






## Выбор подкисляющего агента в производстве синтетических каучуков






Дарина В. Левицкая	<sup>1</sup>	<a href="mailto:levitskayadarina@gmail.ru">levitskayadarina@gmail.ru</a>	 0009-0009-1848-3227
Валерий А. Седых	<sup>1</sup>	<a href="mailto:cdxva@mail.ru">cdxva@mail.ru</a>	 0000-0003-1054-6552
Наталья Ю. Санникова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:cnu@inbox.ru">cnu@inbox.ru</a>	 0000-0002-5583-2563
Лариса А. Власова	<sup>2</sup>	<a href="mailto:vllar65@yandex.ru">vllar65@yandex.ru</a>	 0000-0003-1515-8321
Сергей С. Никулин	<sup>3</sup>	<a href="mailto:nikulin.nikuli@ya.ru">nikulin.nikuli@ya.ru</a>	 0000-0002-8141-8008

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

**Аннотация.** Изделия из полимеров активно применяются в разных сферах человеческой деятельности. Широкое применение получили синтетические каучуки, получаемые эмульсионной полимеризацией. Использование новых коагулирующих веществ в производственном процессе может существенно устранить характерные недостатки традиционного солевого коагулянта. Проведена сравнительная оценка процессов выделения каучука из латекса с использованием в качестве подкисляющих агентов неорганических кислот разного вида. В качестве солевого коагулянта использовали водный раствор хлорида натрия. Установлено, что наиболее эффективным подкисляющим агентом является водный раствор соляной кислоты. Полнота выделения каучука из латекса марки СКС-30 АРК достигалась при удельном расходе соляной кислоты в 5 кг/т каучука и хлорида натрия 150 кг/т каучука. При использовании в качестве подкисляющего агента фосфорной кислоты выявлены особенности ее действия. При увеличении дозировки фосфорной кислоты в качестве подкисляющего агента выявлен индукционный период, связанный с подменой буферной добавки - кальцинированной соды на тринатрий фосфат, а также невозможность перевода мыла в свободные карбоксильные кислоты по причине недостаточного уровня кислотности использования её в процессе коагуляции эмульсионных каучуков. Слабая неорганическая борная кислота непригодна к использованию в производстве эмульсионных каучуков по причине низкой степени диссоциации и недостаточного уровня кислотности. Это связано с малой растворимостью и низкой степенью диссоциации борной кислоты, которая не обеспечивает перевод мыл карбоновых кислот в жирные кислоты.

**Ключевые слова:** латекс, коагуляция, подкисляющие агенты, полнота коагуляции.

## Selection of an acidifying agent in the production of synthetic rubbers

Darina V. Levitskaya	<sup>1</sup>	<a href="mailto:levitskayadarina@gmail.ru">levitskayadarina@gmail.ru</a>	 0009-0009-1848-3227
Valery A. Sedykh	<sup>1</sup>	<a href="mailto:cdxva@mail.ru">cdxva@mail.ru</a>	 0000-0003-1054-6552
Natalia Yu. Sannikova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:cnu@inbox.ru">cnu@inbox.ru</a>	 0000-0002-5583-2563
Larisa A. Vlasova	<sup>2</sup>	<a href="mailto:vllar65@yandex.ru">vllar65@yandex.ru</a>	 0000-0003-1515-8321
Sergey S. Nikulin	<sup>3</sup>	<a href="mailto:nikulin.nikuli@ya.ru">nikulin.nikuli@ya.ru</a>	 0000-0002-8141-8008

<sup>1</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** Polymer products are widely used in various fields. Synthetic rubbers produced by emulsion polymerization are widely used. The use of new coagulating agents in the production process can significantly eliminate the inherent drawbacks of traditional salt coagulants. A comparative evaluation of rubber separation processes from latex using various types of inorganic acids as acidifying agents was conducted. An aqueous solution of sodium chloride was used as the salt coagulant. It was found that an aqueous solution of hydrochloric acid is the most effective acidifying agent. Complete rubber separation from SKS-30 ARK latex was achieved with a specific consumption of hydrochloric acid of 5 kg/t of rubber and sodium chloride of 150 kg/t of rubber. The use of phosphoric acid as an acidifying agent revealed its specific properties. When increasing the dosage of phosphoric acid as an acidifying agent, an induction period was observed due to the replacement of the buffer additive (soda ash) with trisodium phosphate. Furthermore, the inability to convert soap into free carboxylic acids was also observed due to insufficient acidity during the coagulation of emulsion rubbers. Weak inorganic boric acid is unsuitable for use in the production of emulsion rubbers due to its low degree of dissociation and insufficient acidity. This is due to the low solubility and low degree of dissociation of boric acid, which prevents the conversion of carboxylic acid soaps into fatty acids.

**Keywords:** latex, coagulation, acidifying agents, completeness of coagulation .

### Введение

В мировой практике полимерные материалы являются незаменимыми конструкционными

материалами. Полимерные изделия широко используются в различных отраслях народного хозяйства [1–3]. Отсутствует альтернатива

Для цитирования

Левицкая Д.В., Седых В.А., Санникова Н.Ю., Власова Л.А., Никулин С.С. Выбор подкисляющего агента в производстве синтетических каучуков // Вестник ВГУИТ. 2026. Т. 88. № 2. С. 333–340. doi:10.20914/2310-1202-2026-2-333-340

For citation

Levitskaya D.V., Sedykh V.A., Sannikova N.Yu., Vlasova L.A., Nikulin S.S. Selection of an acidifying agent in the production of synthetic rubbers. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2026. vol. 88. no. 2. pp. 333–340. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2026-2-333-340

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

полной замены полимеров в целом ряде изготавливаемых изделий. В связи с этим совершенствованию технологии производств полимерных материалов в настоящее время отводится повышенное внимание. Все это относится и к производству синтетических каучуков.

Среди технологий производства синтетических каучуков повышенное внимание отводится эмульсионному способу их получения [4]. Каучуки, синтезируемые эмульсионной полимеризацией, благодаря комплексу свойств, широко используются в шинной и резинотехнической промышленности, в композиционных составах различного назначения, а также в лакокрасочной промышленности и др. [5, 6]. Совершенствование производств эмульсионных каучуков направлено на разработку новых технологий, иницирующих и эмульгирующих систем и др. До настоящего времени одной из наиболее материало- и энергоемкой стадии их производства являлось выделение каучука из латекса. Данному вопросу в литературных источниках последних десятилетий отводилось повышенное внимание. Активно использовавшийся в течение многих десятилетий хлорид натрия заменяется на другие коагулирующие системы [7–9]. Это связано с тем, что удельный расход солевого коагулянта на выделение каучука из латекса с использованием традиционных технологий достигал 200–250 кг/т каучука. Высокий удельный расход солевого коагулянта на выделение каучука из латекса приводил к загрязнению природных водных ресурсов солью, что недопустимо с экологической точки зрения. Внедрение в технологию производства новых коагулирующих агентов на основе полимерных четвертичных солей аммония позволило сгладить этот недостаток характерный для солевого коагулянта. В результате существенно снизилось загрязнение сточных вод компонентами эмульсионной системы. Однако высокая стоимость полимерных четвертичных солей, повышенная антисептическая активность, а также невозможность использования в некоторых действующих технологических процессах сдерживает их широкое применение.

Другим важным аспектом при производстве эмульсионных каучуков является применение для подкисления коагулируемой системы водного раствора серной кислоты [10]. В литературных источниках полностью отсутствуют сведения по влиянию других видов подкисляющих агентов в технологическом процессе производства эмульсионных каучуков. Устранению этого пробела в производстве

эмульсионных каучуков, посвящены исследования, представленные в работе.

**Цель работы** – изучение влияния вида подкисляющего агента на эффективность коагуляции латекса в процессе выделения эмульсионного каучука.

### Материалы и методы

В работе для выделения каучука СКС-30 АРК использовали бутадиен–стирольный латекс, отобранный с действующего промышленного предприятия и обладающего следующими показателями (таблица 1).

Процесс выделения каучука из латекса осуществляли водным раствором хлорида натрия с концентрацией ~ 20% мас.

Таблица 1.  
Характеристики латекса каучука СКС-30 АРК  
Table 1.  
Characteristics of latex rubber SKS-30 ARK

Показатель Indicator	Значение Value
Содержание связанного стирола, % мас. Bound styrene content, wt. %	22,5
Сухой остаток, % мас.   Dry residue, wt. %	21,8
Поверхностное натяжение, мН/м Surface tension, mN/m	54,3
pH латекса   Latex pH	10,1

Стабилизация латекса при pH = 10 обеспечивается введением анионоактивного ПАВ – мыла карбоновых кислот – и присутствием буферной добавки – кальцинированной соды.

Коагуляцию каучукового латекса СКС-30 АРК проводили согласно общепринятой методике [11]. В качестве подкисляющего агента были использованы водные растворы четырех неорганических кислот с концентрациями ~ 2,0% масс. Выделение каучука из латекса проводили при температуре ~ 20 °С на коагуляционной установке, представляющей собой ёмкость, снабжённую перемешивающим устройством, помещённую в термостат для поддержания заданной температуры. Полноту коагуляции оценивали визуально по прозрачности серума и гравиметрически – по массе выделяющейся крошки каучука. Образующуюся крошку каучука отделяли от серума, промывали тёплой водой и после частичного отжима досушивали в сушильной камере при температуре 82–85 °С.

Основные показатели, используемые в качестве подкисляющих агентов неорганических кислот представлены в таблице 2.

Таблица 2.  
Показатели используемых в  
исследовании кислот

Table 2.  
Indicators of the acids used in the study

Кислота Acid	Степень диссоциации Degree of dissociation, ( $\alpha$ ), %	Константа диссоциации, моль/дм <sup>3</sup> Dissociation constant, mol/dm <sup>3</sup>
HCl	92	$1,00 \times 10^7$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	58	$1,20 \times 10^{-2}$
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	26	$7,08 \times 10^{-3}$
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,01	$5,70 \times 10^{-10}$

### Результаты и обсуждение

Установлено, что полноту выделения каучука из латекса можно достичь с использованием в технологическом процессе трех кислот со степенью диссоциации 26–92%.

Борная кислота показала свою непригодность по причине низкой растворимости и степени диссоциации.

В таблице 3 представлены данные по влиянию удельного расхода серной кислоты на полноту выделения каучука СКС-30 АРК из латекса. Данный подкисляющий агент

в настоящее время широко используется в технологическом процессе выделения каучука из латекса. По ходу изменения удельного расхода серной кислоты на коагуляцию проводили контроль водородного показателя (рН) образующейся водной фазы (серума). Серная кислота является эффективным подкисляющим агентом (таблица 3). Показано, что уменьшение ее удельного расхода ниже 7 кг/т каучука при удельном расходе хлорида натрия 150 кг/т каучука недопустимо, поскольку это приводит к снижению кислотности коагулируемой системы и приближению к критическому значению рН (не более 4,1). В результате затрудняется перевод мыл карбоновых кислот в свободные жирные кислоты. Согласно требованиям ГОСТ 15627–2019 на каучук СКС-30 АРК количество мыл карбоновых кислот в крошке каучука на должно превышать 0,3%. Дальнейшее снижение удельного расхода серной кислоты до 5 кг/т каучука приводит к неполной коагуляции латекса даже при удельном расходе хлорида натрия 200 кг/т каучука, а также недопустимому возрастанию остаточного содержания мыл карбоновых кислот в каучуке до 1,9% масс. В результате каучук не будет соответствовать требованиям ГОСТ 15627–2019.

Таблица 3.  
Влияние удельного расхода серной кислоты на эффективность процесса выделения  
каучука из латекса

Table 3.  
The effect of specific sulfuric acid consumption on the efficiency of the rubber-latex separation process

Подкисляющий агент – 2-х% водный раствор серной кислоты					
Расход NaCl, кг/т каучука   NaCl consumption, kg/t rubber	10	50	100	150	-
Расход H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , кг/т каучука   H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> consumption, kg/t rubber	15				
рН серума   Serum pH	2,1				
Выход крошки каучука, %   Rubber crumb yield, %	29,1	86,9	93,8	97,3	-
Полнота коагуляции   Coagulation completeness	кнп	кнп	кп	кп	-
Расход NaCl, кг/т каучука   NaCl consumption, kg/t rubber	10	50	100	150	-
Расход H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , кг/т каучука   H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> consumption, kg/t rubber	12				
рН серума   Serum pH	2,5				
Выход крошки каучука, %   Rubber crumb yield, %	23,4	83,2	93,3	96,7	-
Полнота коагуляции   Coagulation completeness	кнп	кнп	кп	кп	-
Расход NaCl, кг/т каучука   NaCl consumption, kg/t rubber	10	50	100	150	-
Расход H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , кг/т каучука   H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> consumption, kg/t rubber	10				
рН серума   Serum pH	2,8				
Выход крошки каучука, %   Rubber crumb yield, %	19,4	80,6	85,8	96,5	-
Полнота коагуляции   Coagulation completeness	кнп	кнп	кнп	кп	-
Расход NaCl, кг/т каучука   NaCl consumption, kg/t rubber	10	50	100	150	200
Расход H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , кг/т каучука   H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> consumption, kg/t rubber	7				
рН серума   Serum pH	3,5				
Выход крошки каучука, %   Rubber crumb yield, %	17,8	67,7	86,7	96,2	96,6
Полнота коагуляции   Coagulation completeness	кнп	кнп	кнп	кп	кп
Расход NaCl, кг/т каучука   NaCl consumption, kg/t rubber	10	50	100	150	200
Расход H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , кг/т каучука   H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> consumption, kg/t rubber	5				
рН серума   Serum pH	5,6				
Выход крошки каучука, %   Rubber crumb yield, %	9,5	41,4	52,6	57,0	62,7
Полнота коагуляции   Coagulation completeness	кнп	кнп	кнп	кнп	кнп

Примечание: коагуляция неполная – кнп; коагуляция полная – кп

Note: incomplete coagulation – кнп; complete coagulation – кп

Наилучшие результаты достигались при использовании в технологическом процессе выделения каучука из латекса соляной кислоты (таблица 4).

Использование вместо серной кислоты соляной кислоты (таблица 4) приводит к тому, что коагуляционный процесс протекает более активно, чем в случае применения серной кислоты. Полнота выделения каучука из латекса достигалась при удельном расходе соляной кислоты 5 кг/т каучука при удельном расходе хлорида натрия 150 кг/т каучука. При этом обеспечивалась требуемая полнота перевода мыл карбоновых кислот в жирные кислоты. Такое поведение одноосновной соляной кислоты связано с тем, что данная кислота обладает

наибольшую степень диссоциации (92%), чем серная кислота (58%). Снижение полноты выделения каучука из латекса обнаружено при достижении удельного расхода соляной кислоты 3 кг/т каучука. При более низком удельном расходе соляной кислоты не происходит перевод мыл карбоновых кислот в жирные кислоты.

Таким образом, замена серной кислоты на соляную допустимо. Применение соляной кислоты позволяет снизить как удельный расход подкисляющего агента до 5 кг/т каучука при удельном расходе хлорида натрия 150 кг/т каучука, так и сокращение расхода щелочи на последующую нейтрализацию стоков избытка серумной воды, сбрасываемой в ХЗК.

Таблица 4.

Влияние расхода соляной кислоты на эффективность процесса выделения каучука из латекса

Table 4.

The influence of hydrochloric acid consumption on the efficiency of the process of rubber separation from latex

Подкисляющий агент – 2-х% водный раствор соляной кислоты					
Расход NaCl, кг/т каучука   NaCl consumption, kg/t rubber	10	50	100	150	-
Расход HCl, кг/т каучука   HCl consumption, kg/t rubber	15				
pH серума   Serum pH	1,6				
Выход крошки каучука, %   Rubber crumb yield, %	53,9	86,6	94,7	94,9	-
Полнота коагуляции   Coagulation completeness	кнп.	кнп	кп	кп	-
Расход NaCl, кг/т каучука   NaCl consumption, kg/t rubber	10	50	100	150	-
Расход HCl, кг/т каучука   HCl consumption, kg/t rubber	12				
pH серума   Serum pH	1,9				
Выход крошки каучука, %   Rubber crumb yield, %	53,0	85,7	89,1	94,6	-
Полнота коагуляции   Coagulation completeness	кнп.	кнп	кнп	кп	-
Расход NaCl, кг/т каучука   NaCl consumption, kg/t rubber	10	50	100	150	-
Расход HCl, кг/т каучука   HCl consumption, kg/t rubber	10				
pH серума   Serum pH	2,3				
Выход крошки каучука, %   Rubber crumb yield, %	51,3	86,5	88,2	94,0	-
Полнота коагуляции   Coagulation completeness	кнп.	кнп	кнп	кп	-
Расход NaCl, кг/т каучука   NaCl consumption, kg/t rubber	10	50	100	150	-
Расход HCl, кг/т каучука   HCl consumption, kg/t rubber	7				
pH серума   Serum pH	3,0				
Выход крошки каучука, %   Rubber crumb yield, %	40,5	85,5	87,9	94,7	-
Полнота коагуляции   Coagulation completeness	кнп.	кнп	кнп	кп	-
Расход NaCl, кг/т каучука   NaCl consumption, kg/t rubber	10	50	100	150	200
Расход HCl, кг/т каучука   HCl consumption, kg/t rubber	5				
pH серума   Serum pH	3,7				
Выход крошки каучука, %   Rubber crumb yield, %	22,7	63,4	90,0	95,0	95,4
Полнота коагуляции   Coagulation completeness	кнп.	кнп	кнп	кп	кп
Расход NaCl, кг/т каучука   NaCl consumption, kg/t rubber	10	50	100	150	170
Расход HCl, кг/т каучука   HCl consumption, kg/t rubber	3				
pH серума   Serum pH	5,5				
Выход крошки каучука, %   Rubber crumb yield, %	13,4	35,6	42,1	53,5	53,8
Полнота коагуляции   Coagulation completeness	кнп.	кнп	кнп	кнп	кнп

Примечание: коагуляция неполная – кнп; коагуляция полная – кп

Note: incomplete coagulation – кнп; complete coagulation – кп

Фосфорная кислота по степени диссоциации уступает как серной, так и соляной кислоте (таблица 2).

Коагуляция латекса фосфорной кислотой имеет свои особенности. Зависимости выхода крошки от удельного расхода фосфорной кислоты по сравнению с серной и соляной кислотами при удельном расходе хлорида натрия 10 кг/т

каучука существенно отличаются. При практическом близком уровне pH = 5,7–5,8 выход крошки в присутствии фосфорной кислоты с одной стороны, серной и соляной кислоты с другой стороны составил соответственно 1,2% и 9,5, 13,4%, т. е. на порядок меньше (таблица 3–5).

На начальный период при использовании в качестве подкисляющего агента водного

раствора фосфорной кислоты для выделения каучука из латекса протекает взаимодействие фосфорной кислоты с кальцинированной содой ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), применяемой для поддержания требуемого значения водородного показателя латекса (рН не менее 10). Образующийся тринатрийфосфат так же будет поддерживать водородный показатель латексной дисперсии на требуемом уровне, и стабилизировать латексную систему. Повышение удельного расхода

фосфорной кислоты до 15 кг/т каучука при расходе хлорида натрия 50–150 кг/т каучука обеспечивает не только превращение кальцинированной соды в тринатрийфосфат, но и подкисление коагулируемой системы (таблица 5). Водородный показатель рН снижается до 5,7, происходит падение устойчивости коагулируемой системы и каучуковый коагулюм полностью выделяется из латекса.

Таблица 5.

Влияние удельного расхода фосфорной кислоты на эффективность процесса выделения каучука из латекса

Table 5.

The influence of specific consumption of phosphoric acid on the efficiency of the process of rubber extraction from latex

Подкисляющий агент – 2-х% водный раствор фосфорной кислоты							
Расход $\text{NaCl}$ , кг/т каучука   $\text{NaCl}$ consumption, kg/t rubber	10	50	70	100	120	150	-
Расход $\text{H}_3\text{PO}_4$ , кг/т каучука   $\text{H}_3\text{PO}_4$ consumption, kg/t rubber	15						
рН серума   Serum pH	5,7						
Выход крошки каучука, %   Rubber crumb yield, %	1,2	47,4	75,6	87	92,4	93,47	-
Полнота коагуляции   Coagulation completeness	кнп	кнп	кнп	кнп	кп	кп	-
Расход $\text{NaCl}$ , кг/т каучука   $\text{NaCl}$ consumption, kg/t rubber	10	30	50	70	100	120	-
Расход $\text{H}_3\text{PO}_4$ , кг/т каучука   $\text{H}_3\text{PO}_4$ consumption, kg/t rubber	12						
рН серума   Serum pH	6,3						
Выход крошки каучука, %   Rubber crumb yield, %	0,9	11,3	36,5	69,6	85,6	93	-
Полнота коагуляции   Coagulation completeness	кнп	кнп	кнп	кнп	кнп	кп	-
Расход $\text{NaCl}$ , кг/т каучука   $\text{NaCl}$ consumption, kg/t rubber	10	30	50	70	100	120	-
Расход $\text{H}_3\text{PO}_4$ , кг/т каучука   $\text{H}_3\text{PO}_4$ consumption, kg/t rubber	10						
рН серума   Serum pH	6,7						
Выход крошки каучука, %   Rubber crumb yield, %	0,8	8,1	24,3	67,5	83,6	92,2	-
Полнота коагуляции   Coagulation completeness	кнп	кнп	кнп	кнп	кнп	кп	-
Расход $\text{NaCl}$ , кг/т каучука   $\text{NaCl}$ consumption, kg/t rubber	10	30	50	70	100	120	-
Расход $\text{H}_3\text{PO}_4$ , кг/т каучука   $\text{H}_3\text{PO}_4$ consumption, kg/t rubber	7						
рН серума   Serum pH	6,9						
Выход крошки каучука, %   Rubber crumb yield, %	0,7	7,4	20	59,1	69,5	91,7	-
Полнота коагуляции   Coagulation completeness	кнп	кнп	кнп	кнп	кнп	кп	-
Расход $\text{NaCl}$ , кг/т каучука   $\text{NaCl}$ consumption, kg/t rubber	10	30	50	70	100	120	150
Расход $\text{H}_3\text{PO}_4$ , кг/т каучука   $\text{H}_3\text{PO}_4$ consumption, kg/t rubber	5						
рН серума   Serum pH	7,5						
Выход крошки каучука, %   Rubber crumb yield, %	0,6	1,4	27,3	36,5	38,6	39,1	40,4
Полнота коагуляции   Coagulation completeness	кнп	кнп	кнп	кнп	кнп	кнп	кнп

Примечание: коагуляция неполная – кнп; коагуляция полная – кп

Note: incomplete coagulation – кнп; complete coagulation – кп

Снижение удельного расхода фосфорной кислоты приводит к уменьшению кислотности системы. Это в свою очередь приводит к падению степени перевода мыл карбоновых кислот в свободные жирные кислоты (содержание их в каучуке превышает допустимый уровень, не более 0,3% масс. в каучуке), что является недопустимым. Поэтому, хотя полнота выделения каучука из латекса и достигается с применением фосфорной кислоты 15 кг/т каучука при удельном расходе хлорида натрия 120 кг/т каучука, однако её применение не обеспечивает в полной мере максимального перевода мыл карбоновых кислот в свободные жирные кислоты.

Относительно перспективы применения на стадии выделения каучука из латекса борной

кислоты. Возможность использования в данном процессе исключена. Борная кислота является очень слабой (таблица 2). В свою очередь, борная кислота не сможет осуществить перевод мыл карбоновых кислот в жирные кислоты и снизить водородный показатель коагулируемой системы до значения рН ниже 4,1.

### Заключение

1. Установлено, что наименьший расход подкисляющего агента достигался при использовании в технологическом процессе выделения каучука из латекса водного раствора соляной кислоты.

2. При увеличении дозировки фосфорной кислоты в качестве подкисляющего агента выявлен индукционный период, связанный

с подменной буферной добавки – кальцинированной соды – на тринатрийфосфат, и невозможность перевода мыл карбоновых кислот в свободные карбоксильные кислоты по причине недостаточного уровня кислотности использования её на стадии коагуляции эмульсионных каучуков.

3. Слабая неорганическая борная кислота непригодна к использованию в производстве эмульсионных каучуков по причине низкой степени диссоциации и невозможности достижения достаточного уровня кислотности.

## Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания ФГБОУ «Воронежский государственный университет инженерных технологий» № FZGW-2026–0006 «Научно-практические основы синтеза, модификации и переработки полимеров с применением природоподобных (интеллектуальных) технологий».

## Литература


- 1 Аксёнов В.И., Насыров И.Ш. Производство синтетического каучука в России: анализ итогов за 2022 г. перспективы развития // *Промышленное производство и использование эластомеров*. 2023. № 1. С. 3–14. doi: 10.24412/2071-8268-2023-1-3-14
- 2 Тезикова С.Л. Охрана окружающей среды при производстве синтетического каучука // *Каучук и резина*. 2020. Т. 79. № 4. С. 204–210. doi: 10.47664/0022-9466-2020-79-4-204-210
- 3 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.
- 4 Никулин С.С., Мисин В.М., Никулина Н.С., Чурилина Е.В., Пугачева И.Н., Писарева И.А. Коагулирующий агент на основе бензилтриметиламмоний хлорида в процессе производства бутадиен-стирольного каучука // *Журнал прикладной химии*. 2024. Т. 97. № 9–10.
- 5 Папков В.Н., Ривин Э.М., Блинов Е.В., Юдин В.П. Современное состояние и перспективы развития производства эмульсионных бутадиен-стирольных каучуков // *Промышленное производство и использование эластомеров*. 2021. № 3. С. 3–14. doi: 10.24412/2071-8268-2021-3-3-14
- 6 Provotorova M.A., Stadnik L.N., Papkov V.N. Sugar beet molasses as a substitute for sodium chloride in the production of synthetic rubbers // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2017. Vol. 90. No. 8. P. 1281–1285. doi: 10.1134/S1070427217080158
- 7 Дрябина С.С., Мальшева Ж.Н., Навроцкий А.В., Новаков И.А. Coagulation of butadiene-styrene latex with poly-N,N-dimethyl-2-hydroxypropylenammonium chloride // *Colloid Journal*. 2007. Vol. 69. No. 6. P. 706–711. doi: 10.1134/S1061933X07060051
- 8 Власова Л.А., Никулина Н.С. Влияние степени полимеризации катионного полиэлектролита на дозировку при коагуляции латексов синтетических эмульсионных каучуков // *Промышленное производство и использование эластомеров*. 2023. № 2. С. 12–18.
- 9 He S., Wang H., Wang Y., Huang J., Zhang L. Effect of acid type and concentration on coagulation behavior of carboxylated styrene-butadiene rubber latex // *Journal of Applied Polymer Science*. 2022. Vol. 139. No. 28. Article e52545. doi: 10.1002/app.52545
- 10 Sanseverinatti C.I., Perdomo M.M., Clementi L.A., Vega J.R. An adaptive soft sensor for on-line monitoring the mass conversion in the emulsion copolymerization of the continuous SBR process // *Macromolecular Reaction Engineering*. 2023. Vol. 17. No. 5. Article 2300025. doi: 10.1002/mren.202300025
- 11 Saldívar-Guerra E., Infante-Martínez R., Islas-Manzur J.M. Mathematical modeling of the production of elastomers by emulsion polymerization // *Macromolecular Reaction Engineering*. 2023. Vol. 17. No. 6. doi: 10.1002/mren.202300012
- 12 Ho V.T.T., Chuc H.D., Tu T.H., Pham V.M.H. Treatment of rubber industry wastewater review: recent advances and future prospects // *Journal of Water Process Engineering*. 2023. Vol. 52. Article 103559. doi: 10.1016/j.jwpe.2023.103559
- 13 Charoenchaikorn R., Loykulnant S., Sae-oui P., Sirisinha C. Production of synthetic rubber latex through emulsion polymerization: a review // *Polymers*. 2024. Vol. 16. No. 17. Article 2476. doi: 10.3390/polym16172476
- 14 Pivovarov O.A., Tishchenko A.P. Coagulation of styrene-butadiene rubber latex with modified flocculants // *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2022. No. 2. P. 79–85. doi: 10.32434/0321-4095-2022-141-2-79-85
- 15 Папков В.Н., Гусев Ю.К., Ривин Э.М. Бутадиен-стирольные каучуки. Синтез и свойства // *Промышленное производство и использование эластомеров*. 2022. № 4. С. 8–15. doi: 10.24412/2071-8268-2022-4-8-15
- 16 Карманова О.В., Попова Л.В., Пойменова О.В., Гусев Ю.К. Создание активирующих систем для эффективной вулканизации эластомеров // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2014. № 3. С. 126–129. doi: 10.20914/2310-1202-2014-3-126-129
- 17 Bispo da Silva A., Soares B.G. Coagulation of styrene-butadiene rubber latex by chitosan: a sustainable alternative // *European Polymer Journal*. 2022. Vol. 173. Article 111294. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2022.111294
- 18 Литвинова Т.А., Игуменова Т.И., Шашок Ж.С. Совершенствование рецептуры резины для массивных шин путем добавок нетрадиционных наполнителей // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2020. Т. 82. № 1. С. 168–172.
- 19 Tang M., Yang B., Sun X., Pan Y. et al. Mechanism of styrene-butadiene-vinylpyridine latex coagulation by polymer flocculants and inorganic salts // *Polymers*. 2023. Vol. 15. No. 8. Article 1894. doi: 10.3390/polym15081894
- 20 Балабанова М.Ю., Панов С.Ю., Марнов А.Ю. Исследование технического решения экологических и энергетических проблем при пиролизной переработке крупнотоннажных твердых органических отходов // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2025. Т. 87. № 1. С. 243–249. doi: 10.20914/2310-1202-2025-1-243-249

## References


- 1 Aksenov V.I., Nasyrov I.Sh. Production of synthetic rubber in Russia: analysis of results for 2022 and development prospects. *Industrial Production and Use of Elastomers*. 2023. no. 1. pp. 3–14. doi: 10.24412/2071-8268-2023-1-3-14 (in Russian).
- 2 Tezikova S.L. Environmental protection in the production of synthetic rubber. *Rubber and Resin*. 2020. vol. 79. no. 4. pp. 204–210. doi: 10.47664/0022-9466-2020-79-4-204-210 (in Russian).
- 3 Odin A.P., Rachinsky A.V. Improved method for isolating emulsion butadiene-styrene rubbers using organic coagulants. *Rubber and Resin*. 2009. no. 3. pp. 2–4. (in Russian).
- 4 Nikulin S.S., Misin V.M., Nikulina N.S., Churilina E.V., Pugacheva I.N., Pisareva I.A. Coagulating agent based on benzyltrimethylammonium chloride in the production of butadiene-styrene rubber. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2024. vol. 97. no. 9–10. [Online first]. (in Russian).
- 5 Papkov V.N., Rivin E.M., Blinov E.V., Yudin V.P. Current state and prospects for the development of emulsion butadiene-styrene rubbers production. *Industrial Production and Use of Elastomers*. 2021. no. 3. pp. 3–14. doi: 10.24412/2071-8268-2021-3-3-14 (in Russian).
- 6 Provotorova M.A., Stadnik L.N., Papkov V.N. Sugar beet molasses as a substitute for sodium chloride in the production of synthetic rubbers. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2017. vol. 90. no. 8. pp. 1281–1285. doi: 10.1134/S1070427217080158.
- 7 Dryabina S.S., Malysheva Zh.N., Navrotsky A.V., Novakov I.A. Coagulation of butadiene-styrene latex with poly-N,N-dimethyl-2-hydroxypropylenammonium chloride. *Colloid Journal*. 2007. vol. 69. no. 6. pp. 706–711. doi: 10.1134/S1061933X07060051.
- 8 Vlasova L.A., Nikulina N.S. Influence of the degree of polymerization of cationic polyelectrolyte on the dosage during coagulation of synthetic emulsion rubber latices. *Industrial Production and Use of Elastomers*. 2023. no. 2. pp. 12–18. (in Russian).
- 9 He S., Wang H., Wang Y., Huang J., Zhang L. Effect of acid type and concentration on coagulation behavior of carboxylated styrene-butadiene rubber latex. *Journal of Applied Polymer Science*. 2022. vol. 139. no. 28. article e52545. doi: 10.1002/app.52545.
- 10 Sanseverinatti C.I., Perdomo M.M., Clementi L.A., Vega J.R. An adaptive soft sensor for on-line monitoring the mass conversion in the emulsion copolymerization of the continuous SBR process. *Macromolecular Reaction Engineering*. 2023. vol. 17. no. 5. article 2300025. doi: 10.1002/mren.202300025.
- 11 Saldívar-Guerra E., Infante-Martínez R., Islas-Manzur J.M. Mathematical modeling of the production of elastomers by emulsion polymerization. *Macromolecular Reaction Engineering*. 2023. vol. 17. no. 6. [Online first]. doi: 10.1002/mren.202300012.
- 12 Ho V.T.T., Chuc H.D., Tu T.H., Pham V.M.H. Treatment of rubber industry wastewater review: recent advances and future prospects. *Journal of Water Process Engineering*. 2023. vol. 52. article 103559. doi: 10.1016/j.jwpe.2023.103559.
- 13 Charoenchaikorn R., Loykulnant S., Sae-oui P., Sirisinha C. Production of synthetic rubber latex through emulsion polymerization: a review. *Polymers*. 2024. vol. 16. no. 17. article 2476. doi: 10.3390/polym16172476.
- 14 Pivovarov O.A., Tishchenko A.P. Coagulation of styrene-butadiene rubber latex with modified flocculants. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2022. no. 2. pp. 79–85. doi: 10.32434/0321-4095-2022-141-2-79-85.
- 15 Papkov V.N., Gusev Yu.K., Rivin E.M. Butadiene-styrene rubbers. Synthesis and properties. *Industrial Production and Use of Elastomers*. 2022. no. 4. pp. 8–15. doi: 10.24412/2071-8268-2022-4-8-15 (in Russian).
- 16 Karmanova O.V., Popova L.V., Poymenova O.V., Gusev Yu.K. Creation of activating systems for effective vulcanization of elastomers. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2014. no. 3. pp. 126–129. doi: 10.20914/2310-1202-2014-3-126-129 (in Russian).
- 17 Bispo da Silva A., Soares B.G. Coagulation of styrene-butadiene rubber latex by chitosan: a sustainable alternative. *European Polymer Journal*. 2022. vol. 173. article 111294. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2022.111294.
- 18 Litvinova T.A., Igumenova T.I., Shashok Zh.S. Improvement of the rubber formulation for massive tires by adding non-traditional fillers. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2020. vol. 82. no. 1. pp. 168–172. (in Russian).
- 19 Tang M., Yang B., Sun X., Pan Y. et al. Mechanism of styrene-butadiene-vinylpyridine latex coagulation by polymer flocculants and inorganic salts. *Polymers*. 2023. vol. 15. no. 8. article 1894. doi: 10.3390/polym15081894.
- 20 Balabanova M.Yu., Panov S.Yu., Marnov A.Yu. Investigation of technical solutions for environmental and energy problems during pyrolysis processing of large-tonnage solid organic waste. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 243–249. doi: 10.20914/2310-1202-2025-1-243-249 (in Russian).

## Сведения об авторах

**Дарина В. Левницкая**, студент, кафедра промышленной экологии и техноосферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, levitskayadarina@gmail.ru


 <https://orcid.org/0009-0009-1848-3227>

**Валерий А. Седых** к.т.н., профессор, кафедра технологии органического синтеза и переработки полимеров, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, cdxva@mail.ru


 <https://orcid.org/0000-0003-1054-6552>

## Information about authors


**Darina V. Levitskaya** student, Department of Industrial Ecology and Technosphere Safety, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, levitskayadarina@gmail.ru

 <https://orcid.org/0009-0009-1848-3227>


**Valery A. Sedykh** Dr. Sci. (Tech.), professor, Department of Organic Synthesis Technology and Polymer Processing, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, cdxva@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1054-6552>


**Наталья Ю. Санникова** к.х.н., доцент, кафедра технологии органического синтеза и переработки полимеров, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, cnu@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5583-2563>

**Лариса А. Власова** к.т.н., должность, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vllar65@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1515-8321>

**Сергей С. Никулин** д.т.н., профессор, кафедра технологии органического синтеза и переработки полимеров, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nikulin.nikuli@ya.ru

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


#### Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат


#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.


**Natalia Yu. Sannikova** Cand. Sci. (Chem.), docent, Department of Organic Synthesis Technology and Polymer Processing, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, cnu@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5583-2563>

**Larisa A. Vlasova** C Cand. Sci. (Tech.), docent, Department of Industrial Ecology and Technosphere Safety, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vllar65@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1515-8321>

**Sergey S. Nikulin** Dr. Sci. (Tech.) professor, Department of Organic Synthesis Technology and Polymer Processing, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nikulin.nikuli@ya.ru

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

#### Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/03/2026	После редакции 13/04/2026	Принята в печать 29/04/2026
Received 11/03/2026	Accepted in revised 13/04/2026	Accepted 29/04/2026