

КОАГУЛИРУЮЩИЙ АГЕНТ НА ОСНОВЕ БЕНЗИЛТРИМЕТИЛАММОНИЙ ХЛОРИДА В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО КАУЧУКА

© С. С. Никулин¹, В. М. Мисин², Н. С. Никулина³, Е. В. Чурилина^{1,*},
И. Н. Пугачева¹, И. А. Писарева¹

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

² Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН,
119334, г. Москва, ул. Косыгина, д. 4

³ 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 26 июня 2024 г.

После доработки 16 декабря 2024 г.

Принята к публикации 20 декабря 2024 г.

Проведена оценка коагулирующей способности бензилтриметиламмоний хлорида в процессе выделения из латексов бутадиен-стирольного каучука. Исследовано влияние расхода данного катионного реагента и температуры на полноту выделения каучука. Отмечено, что полнота выделения бутадиен-стирольного каучука из латекса достигается при расходе катионной соли $3.0 \text{ кг} \cdot \text{т}^{-1}$ и температуре $1\text{--}2^\circ\text{C}$. Установлен синергизм в действии гибридного коагулянта на основе катионного компонента и хлорида натрия в процессе выделения каучука из бутадиен-стирольного латекса СКС-30АРК.

Ключевые слова: бутадиен-стирольный латекс; хлорид натрия; бензилтриметиламмоний хлорид; коагуляция; гибридный коагулянт

DOI: 10.31857/S0044461824090020; EDN: GMXMWW

Производство автомобильных шин в России характеризуется достаточно устойчивым ростом, и к 2025 г. их рынок может составлять более 90 миллионов штук [1]. В шинной и резиновой промышленности наиболее востребованы эмульсионные каучуки, которые занимают около половины всего мирового потребления синтетических каучуков. Среди продуктов, получаемых методом эмульсионной сопо-

лимеризации, наиболее высокопроизводительными являются бутадиен-стирольные каучуки, поскольку хорошо смешиваются с различными ингредиентами резиновых смесей и совместимы с другими каучуками общего назначения [2]. Достоинства, присущие эмульсионным каучукам, обуславливают актуальность направлений исследований, касающихся повышения технико-экономической эффективности и

интенсификации существующих технологий производства. Так, например, при производстве каучуков, получаемых эмульсионной полимеризацией, стадия их выделения из латекса несет определенный риск для окружающей среды. Традиционным способом разрушения эмульсии до последнего времени остается коагуляция латексов электролитами [3]. Однако технологии производства эмульсионных каучуков отличаются несовершенством используемых коагулянтов, значительными потерями каучука, компонентов эмульсионной системы, загрязнением окружающей среды сточными водами [4].

В последние годы в качестве эффективных коагулянтов предложены катионные низко- и высокомолекулярные соединения аммониевой природы [5, 6], позволяющие частично или полностью исключить использование неорганических солей (хлорида натрия и др.). Однако применение полимерных четвертичных солей аммония, таких как суперфлоки, нитрофлоки, полидиаллилдиметиламмоний хлорид (в промышленности ВПК-402), сопряжено с рядом трудностей, обусловленных высокой чувствительностью процесса к количествам данных коагулирующих агентов. Так, при большом расходе ВПК-402 происходит потеря компонентов эмульсионной системы, снижается производительность процесса и повышается загрязнение производственных сточных вод компонентами эмульсионной системы [7]. Как показано ранее [8], Катамин АБ, представляющий собой смесь алкилдиметилбензиламмоний хлоридов, применим в методах бессолевой коагуляции и делает возможным получение требуемой для технологии крошки каучука. Интерес к применению бензилтриметиламмоний хлорида, являющегося структурным аналогом препарата Катамин АБ, в производстве эмульсионных каучуков базируется на том, что он используется как эффективный катализатор гетерогенных процессов (межфазный катализ) или комплексообразователь [9]. Также известно [8], что органические соединения, содержащие катионы тетраалкиламмония, способны активировать и ускорять вулканизацию резиновых смесей на основе каучуков различной химической природы. Снижение времени вулканизации должно положительно отразиться на физико-механических показателях получаемых резин. Поэтому рассмотрение возможности использования бензилтриметиламмоний хлорида в процессах выделения каучука и разработка технологических решений с применением данного агента имеет важное как научное, так и прикладное значение и будет способствовать расширению ассортимента веществ, выступающих в качестве эффективных коагулянтов.

Цель работы — оценка коагулирующей способности бензилтриметиламмоний хлорида в технологическом процессе выделения каучука из латекса СКС-30АРК.

Экспериментальная часть

В работе для получения каучука СКС-30АРК использован промышленный (АО «Воронежсинтезкаучук») образец бутадиен-стирольного латекса, обладающий следующими характеристиками: сухой остаток — $21.3 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$, содержание связанного стирола — $22.5 \text{ мас}\%$, pH — 9.6, поверхностное натяжение — $55.6 \text{ мН} \cdot \text{м}^{-1}$.

Выделение каучука из латекса осуществляли на коагуляционной установке, представляющей собой емкость, снабженную пропеллерной мешалкой, помещенную в термостат для поддержания заданной температуры. Температура $1-2^\circ\text{C}$ достигалась добавлением льда в водяную баню. В качестве коагулирующего агента использовали водный раствор бензилтриметиламмоний хлорида с исходной концентрацией $\sim 2.0 \text{ мас}\%$, который приготавливали из препарата (белое кристаллическое вещество с $t_{\text{пл}} 239^\circ\text{C}$, хорошо растворимое в воде и этаноле, ч., Acros Organics) без дополнительной очистки на дистиллированной воде (аквадистиллятор электрический ДЭ-4М, ООО «Ланфор РУС»). После введения в латекс расчетного количества бензилтриметиламмоний хлорида его перемешивали со скоростью вращения около $100 \text{ об} \cdot \text{мин}^{-1}$ в течение 2 мин и вводили $2 \text{ мас}\%$ -ный водный раствор H_2SO_4 (х.ч., ООО ТД «ХИММЕД») до pH среды 3.0–3.5. Перемешивание продолжали дополнительно в течение 2–3 мин, после чего извлекали образовавшуюся крошку каучука из водной фазы (серум), измельчали, промывали дистиллированной водой и сушили в термостате при $80-85^\circ\text{C}$ до постоянной массы.

При проведении малосолевой коагуляции сначала в латекс вводили NaCl (х.ч., ООО «АО Реахим») в виде $20 \text{ мас}\%$ -ного водного раствора, используемого в промышленных масштабах при выделении каучуков из латекса [3], затем испытуемый коагулянт и далее раствор серной кислоты с исходной концентрацией $\sim 2.0 \text{ мас}\%$ (подкисляющий агент добавляли из расчета $15 \text{ кг} \cdot \text{т}^{-1}$ каучука, как в промышленной технологии).

Полноту коагуляции оценивали визуально по прозрачности серума и гравиметрически — по массе образующейся крошки каучука. Выделенные образцы каучука использовали для изготовления резиновых смесей и вулканизатов по рецептурам, описанным в

стандарте,* которые в дальнейшем подвергали стандартным испытаниям. Определение физико-механических показателей вулканизатов осуществляли согласно требованиям ГОСТ 15627–2019.**

Обсуждение результатов

Катионные поверхностно-активные вещества (ПАВ) должны проявлять наибольшее сродство к эмульсионным бутадиен-стирольным каучукам, поверхность которых заряжена отрицательно, поскольку для их стабилизации используются в основном анионные ПАВ. Представленные в работе [10] данные по применению в процессе коагуляции латексов катионных низкомолекулярных четвертичных солей аммония: тетраметиламмоний хлорида, тетраэтиламмоний хлорида, тетраэтиламмоний бромида и тетра-н-бутиламмоний иодида — показывают снижение их расхода по сравнению с хлоридом натрия в 3–7 раз. Бензилтриметиламмоний хлорид согласно структурной формуле обладает функцией катионного ПАВ, однако сведения о его применении в технологии выделения каучуков из латексов в литературных источниках отсутствуют.*** Установлено (табл. 1), что на эффективность коагуляции оказывают влияние как расход четвертичной соли, так и температура процесса. Так, необходимое количество данного коагулирующего агента для полного выделения каучука из латекса не превышает $3.0 \text{ кг} \cdot \text{т}^{-1}$ каучука для процесса выделения при температуре $1\text{--}2^\circ\text{C}$, что сопоставимо с расходом промышленного ВПК-402 [7]. Аналогичное действие других промышленных катионных ПАВ на эффективность коагуляции описано ранее [11] и объясняется их мицеллообразующей способностью. Дальнейшее повышение температуры до 20°C приводит к возрастанию расхода бензилтриметиламмоний хлорида более чем в 2 раза, т. е. до $7.0 \text{ кг} \cdot \text{т}^{-1}$ каучука, а при 60°C для полноты выделения каучука необходимо не меньше $30.0 \text{ кг} \cdot \text{т}^{-1}$. Это в 10 раз выше расхода данного катионного реагента по сравнению с низкотемпературным процессом выделения.

* ГОСТ 30263–96. Смеси резиновые для испытания. Приготовление, смешение и вулканизация. Оборудование и методы.

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

*** Проведен поиск литературных источников глубиной 15 лет (2008–2023 гг.) на ресурсах sciencedirect.com, springer.com и sciencejournals.ru (ключевое слово: benzyltrimethylammonium chloride).

Процесс выделения каучука из латекса в случае применения исследуемого катионного реагента основан на взаимодействии латексных глобул с бензилтриметиламмоний хлоридом, протекающем по нейтрализационному механизму между катионом коагулянта с анионсодержащими компонентами эмульсионной системы: диспергатором — лейканолом, входящим в адсорбционный слой на поверхности латексной глобулы, и эмульгатором — солями карбоновых кислот — согласно схемам, представленным в работе [11].

Обязательным условием эффективности коагуляции является полнота превращения мыл в свободные кислоты, остающиеся в каучуке и обеспечивающие ценные для промышленности свойства выпускаемого продукта. Изменение температуры коагуляции в интервале от 1 до 60°C не приводит к снижению содержания свободных органических кислот в каучуке, и значения данного показателя согласуются с требованиями стандарта (табл. 2).

Поскольку в работе [12] отмечено, что мицеллообразующая способность обнаруживается при достаточной длине углеводородного радикала (начиная с $\text{C}_6\text{--C}_7$) и характерна для молекул, содержащих сильногидрофильную (ионизированную) полярную группу, бензилтриметиламмоний хлорид, строение которого удовлетворяет перечисленным требованиям, должен обладать указанным свойством. Как известно [13], процесс мицеллообразования зависит от природы и условий среды. Изменение межмолекулярных взаимодействий будет изменять критическую концентрацию мицеллообразования (ККМ), а также плотность заряда на поверхности мицелл и их компактность. Однако в отличие от полимеров мицеллы ПАВ образованы за счет слабого физического взаимодействия, поэтому на их форму и структуру сильно влияют такие внешние условия, как pH растворителя, концентрация соли и температура. Таким образом, снижение эффективности коагулирующего действия исследуемого реагента при 20 и 60°C может быть объяснено тем, что с повышением температуры происходит увеличение ККМ ионогенных ПАВ из-за дезагрегирующего действия теплового движения, т. е. при повышенных температурах происходит распад мицелл ионогенного ПАВ на более мелкие ассоциаты: отдельные молекулы, димеры, тримеры, что отражается на степени связывания компонентом эмульсионной системы. Такое суждение подтверждается данными работы [11], в которой показано, что в случае применения низкомолекулярного катионного реагента диаллилдиметиламмоний хлорида, не способного к мицеллообразованию, полнота коагуляции

Таблица 1

Влияние расхода катионного бензилтриметиламмоний хлорида и температуры на полноту выделения каучука из латекса СКС-30АРК

Температура коагуляции, °С	1–2						
Расход коагулянта, кг·т ⁻¹ каучука	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0		
Выход коагулюма, %	65.9	72.3	84.5	95.1	96		
Оценка полноты коагуляции	кнп	кнп	кнп	кп	кп		
Температура коагуляции, °С	20						
Расход коагулянта, кг·т ⁻¹ каучука	1.0	2.0	3.0	4.0	6.0	7.0	8.0
Выход коагулюма, %	35.0	58.2	70.9	80.0	85.4	94.9	98.7
Оценка полноты коагуляции	кнп	кнп	кнп	кнп	кнп	кп	кп
Температура коагуляции, °С	60						
Расход коагулянта, кг·т ⁻¹ каучука	1.0	3.0	4.0	10.0	20.0	30.0	40.0
Выход коагулюма, %	16.4	56.2	62.7	75.5	84.8	94.6	95.0
Оценка полноты коагуляции	кнп	кнп	кнп	кнп	кнп	кп	кп

Примечание. рН водной фазы (серума) — 2.5–3.0, расход серной кислоты — 15 кг·т⁻¹ каучука; кнп — коагуляция неполная, кп — коагуляция полная.

Таблица 2

Содержание свободных и связанных кислот в каучуке при коагуляции латекса в зависимости от температуры процесса

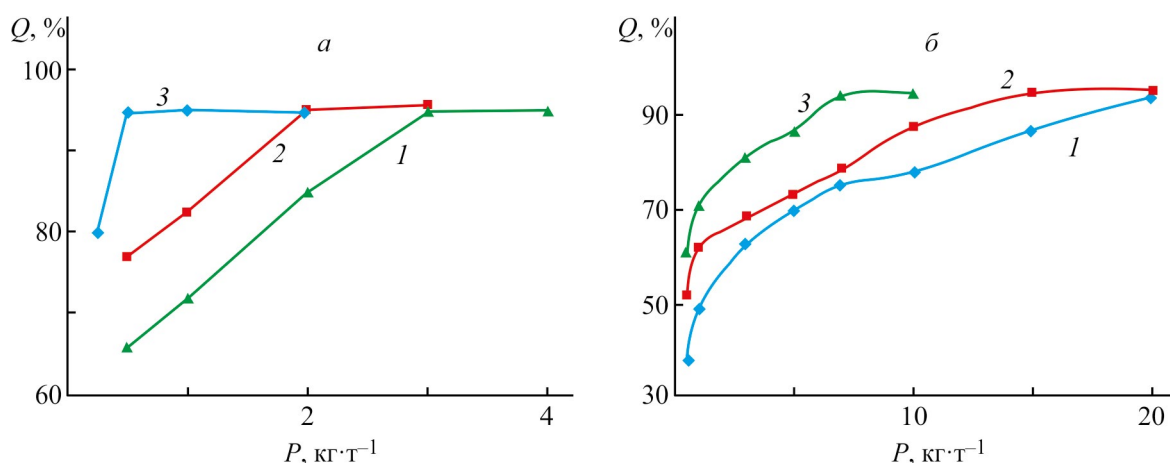
Показатель	Норма по ГОСТ 15627–2019	Температура коагуляции, °С		
		1–2	20	60
Расход бензилтриметиламмоний хлорида, кг·т ⁻¹ каучука	—	3.0	7.0	30.0
Массовая доля органических кислот, %	5.0–7.0	5.8	5.4	6.0
Массовая доля мыл органических кислот, %	не более 0.3	Отсутствует	Отсутствует	0.10

латекса достигается при расходе 25 кг·т⁻¹ каучука. Данный показатель практически соответствует расходу бензилтриметиламмоний хлорида при 60°С (30 кг·т⁻¹ каучука), что показывает его схожесть с низкомолекулярными катионными реагентами при повышенных температурах.

Полученные положительные результаты по применению бензилтриметиламмоний хлорида для выделения каучука из латекса послужили основой для расширения исследований в направлении создания гибридного коагулянта хлорид натрия–четвертичная соль. Интерес к применению хлорида натрия обусловлен тем, что на некоторых предприятиях до сих пор отсутствует возможность изменения традиционной технологической схемы. К тому же использование гибридных коагулянтов в производстве эмульсионных каучуков не только позволяет снизить общий расход коагулирующих агентов и тем самым уменьшить загрязнение окружающей среды [14], но

и устраняет возможность образования крупных агломератов, характерных для бессолевых методов [3].

При использовании гибридного коагулянта бензилтриметиламмоний хлорид–NaCl в процессе выделения каучука СКС-30АРК из латекса коагуляция протекает с меньшим расходом катионного реагента (см. рисунок), что выгодно с экономической точки зрения, поскольку его цена на несколько порядков выше стоимости поваренной соли. С повышением концентрации соли, вводимой в процессе коагуляции, наблюдается снижение расхода бензилтриметиламмоний хлорида в 6 (температура 1–2°С) и в 4 раза (температура 60°С) относительно бессолевого выделения. Практически полное выделение каучука (с 93–95%-ным выходом крошки каучука) достигается при расходах бензилтриметиламмоний хлорида 0.5 кг·т⁻¹ каучука и неорганического электролита — 50 кг·т⁻¹ или 2.0 кг·т⁻¹ четвертичной соли и 30 кг·т⁻¹ NaCl. Выявленные закономерности процесса выде-



Зависимость доли выделенного полимера Q (мас%) от расхода комбинированного коагулянта хлорид натрия–бензилтриметиламмоний хлорид (P , $\text{кг}\cdot\text{т}^{-1}$ каучука) при температуре коагуляции 1–2 (a) и 60°C ($б$).

Расход NaCl ($\text{кг}\cdot\text{т}^{-1}$): 1 — 10, 2 — 30, 3 — 50.

Таблица 3

Характеристика каучука СКС-30АРК и вулканизатов, полученных коагуляцией с применением бензилтриметиламмоний хлорида и комбинированного реагента на его основе

Показатель	Норма по ГОСТ 15627–2019	Вид коагулянтов		
		хлорид натрия	бензилтриметиламмоний хлорид	хлорид натрия–бензилтриметиламмоний хлорид
Вязкость по Муни каучука	45–58	52	51	50
Условная прочность при растяжении, МПа	не менее 22.5	24.4	25.0	24.7
Относительное удлинение при разрыве, %	не менее 420	550	530	540
Относительная остаточная деформация, %	не больше 20	14	12	12
Массовая доля золы, %	не более 0.6	0.17	0.13	0.14
Эластичность по отскоку, %	не менее 37	39	38	58

ления каучука в присутствии гибридного коагулянта объясняются тем, что с повышением ионной силы среды облегчается сближение латексных частиц за счет интенсивного сжатия диффузной оболочки, т. е. помимо нейтрализационного механизма, описанного выше, добавляется эффект концентрационного действия. Исследования при концентрациях электролита выше расхода 50 $\text{кг}\cdot\text{т}^{-1}$ каучука не проводились, поскольку ранее [15] установлено снижение полноты выделения каучука с повышением содержания соли в растворе.

Необходимо отметить, что максимальный выход крошки каучука достигается при расходе 3 и 200 $\text{кг}\cdot\text{т}^{-1}$ каучука при индивидуальном использовании бензилтриметиламмоний хлорида и хлорида натрия соответственно. При использовании смеси реагентов полнота выделения каучука из латекса достигается при меньших концентрациях (более чем в

5 раз) катионного агента и NaCl , чем в случае применения отдельных компонентов. Таким образом, в процессе выделения каучука из латекса обнаруживается явление синергизма, которое ранее было отмечено в работе [16] при изучении коагуляции с использованием гибридного коагулянта на основе хлорида натрия и мелассы.

Для окончательного решения о возможности использования катионного реагента на основе бензилтриметиламмоний хлорида в технологии выделения каучука из латекса на основе выделенных каучуков были приготовлены резиновые смеси и исследованы показатели их вулканизатов (табл. 3). Для сравнения в качестве коагулянта исследовали хлорид натрия, ранее являвшийся основным коагулянтом эмульсионных каучуков и до настоящего времени используемый в некоторых действующих технологиях. Анализ экспериментальных данных показал, что по всем

основным показателям контрольный и экспериментальные образцы соответствуют требованиям ГОСТ 15627–2019.

Выводы

Бензилтриметиламмоний хлорид может быть использован в технологии выделения каучука из латекса, поскольку обладает высокой коагулирующей способностью, сопоставимой с величиной удельного расхода, применяемого в производстве полиэлектролита ВПК-402. Гидридный коагулянт на основе хлорида натрия и катионного компонента позволяет снизить расходы коагулирующих агентов, что базируется на протекании синергизма в действии солевого и катионного реагентов. Наибольший эффект синергизма достигается при массовом соотношении бензилтриметиламмоний хлорида и NaCl 0.5:50.0 соответственно. Предложенный способ выделения позволяет получить равномерную крошку без налипания и агломератов. По качественным показателям выделенный каучук соответствует требованиям нормативно-технической документации (ГОСТ 15627–2019).

Конфликт интересов

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

Информация о вкладе авторов

Е. В. Чурилина, И. Н. Пугачева — выполнение экспериментов по коагуляции; Н. С. Никулина, В. М. Мисин — выполнение эксперимента по определению физико-механических показателей резиновых смесей и вулканизатов на их основе; И. А. Писарева — поиск литературы, выполнение эксперимента по определению содержания свободных и связанных кислот в каучуке; 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>

Мисин Вячеслав Михайлович, д.х.н.
ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-2178-3377>

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

Пугачева Инна Николаевна, д.т.н., доцент
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5850-2861>

Писарева Ирина Александровна
ORCID: <http://orcid.org/0009-0005-1185-9261>

Список литературы

- [1] Ларионова Г. Н., Масяева Г. И. Современное состояние на рынке шинной отрасли в России // Экономика и бизнес: теория и практика. 2023. № 1–1 (95). С. 166–169. <https://www.elibrary.ru/fcbmak>
<https://doi.org/10.24412/2411-0450-2023-1-1-166-169>
- [2] Аксёнов В. И., Насыров И. Ш. Производство синтетического каучука в России: анализ итогов за 2022 г. перспективы развития // Пром. пр-во и использ. эластомеров. 2023. № 1. С. 3–14.
<https://doi.org/10.24412/2071-8268-2023-1-3-14>
- [3] Панков В. Н., Ривин Э. М., Блинов Е. В. Бутадиен-стирольные каучуки. Синтез и свойства. Воронеж, 2015. С. 168–173.
- [4] Тезикова С. Л. Охрана окружающей среды при производстве синтетического каучука // Каучук и резина. 2020. Т. 79. № 4. С. 204–210.
<https://www.elibrary.ru/runrfq>
<https://doi.org/10.47664/0022-9466-2020-79-4-204-210>
- [5] Дрябина С. С., Малышева Ж. Н., Навроцкий А. В., Новаков И. А. Дестабилизация водных дисперсий катионными полиэлектролитами. Волгоград: Волгоград. гос. техн. ун-т, 2020. С. 148–150.
- [6] Ботова О. И., Грицкова И. А., Гринфельд Е. А., Лобанова Н. А., Шитов Р. О. Влияние природы и концентрации эмульгатора на дисперсность и устойчивость искусственных латексов с положительным зарядом частиц // Каучук и резина. 2015. № 5. С. 8–11. <https://www.elibrary.ru/vcfodt>
[Botova O. I., Gritskova I. A., Lobanova N. A., Shitov R. O., Grinfel'd E. A. The influence of the nature and concentration of the emulsifier on the degree of dispersion and the stability of artificial latex with positively charged particles // Int. Polym. Sci. Technol. 2016. V. 43. N 4. P. T7–T10.
<https://doi.org/10.1177/0307174X1604300402>].
- [7] Пат. RU 2758384 C1 (опубл. 28.10.2021). Способ получения бутадиен-стирольного каучука.
- [8] 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>
- [9] Huang A., Liu X., Li L., Wu X., Liu W., Liang Y. Antimony (V) chloride-benzyltriethylammonium chloride complex as an efficient catalyst for Friedel–Crafts acylation reactions // Adv. Synth. Catal. 2004. V. 346 (6). P. 599–602.
<https://doi.org/10.1002/adsc.200303233>

- [10] Никулина Н. С., Власова Л. А., Вережников В. Н., Никулин С. С., Пугачева И. Н. Применение в производстве эмульсионных каучуков солей аммония // Хим. технология. 2022. Т. 23. № 7. С. 305–309. <https://www.elibrary.ru/vzkmlq> <https://doi.org/10.31044/1684-5811-2022-23-7-305-309>
- [11] Никулин С. С., Никулина Н. С., Чурилина Е. В., Вережников В. Н. Особенности поведения катионных поверхностно-активных веществ при коагуляции каучукового латекса // ЖПХ. 2023. Т. 96. № 9. С. 763–769. <https://doi.org/10.31857/S0044461823090049> [Nikulina S. S., Nikulina N. S., Churilina E. V., Verezhnikov V. N. Behavior of cationic surfactants in rubber latex coagulation // Russ. J. Appl. Chem. 2023. V. 96. N 9. P. 847–852. <https://doi.org/10.1134/S1070427223090033>].
- [12] Вережников В. Н., Гермашева И. И., Крысин М. Ю. Коллоидная химия поверхностно-активных веществ. СПб: Лань, 2015. С.10–12.
- [13] Русанов А. И., Щёкин А. К. Мицеллообразование в растворах поверхностно-активных веществ: монография. СПб: Лань, 2016. С. 82–84.
- [14] Насыров И. Ш., Фаизова В. Ю., Капанова В. А., Никулина Н. С., Никулин С. С. Применение в производстве эмульсионных каучуков комбинированного коагулянта хлорид натрия–катионный электролит // Пром. пр-во и использ. эластомеров. 2020. № 1. С. 14–19. <https://doi.org/10.24411/2071-8268-2020-10103>
- [15] Крючкова Н. В., Орлов Ю. Н., Леванова С. В. Влияние концентрации хлорида натрия на эффективность выделения синтетического каучука из латекса СКМС-30АРК поли-N,N-диметил-2-N-гидроксипропиламмонийхлоридом // ЖПХ. 2012. Т. 85. № 2. С. 335–337. <https://www.elibrary.ru/hdhzow> [Kryuchkova N. V., Orlov Yu. N., Levanova S. V. Influence of sodium chloride concentration on the efficiency of synthetic rubber separation from SKMS-30ARK latex by poly-N,N-dimethyl-2-N-hydroxypropylammonium chloride // Russ. J. Appl. Chem. 2012. V. 85. N 2. P. 321–323. <https://doi.org/10.1134/S1070427212020280>].
- [16] Вережников В. Н., Никулин С. С., Никулина Н. С., Провоторова М. А., Булатецкая Т. М. Применение в технологии выделения эмульсионных каучуков бинарного коагулянта меласса–хлорид натрия // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Химия. Биология. Фармация. 2017. № 1. С. 11–15. <https://www.elibrary.ru/ylebdl>