1134/S107042722301007X>].
- [8] Шмакова Н.С., Кири И.А., Романова В.А. Влияние катионных поверхностно-активных веществ на физико-механические свойства полимерных композиций // *Вестн. Воронеж. гос. ун-та инж. технологий*. 2020. Т. 82. № 1 (83). С. 225–229. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-1-225-229>
- [9] Крючкова Н. В., Орлов Ю. Н., Головачева О. А., Леванова С. В. Особенности флокуляции синтетических латексов при использовании четвертичного аммониевого соединения на основе смоляных кислот и канифоли // *ЖПХ*. 2011. Т. 84. № 2. С. 288–292. <https://www.elibrary.ru/ulligj> [Kryuchkova N. V., Orlov Y. N., Golovacheva D. A., Levanova S. V. Flocculation of synthetic latexes with a quaternary ammonium base derived from resin acids and rosin // *Russ. J. Appl. Chem.* 2011. V. 84. N 2. P. 284–288. <https://doi.org/10.1134/S1070427211020200>].
- [10] Пояркова Т. Н., Никулин С. С., Белозор Д. Е. Коагуляция полистирольного латекса в присутствии катионоактивного поверхностно-активного вещества и полиэлектролитов // *ЖПХ*. 2013. Т. 86. № 7. С. 1143–1147. <https://www.elibrary.ru/twdhwg> [Poyarkova T. N., Nikulin S. S., Belozor D. E. Coagulation of polystyrene latex in the presence of a cation-active surfactant and polyelectrolytes // *Russ. J. Appl. Chem.* 2013. V. 86. N 7. P. 1076–1080. <https://doi.org/10.1134/S1070427213070215>].
- [11] Корнехо Т. Х. В., Никулина Н. С., Никулин С. С. Влияние концентрации дисперсной фазы, катионного электролита и серума на процесс выделения каучука из латекса с применением четвертичных солей аммония // *Вестн. Воронеж. гос. ун-та инж. технологий*. 2013. № 1 (55). С. 119–121. <https://www.elibrary.ru/pyepnd>
- [12] Никулина Н. С., Пузачева И. Н., Мисин В. М., Санникова Н. Ю., Вережников В. Н., Никулин С. С. Выделение бутадиен-стирольного каучука из латекса гибридным коагулянтном на основе полидиметилдиаллиламмоний хлорида и вязкого волокна // *Изв. вузов. Сер. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. № 6. С. 62–68. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20216406.6356>

- [13] Холмберг К., Йёнссон Б., Кронберг Б., Линдман Б. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах: Пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. С. 47–68.
- [14] Белоцерковец Н. И., Зинин С. В. Физико-химические свойства водных растворов 1-децилпиридиний хлорида // Вестн. Твер. гос. ун-та. Сер. Химия. 2017. № 3. С. 51–57. <https://www.elibrary.ru/zfhtud>
- [15] Коротких О. П., Кочурова Н. Н. Особенности мицеллообразования в водном растворе хлорида додецилпиридиния // ЖПХ. 2006. Т. 79. № 7. С. 1214–1216. <https://www.elibrary.ru/huzsdb> [Korotkikh O. P., Kochurova N. N. Micelle formation in aqueous dodecylpyridinium chloride // Russ. J. Appl. Chem. 2006. V. 79. N 7. P. 1204–1206. <https://doi.org/10.1134/S1070427206070330>].
- [16] Вережников В. Н., Гермашева И. И., Крысин М. Ю. Коллоидная химия поверхностно-активных веществ: учеб. пособие / СПб: Лань, 2015. С. 292.
- [17] Соболева О. А., Хаменов Г. А., Долматов В. Ю., Сергеев В. Г. Влияние хлоридов алкилпиридиния на агрегативную устойчивость водных дисперсий нанодIAMAZOV детонационного синтеза // Коллоид. журн. 2017. Т. 79. № 1. С. 83–89. <https://doi.org/10.7868/S0023291217010128> [Soboleva O. A., Khamenov G. A., Sergeyev V. G., Dolmatov V. Y. Effect of alkylpyridinium chlorides on aggregation stability of aqueous dispersions of detonation nanodiamonds // Colloid J. 2017. V. 79. N 1. P. 126–132. <https://doi.org/10.1134/S1061933X17010124>].
- [18] Русанов А. И., Щёкин А. К. Мицеллообразование в растворах поверхностно-активных веществ: монография. СПб: Лань, 2016. С. 82–84.
-