

КОАГУЛИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ *N,N*-ДИАЛЛИЛ-*N,N*-ДИМЕТИЛАММОНИЙХЛОРИДА В ПРОЦЕССАХ ВЫДЕЛЕНИЯ КАУЧУКОВ РАЗНЫХ МАРОК

© Е. В. Чурилина, С. С. Никулин, В. Н. Вережников, Г. В. Шаталов, М. В. Сергеев

Воронежский государственный университет инженерных технологий,
394036, г. Воронеж, пр. Революции, д. 19
E-mail: churilina1978@mail.ru

Поступила в Редакцию 16 марта 2023 г.
После доработки 13 апреля 2023 г.
Принята к публикации 23 мая 2023 г.

*В работе проведена оценка коагулирующей способности сополимеров *N,N*-диаллил-*N,N*-диметиламмонийхлорида с акриламидом и малеиновой кислотой при выделении из латексов бутадиен-стирольного и бутадиен-нитрильного каучуков. Исследовано влияние расхода данных катионных полимеров, концентрации дисперсной фазы и температуры на полноту выделения каучука. Установлено, что полнота выделения бутадиен-стирольного каучука из латекса достигается при расходе катионного сополимера с акриламидом $0.5 \text{ кг} \cdot \text{т}^{-1}$, а бутадиен-нитрильного — при $22 \text{ кг} \cdot \text{т}^{-1}$. Введение в катионный сополимер звеньев малеиновой кислоты обеспечивает полноту выделения бутадиен-стирольного и бутадиен-нитрильного каучука из латекса при его расходе 0.3 и 8 $\text{кг} \cdot \text{т}^{-1}$ соответственно. Вулканизаты, полученные на основе каучуков, выделенных с применением сополимеров, соответствуют требованиям ГОСТ 15627–2019.*

Ключевые слова: латекс; сополимеры на основе *N,N*-диаллил-*N,N*-диметиламмонийхлорида, акриламида, малеиновой кислоты; коагуляция; каучук

DOI: 10.31857/S0044461823010073; EDN: HUPQMW

Возрастающий спрос на шинную, резинотехническую продукцию способствует развитию промышленности по производству синтетических каучуков. Особое место отводится каучукам, получаемым эмульсионной полимеризацией, из-за наличия комплекса требуемых для промышленности качеств: высоких прочностных характеристик, динамических свойств, морозо- и износостойкости вулканизатов [1, 2]. Несмотря на значительный рост объемов выпуска растворных каучуков, недостатком их производства остается проблема загрязнения окружающей среды, связанная со сбросом сточных вод, содержащих высокие дозировки неорганических солей. Улучшить экологические показатели процесса выделения эмульсионных каучуков позволяет использование полимерных коагулянтов различной природы, расход которых в 50–100 раз меньше, чем у хлорида натрия и других солей [3]. Наиболее эффективными коагулянтами являются катионные полиэлектролиты, особенно на ос-

нове четвертичных солей аммония [4]. Повышенное внимание из данного класса соединений уделяется полимеру *N,N*-диаллил-*N,N*-диметиламмонийхлориду (ПДАДМАХ) благодаря его доступности и легкости полимеризации. Использование в процессах бесоловой коагуляции ПДАДМАХ, выпускаемого в промышленности под торговой маркой ВПК-402, позволяет получить равномерную крошку без агломератов и налипаний, способствует более экономичному режиму производства резинотехнических изделий [5] и снижению общего расхода воды при выделении натурального каучука [6]. Несмотря на эти положительные моменты, высокая стоимость сдерживает внедрение данного коагулянта в промышленности. Кроме того, в технологиях производства эмульсионных каучуков, где используются лентоотливочные машины, ВПК-402 не может быть использован, поскольку образующаяся крошка не обладает достаточно высокой липкостью. Это является причиной

дальнейших исследований по поиску более эффективных полимерных флокулянтов, лишенных данных недостатков. Полимеры на основе акриламида и малеиновой кислоты относятся к ряду доступных и сравнительно недорогих продуктов, обладающих уникальным комплексом прикладных свойств, которые можно изменять с помощью сополимеризации с другими мономерами. Кроме того, введение в цепь ПДАДМАХ мономерных звеньев с карбоксильными группами в случае применения малеиновой кислоты в качестве сомономера вносит отрицательные заряды и изменяет плотность заряда макромолекул, что, несомненно, повлияет на флокулирующую способность полученных продуктов со свойствами полиамфолита.

При этом необходимо отметить, что применению катионных полимерных материалов в производстве бутадиен-нитрильных каучуков в литературных источниках должного внимания уделено не было. Поэтому важное прикладное и научное значение имеет сравнительная оценка коагулирующей способности катионных сополимеров, различающихся плотностью зарядов, в процессе выделения каучуков разных марок (бутадиен-стирольного и бутадиен-нитрильного).

Цель работы — оценка коагулирующей способности водорастворимых катионных сополимеров N,N-диаллил-N,N-диметиламмонийхлорида (ДАДМАХ) с акриламидом (АА) и малеиновой кислотой (МК) при исследовании процесса выделения каучуков СКС-30АРК и СКН-40СНТ из латексов.

Экспериментальная часть

Объектами исследования выбраны: промышленные образцы бутадиен-стирольного латекса марки СКС-30АРК (АО «Воронежсинтезкаучук»), полученного в присутствии эмульгатора — мыла на основе диспропорционированной канифоли и смоляных кислот таллового масла, а также бутадиен-нитрильного латекса марки СКН-40СНТ (ФГУП «НИИСК»), синтезированного с применением алкилсульфонатного эмульгатора. Концентрация сухих веществ в них составляет 21,7 и 17% соответственно.

Сополимеры ДАДМАХ с акриламидом (соотношение мономеров 0,5:0,5 мол.:мол. в исходной смеси) синтезированы в водном растворе с применением $K_2S_2O_8$ (х.ч., ООО «Вектон») в качестве инициатора с концентрацией последнего $2 \cdot 10^{-3}$ моль $\cdot$ л $^{-1}$ при температуре 60°C. Продукты совместной полимеризации осаждали ацетоном (х.ч., ООО «Вектон») и сушили в вакуумном сушильном шкафу при 60–65°C.

Сополимеризацию ДАДМАХ с малеиновой кислотой в водной среде проводили по методике [7], мольное соотношение мономеров составило 0,6:0,4 мол.:мол. Данное соотношение выбрано на основании данных работы [8], где отмечено, что в области концентрации кислоты 37 мол% состав сополимера ДАДМАХ с малеиновой кислотой совпадает с составом мономерной смеси.

Состав сополимеров, содержащих звенья ДАДМАХ, определяли титриметрическим методом с $AgNO_3$ (х.ч., ООО «Компонент-Реактив») согласно методике [9]. Для косвенной оценки величины молекулярной массы сополимеров ДАДМАХ с акриламидом проводили определение характеристической вязкости, которая составляет $[\eta] = 0,645$ дл $\cdot$ г $^{-1}$. Вискозиметрические исследования проводились в 0,1 М растворе NaCl для подавления полиэлектролитного эффекта в вискозиметре Уббелюде при 25°C.

Для определения молекулярной массы сополимера ДАДМАХ с малеиновой кислотой использовали химический метод с установлением количества COOH-групп. Средняя молекулярная масса составила 4,9103 и была рассчитана по кислотному числу, определенному титрованием с КОН (х.ч., АО «ЭКОС-1») по методике.*

УФ-спектры регистрировали на спектрофотометре UV 1240 (Shimadzu).

Процесс коагуляции проводили по стандартной методике** с использованием водных растворов сополимеров и H_2SO_4 с исходными концентрациями ~2,0 мас% (подкисляющий агент добавляли из расчета 15 кг $\cdot$ т $^{-1}$ каучука). Образующуюся крошку каучука отделяли от водной фазы (серума), промывали на фильтре дистиллированной водой (аквадистиллятор электрический ДЭ-4М, Санкт-Петербург) и обезвоживали в сушильном шкафу при 80–85°C. Эффективность коагулирующего действия полимерных продуктов оценивали гравиметрически — по массе образующегося коагулюма и визуально — по прозрачности серума. Для исследования влияния температуры на коагуляцию образцы термостатировали при 20, 40 и 60 ± 1 °C. Полученные таким способом образцы каучука использовали для изготовления резиновых смесей и вулканизатов, которые в дальнейшем подвергали стандартным испытаниям.

* Кузнецова О. Н., Софьина С. Ю. Общая химическая технология полимеров: Учебное пособие. Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2010. С. 109, 115–116.

** Пояркова Т. Н., Пикулин С. С., Пугачева И. Н., Кудрина Г. В., Филимонова О. Н. Практикум по коллоидной химии латексов. М.: Изд. Дом «Академия Естествознания», 2011. С. 50–51.

Результаты испытаний сравнивали с показателями контрольного образца [10], выделенного по традиционной технологии с использованием NaCl.

Основные физико-механические свойства для исследуемых резин были определены в соответствии с действующими государственными стандартами.*

Обсуждение результатов

Проведены исследования эффективности флокулирующего действия на двух латексах бутадиен-стирольном (СКС-30АРК) и бутадиен-нитрильном (СКН-40СНТ) промышленного производства (рис. 1). Масса образующегося коагулюма возрастает с увеличением расхода коагулирующего агента, а затем достигает максимального значения и снижается. Это объясняется тем, что при повышенных расходах катионного полиэлектролита происходит перезарядка глобул коагулируемого латекса, приводящая к повышению его стабильности. Полнота коагуляции из латекса СКС-30АРК флокулянт ДАДМАХ с малеиновой кислотой достигается при расходе $0.3 \text{ кг} \cdot \text{т}^{-1}$ и $0.5 \text{ кг} \cdot \text{т}^{-1}$ для сополимера ДАДМАХ с акриламидом.

Полученные данные не согласуются с результатами ранее опубликованной работы [10], где использовался сополимер со звеньями акриламида с величиной характеристической вязкости $0.21 \text{ дл} \cdot \text{г}^{-1}$. Это указывает на то, что определяющим фактором в процессе выделения каучука методом флокуляции является скорость диффузии флокулянта к поверхности каучуковых глобул, которая в случае высокомолекулярного синтезированного нами сополимера ($[\eta] = 0.645 \text{ дл} \cdot \text{г}^{-1}$) должна быть существенно меньше, чем у низкомолекулярного. Меньший расход сополимера с малеиновой кислотой, по-видимому, связан с присутствием в молекуле большего количества катионных групп (0.62 мол. доли), поскольку ДАДМАХ является более активным сомономером в отличие от системы с акриламидом [8].

Полнота коагуляции из латекса СКН-40СНТ при использовании сополимера ДАДМАХ с акриламидом достигается при расходе $22 \text{ кг} \cdot \text{т}^{-1}$, а при использовании флокулянта со звеньями малеиновой

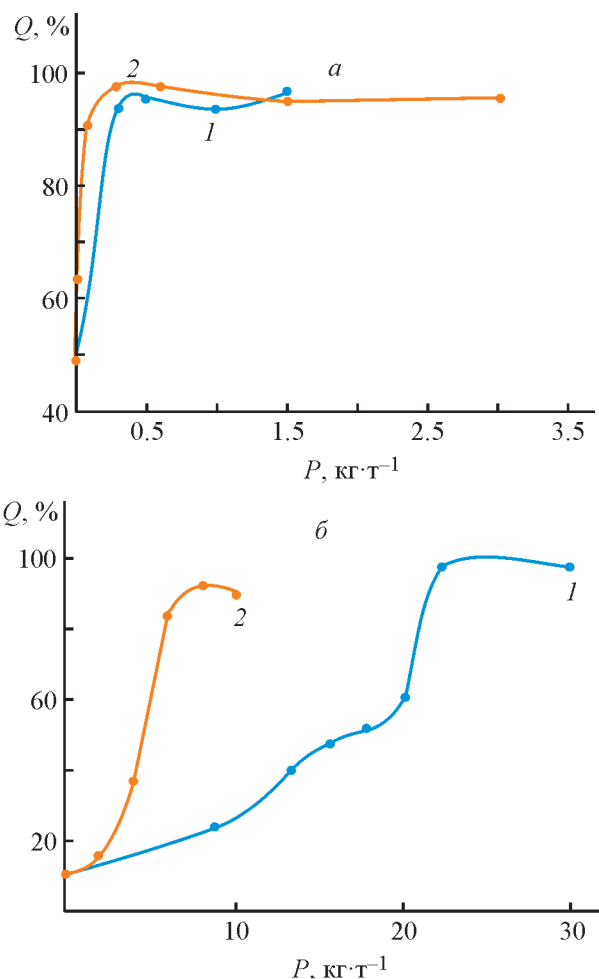


Рис.1. Зависимость доли выделенного полимера из латексов СКС-30АРК (а) и СКН-40СНТ (б) от расхода сополимеров (расход H_2SO_4 — $15 \text{ кг} \cdot \text{т}^{-1}$ каучука, 20°C). 1 — *N,N*-диаллил-*N,N*-диметиламмонийхлорид (0.35 мол. доли) с акриламидом, 2 — *N,N*-диаллил-*N,N*-диметиламмонийхлорид (0.62 мол. доли) с малеиновой кислотой.

кислоты — $8 \text{ кг} \cdot \text{т}^{-1}$. Большой расход одних и тех же полимерных коагулянтов в случае исследованного бутадиен-нитрильного латекса обусловлен его повышенной устойчивостью из-за непосредственного взаимодействия со средой полярных CN-групп, содержащихся в полимере. Эта зависимость коррелирует с известной технологической практикой: расход электролита NaCl для выделения нитрильных каучуков увеличивается в 3–5 раз по сравнению с бутадиен-стирольными [2]. Эффективность коагулирующего действия исследуемых полимеров с катионными группами связана, по-видимому, с возникновением нерастворимых комплексов, которые образуются при их взаимодействии с анионными ПАВ, содержащимися в качестве стабилизаторов и эмульгаторов коллоидных систем. В результате этого взаимодействия

* ГОСТ Р 54552–2011. Каучуки и резиновые смеси. Определение вязкости, релаксации напряжения и характеристик подвулканизации с использованием вискозиметра Муни.

ГОСТ 270–75. Резина. Метод определения упругопрочностных свойств при растяжении.

ГОСТ 9.066–76. Резины. Метод испытаний на стойкость к старению при воздействии естественных климатических факторов.

уменьшается или утрачивается поверхностный отрицательный электрический заряд и снижается электростатический защитный потенциальный барьер, что приводит к коагуляции.

Латексы бутадиен-стирольных и других каучуков обычно содержат не только эмульгаторы — соли карбоновых (или сульфо-) кислот, но и стабилизатор — лейканол (продукт взаимодействия формальдегида и натриевых солей β -нафталинсульфокислоты). При коагуляции в кислой среде карбоксилсодержащие стабилизаторы из-за гидролиза утрачивают эмульгирующую способность, но лейканол сохраняет ее и в кислой среде. Поэтому взаимодействие лейканола с катионными органическими реагентами — важный элемент их коагулирующего действия [11]. Для доказательства этого взаимодействия был проведен химический анализ серума, образующегося после коагуляции латекса СКС-30АРК сополимером ДАДМАХ с акриламидом, на содержание в нем лейканола. Анализ показал, что содержание лейканола в серуме составляет $15 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, это примерно в 14 раз меньше, чем в серуме после выделения каучука коагулянтном NaCl . Образование сополимером комплекса с лейканолом также подтверждается с помощью УФ-спектроскопии (рис. 2), поскольку в спектре комплекса ДАДМАХ–АА–лейканол присутствуют полосы поглощения в области 200 и 227 нм, характерные для индивидуального сополимера и лейканола соответственно.

Концентрация дисперсной фазы $c_{\text{д.ф}}$ имеет важное значение в процессе выделения каучука из латекса, особенно при действии органических коагулянтов, что следует из результатов работы [4]. Она может изменяться в достаточно широких пределах в реальных промышленных масштабах, что окажет существенное влияние на расход катионного электролита. В работе изучено влияние этого фактора на полноту выделения каучука из латекса СКН-40СНТ сополимером N,N -диаллил- N,N -диметиламмонийхлорида с малеиновой кислотой. Показано, что уменьшение концентрации дисперсной фазы с 17.8 до 8.9% (разбавление в 2 раза) приводит к снижению выхода образующегося коагулюма до 41% против 93% для исходного латекса. При указанном разбавлении наблюдается не только снижение флокулирующего действия сополимера, но и изменяется характер закономерностей, так как повышение его расхода (с 8 до $10 \text{ кг} \cdot \text{т}^{-1}$) приводит не к увеличению, а к уменьшению массы образующейся крошки каучука. Подобное явление уже описывалось в литературе, где авторы [12] отмечали, что в разбавленных и концентрированных системах механизм агрегации частиц различен, что обусловлено

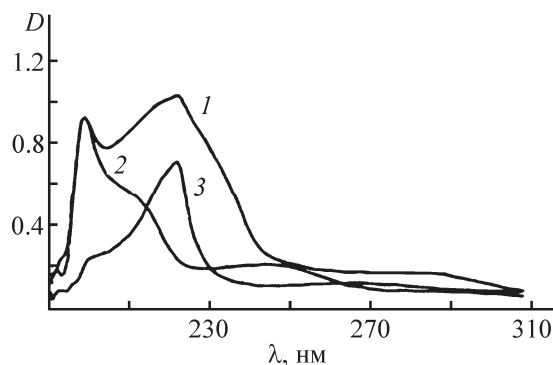


Рис. 2. УФ-спектры поглощения.

1 — комплекс сополимер N,N -диаллил- N,N -диметиламмонийхлорида с акриламидом–лейканол, 2 — сополимер N,N -диаллил- N,N -диметиламмонийхлорида с акриламидом, 3 — лейканол.

различиями в кинетике релаксационных процессов полимерных цепей коагулянта, адсорбирующихся на поверхности частиц [13]. Аналогичная закономерность по влиянию концентрации дисперсной фазы на выход образующейся крошки каучука была получена в [4] при коагуляции латекса СКС-30АРК данным сополимером.

Температура является основным производственным параметром процесса выделения каучука из латекса (рис. 3). При увеличении расхода сополимера ДАДМАХ с малеиновой кислотой до 8 и $10 \text{ кг} \cdot \text{т}^{-1}$ не происходит каких-либо изменений по выходу коагулюма. При 60°C достигается полное подавление

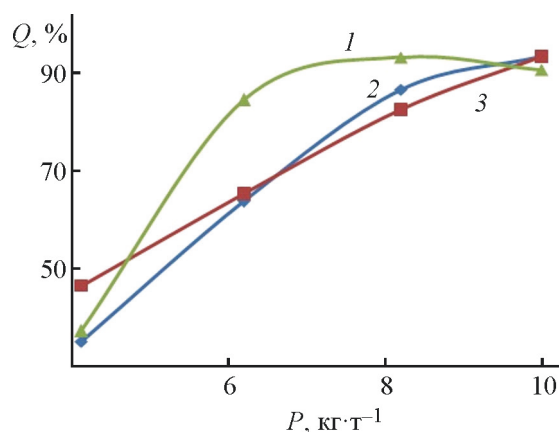


Рис. 3. Зависимость доли выделенного полимера из латекса СКН-40СНТ от концентрации сополимера N,N -диаллил- N,N -диметиламмонийхлорида с малеиновой кислотой при различных температурах (концентрация дисперсной фазы — 17.8%).

Температура ($^\circ\text{C}$): 1 — 20, 2 — 40, 3 — 60.

Свойства резиновых смесей и вулканизатов на основе каучука СКС-30АРК

Показатель	Норма ГОСТ 15627–2019	Контрольный образец (коагулянт NaCl) [10]	Экспериментальный образец (коагулянт сополимер ДАДМАХ с акриламидом)
Вязкость по Муни	45–58	52.0	55.0
Пластичность по Карреру, усл. ед.	—	0.34	0.30
Условная прочность при растяжении, МПа	не менее 22.5	22.3	24.0
Относительное удлинение при разрыве, %	не менее 420	550	560
Относительная остаточная деформация, %	не больше 20	14	12
Коэффициент старения (100°C, 72 ч):	—		
по прочности		0.63	0.72
по относительному удлинению		0.38	0.44

Примечание. «—» — показатель не регламентируется данным стандартом.

эффекта рестабилизации, и флокуляция выходит на плато, отвечающее полному выделению каучука из латекса. Изменения эффективности выделения каучука из латекса при увеличении температуры не наблюдается, похожий эффект отмечен в [14], где в качестве коагулянта применен гомополимер ДАДМАХ. По-видимому, это связано с тем, что после полного связывания всех анионов, присутствующих в эмульсионной системе, в недиссоциирующие полиэлектролитные комплексы процесс перестает зависеть от теплового движения латексных частиц.

При применении в промышленности нового флокулянта для выделения каучуков из латексов актуален вопрос о его влиянии (или продуктов его взаимодействия с эмульгаторами) на физико-механические и потребительские свойства получаемых каучуков, резиновых смесей и вулканизатов (см. таблицу). Свойства вулканизатов, полученных на основе каучуков, выделенных с помощью сополимера, соответствуют показателям, которые указаны в ГОСТ 15627–2019.* Однако данные продукты характеризуются большей устойчивостью к тепловому старению по сравнению с контрольным образцом, аналогичные показатели установлены для вулканизатов, выделенных с применением полиакриламида [15].

Выводы

Показана возможность использования сополимеров *N,N*-диаллил-*N,N*-диметиламмоний хлорида с акриламидом и малеиновой кислотой, характеризу-

ющихся высокой эффективностью коагулирующего действия, в технологии выделения бутадиен-стирольного и бутадиен-нитрильного каучуков из латексов. Отмечается ряд положительных особенностей применения данных сополимеров:

— выделение каучука происходит при меньших расходах коагулирующих агентов (примерно в 100–200 раз меньше по сравнению с неорганическими солями и на 25% меньше по сравнению с расходом промышленного ВПК-402), что выгодно с экономической точки зрения;

— повышается экологичность процесса, поскольку существенно уменьшается содержание гепатотоксичного диспергатора лейканола в серуме;

— приготовленные на их основе резиновые смеси по физико-механическим характеристикам соответствуют показателям, заложенным в действующей нормативно-технической документации.

Таким образом, данная технология выделения является перспективной и может конкурировать с реально применяющимися технологиями в промышленных масштабах.

Конфликт интересов

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

Информация о вкладе авторов

М. В. Сергеев и В. Н. Вережников — выполнение экспериментов по коагуляции; Е. В. Чурилина и Г. В. Шаталов — выполнение экспериментов по синтезу сополимеров и анализу их свойств, поиск литературы; С. С. Никулин — определение цели и

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

объектов исследования с подборкой методик проведения экспериментов по коагуляции латексов.

Информация об авторах

Чурилина Елена Васильевна, к.х.н., доцент
РИНЦ Autor ID: 641071
Никулин Сергей Саввович, д.т.н., проф.
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8141-8008>
Вережников Виктор Николаевич, д.х.н., проф.
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8785-7178>
Шаталов Геннадий Валентинович, д.х.н., проф.
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1865-4032>
Сергеев Марк Вячеславович
ORCID: <http://orcid.org/0009-0000-2635-4710>

Список литературы

- [1] Папков В. Н., Ривин Э. М., Блинов Е. В. Бутадиен-стирольные каучуки. Синтез и свойства. Воронеж: изд-во ВГУИТ, 2015. С. 3–10.
- [2] Аверко-Антонович Л. А., Аверко-Антонович Ю. О., Давлетбаева И. М., Кирпичников П. А. Химия и технология синтетического каучука. М.: КолосС, 2008. С. 239–261.
- [3] Орлов Ю. Н. Влияние степени полимеризации катионного полиэлектролита на его дозировку при проведении коагуляции латексов синтетических эмульсионных каучуков // Вестн. ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 1 (79). С. 318–324. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-1-318-324>
- [4] Вострикова Г. Ю., Никулин С. С. Катионные полиэлектролиты в технологии выделения каучуков из латекса. Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Германия, 2020. С. 14–15, 47–57.
- [5] 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. EDN: TACHNN. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_22578638_85972878.pdf
- [6] Фам К. Д., Гайдадин А. Н., Горковенко Д. А., Навроцкий В. А. Коагуляция латексов натурального каучука и поливинилхлорида // ЖПХ. 2018. Т. 91. № 2. С. 273–278. EDN: YRVMCI [Pham Kim Dao, Gaidadin A. N., Gorkovenko D. A., Navrotskiy V. A. Coagulation of natural rubber and polyvinyl chloride latices // Russ. J. Appl. Chem. 2018. V. 91. N 2. P. 320–324. <https://doi.org/10.1134/S1070427218020234>].
- [7] Воробьева А. И., Сагитова Д. Р., Колесов С. В., Монаков Ю. Б. Радикальная сополимеризация N,N-диаллил-N,N-диметиламмонийхлорида и малеиновой кислоты в растворителях различной природы // ЖПХ. 2009. Т. 82. № 6. С. 989–994. EDN: WKHYGT. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44518017>
[Vorob'eva A. I., Sagitova D. R., Kolesov S. V., Monakov Yu. B. Radical copolymerization of N,N-diallyl-N,N-dimethylammonium chloride and maleic acid in various solvents // Russ. J. Appl. Chem. 2009. V. 82. N 6. P. 1046–1051. <https://doi.org/10.1134/S1070427209060226>].
- [8] Воробьева А. И., Прочухан Ю. А., Монаков Ю. Б. Аллиловые соединения в реакциях радикальной полимеризации // Высокомолекуляр. соединения. Сер. С. 2003. Т. 45. № 12. С. 2118–2136. EDN: ONPUXT. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17255773>
- [9] Abdiyev K. Zh., Toktarbay Zh., Zhenissova A. Zh., Zhursumbaeva M. B., Kainazarova R. N., Nuraje N. The New effective flocculants — copolymers of N,N-dimethyl-N,N-diallylammonium chloride and N,N-dimethylacrylamide // Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. 2015. V. 480. P. 228–235. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2015.04.025>
- [10] Никулин С. С., Пояркова Т. Н., Мисин В. М. Перспектива применения сополимера N,N-диметил-N,N-диаллиламмонийхлорида с акриламидом в производстве бутадиен-стирольного каучука // ЖПХ. 2011. Т. 84. № 5. С. 853–858. EDN: OHFQFR [Nikulin S. S., Poyarkova T. N., Misin V. M. Prospects for using the copolymer of N,N-dimethyl-N,N-diallylammonium chloride with acrylamide in production of butadiene-styrene rubber // Russ. J. Appl. Chem. 2011. V. 84. N 5. P. 882–887. <https://doi.org/10.1134/S1070427211050247>].
- [11] Папков В. Н., Гусев Ю. К., Блинов Е. В., Ривин Э. М. Регулирование процесса выделения бутадиен-нитрильных каучуков из латексов бессолевым методом // Пром. пр-во и использ. эластомеров. 2010. № 4. С. 7–10. EDN: NXLATX. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16516219>
- [12] Крючкова Н. В., Орлов Ю. Н., Леванова С. В. Исследование процесса выделения эмульсионных бутадиен-(α -метил)стирольных каучуков с применением катионного полиэлектролита поли-N,N'-диметил-N-2-гидроксипропиламмонийхлорида. EDN: QFHAHM // ЖПХ. 2011. Т. 84. № 11. С. 1893–1897 [Kryuchkova N. V., Orlov Y. N., Levanova S. V. Recovery of emulsion butadiene-(α -methyl)styrene rubbers using a cationic polyelectrolyte, poly-N,N'-dimethyl-N-2-hydroxypropylammonium chloride // Russ. J. Appl. Chem. 2011. V. 84. N 11. P. 1978–1982. <https://doi.org/10.1134/S1070427211110243>].
- [13] Pelssers E., Coen M., Stuart M., Fleer G. Kinetic aspects of polymer bridging: Equilibrium flocculation and nonequilibrium flocculation // Colloids and Surfaces. 1989. V. 38. N 1. P. 15–25.

- [https://doi.org/10.1016/0166-6622\(89\)80139-8](https://doi.org/10.1016/0166-6622(89)80139-8)
- [14] *Вережников В. Н., Вострикова Г. Ю., Пояркова Т. Н.* Влияние хлорида натрия и температуры на эффективность выделения каучука из бутадиен-нитрильного латекса катионным полиэлектролитом // ЖПХ. 2003. Т. 76. № 8. С. 1359–1362. EDN: PAMEDZ [*Verezhnikov V. N., Vostrikova G. Yu., Poyarkova T. N.* Effect of sodium chloride and temperature on the efficiency of rubber separation from butadiene-acrylonitrile latex with cationic polyelectrolyte // Russ. J. Appl. Chem. 2003. V. 76. N 8. P. 1323–1326. <https://doi.org/10.1023/B:RJAC.0000008311.63112.91>].
- [15] Пат. 2760489 С1 РФ (опубл. 25.11.2021). Способ получения бутадиен-стирольного каучука.
-