

Научная статья

УДК 621.315.616.7

DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-9-58-67

## ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ РЕЦЕПТУРЫ МОРОЗОСТОЙКОЙ ОЗОНОСТОЙКОЙ РЕЗИНЫ НА ОСНОВЕ ЭТИЛЕНПРОПИЛЕНОВОГО КАУЧУКА

А.М. Чайкун<sup>1</sup>, О.Б. Юмашев<sup>1</sup>, А.В. Сергеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

**Аннотация.** Показаны основные направления разработки рецептуры морозостойкой озоностойкой резины уплотнительного назначения. В настоящее время имеются проблемы долговечности эксплуатации деталей из резины марки НО-68-1 в связи с нестабильностью сырьевой базы каучуков. Проведен комплексный анализ каучуков различного состава и структуры. По результатам анализа в качестве полимерной основы выбраны этиленпропиленовые, этиленпропилендиеновые и пропиленоксидные каучуки. Из указанных каучуков изготовлены смеси различного состава. По результатам испытаний выбран оптимальный состав морозостойкой озоностойкой резины.

**Ключевые слова:** резина, этиленпропиленовый каучук, пропиленоксидный каучук, сера, перекись, морозостойкость, озоностойкость

**Для цитирования:** Чайкун А.М., Юмашев О.Б., Сергеев А.В. Особенности разработки рецептуры морозостойкой озоностойкой резины на основе этиленпропиленового каучука // Труды ВИАМ. 2022. № 9 (115). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-9-58-67.

Scientific article

## FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF THE FORMULA OF FROST-RESISTANT OZONE-RESISTANT RUBBER BASED ON EPDM RUBBER

A.M. Chaykun, O.B. Yumashev, A.V. Sergeev

<sup>1</sup>Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

**Abstract.** The article shows the main directions for the development of a formulation for frost-resistant ozone-resistant rubber for sealing purposes. Currently, there are problems with the durability of the operation of parts made of rubber grade NO-68-1 due to the instability of the raw material base of rubbers. A comprehensive analysis of rubbers of various composition and structure was carried out. Based on the results of the analysis, ethylene-propylene, ethylene-propylene diene, and propylene oxide rubbers were selected as the polymer base. Mixtures of various compositions are made from these rubbers. According to the test results, the optimal composition of frost-resistant ozone-resistant rubber was selected.

**Keywords:** rubber, ethylenepropylene rubber, propyleneoxide rubber, sulphur, peroxide, cold-resistance, ozone-resistance

**For citation:** Chaykun A.M., Yumashev O.B., Sergeev A.V. Features of the development of the formula of frost-resistant ozone-resistant rubber based on EPDM rubber. *Trudy VIAM*, 2022, no. 9 (115), paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-9-58-67.

### Введение

В авиакосмической отрасли необходимо обеспечить высокую степень герметичности узлов, которая достигается использованием уплотнителей различного назначения. В качестве уплотнительных деталей широко применяются резины и эластомеры [1–5].

Массовое применение эластомеров для герметизации деталей и узлов авиационной техники объясняется уникальными техническими характеристиками резины, прежде всего ее высокой эластичностью. Способность к большим обратимым деформациям при небольшом приложении нагрузки дает возможность обеспечить плотный контакт сопрягаемых поверхностей при малом напряжении сжатия. При этом время сборки контактирующих деталей значительно уменьшается [6, 7].

Применение резин облегчает процесс изготовления уплотнителей сложной конфигурации, что упрощает процесс сборки узлов и систем и обеспечивает высокую степень герметичности конструкции по сравнению с уплотнительными материалами других классов.

Широко применяемая в качестве эластомерных уплотнителей резина НО-68-1 на основе комбинации бутадиен-нитрильного и хлоропренового каучуков имеет низкую стойкость к старению, прежде всего к озонному, что приводит к преждевременному выходу из строя изготовленных из нее уплотнительных деталей. Указанные проблемы, по-видимому, связаны с изменением сырьевой базы каучуков, применяемых для ее изготовления. В случае бутадиен-нитрильных каучуков это связано с заменой эмульгатора, ранее применяемого в технологии синтеза по методу эмульсионной полимеризации на экологически нейтральные биоразлагаемые системы. Это приводит к изменению технических характеристик резин на их основе, прежде всего морозостойкости. Особенно заметно указанные особенности проявляются для резин на основе бутадиен-нитрильных каучуков с содержанием нитрила акриловой кислоты 18 % (по массе) марок СКН-18 и БНКС-18. Эти каучуки используются в составе резины марки НО-68-1. Выпуск хлоропреновых каучуков марки «Наирит» в настоящее время прекращен.

Для возможного создания рецептуры резины с улучшенными по сравнению с резиной НО-68-1 техническими характеристиками, проведен комплексный анализ эластомеров различного состава и структуры. По результатам анализа определено, что для разработки морозостойких озоностойких уплотнительных резин в качестве полимерной основы представляют интерес этиленпропиленовые, этиленпропилендиеновые и пропиленоксидные каучуки [8–11]. Известно, что работоспособность уплотнительных резин при отрицательных температурах определяют не только упругопрочностные свойства, но и температурный предел хрупкости резины, а также коэффициент морозостойкости по эластическому восстановлению после сжатия [12–14]. Поэтому разработка морозостойких озоностойких резин требует достижения баланса упругопрочностных и эксплуатационных характеристик.

В данной работе на основе этиленпропиленовых (СКЭП) и пропиленоксидных каучуков (СКПО) изготовлены резины и проведены их исследования, включающие определение кинетики вулканизации и упругопрочностные свойства. В результате исследования выбран оптимальный тип каучука, основные ингредиенты резиновой смеси и проведены испытания резин оптимальной рецептуры.

По результатам проведенных исследований показано, что разработанная резина обладает необходимым комплексом эксплуатационных характеристик.

### Материалы и методы

В работе использованы: этиленпропиленовые каучуки с массовой долей этиленовых звеньев 40–50 % (ТУ 2294-022-05768801–2002) и пропиленоксидный каучук марки СКПО (ТУ 2294-067-16810126–2003) производства АО «Синтезкаучук»

(г. Стерлитамак). В качестве наполнителей использовали технический углерод различной дисперсности и структурности, вулканизирующая система состояла из серы, органического пероксида и ускорителей различного химического строения и вулканизационной активности.

Резиновые смеси изготавливали на лабораторных вальцах типа СМ 350 150/150. Для обеспечения равномерности смешивания и диспергирования наполнителей применен двухстадийный режим смешивания. Вулканизацию проводили в обогреваемом гидравлическом вулканизационном прессе PanStone P 50.

Параметры поперечного сшивания и кинетику вулканизации определяли на безроторном реометре MonTech по ГОСТ 12535–84, физико-механические свойства – по ГОСТ 270–75, твердость – по ГОСТ 263–75, температурный предел хрупкости резины – по ГОСТ 7912–74, коэффициент морозостойкости по эластическому восстановлению после сжатия – по ГОСТ 13808–79, стойкость к озонному старению – по ГОСТ 9.026–74.

Эксперименты проведены на оборудовании центра коллективного пользования НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

### Результаты и обсуждение

На основании данных научных исследований в сфере эластомерных материалов, а также современных тенденций в области создания резин на основе полярных и неполярных каучуков с целью создания морозостойкой озоностойкой резины выбраны следующие основные направления исследования:

- использование в качестве полимерной основы разрабатываемой резины материалов с низкими температурами стеклования;
- обеспечение озоностойких свойств резины путем использования полимерной матрицы с низкой непредельностью и таких базовых каучуков, как этиленпропиленовые, этиленпропилендиеновые и пропиленоксидные;
- для повышения эластичности сшитого эластомера при низких температурах выбран технический углерод пониженной активности;
- для повышения теплостойкости и обеспечения необходимой плотности сшивки резины использовали перекисную, серную или комбинированную перекисно-серную вулканизирующие системы.

С учетом ранее проведенных исследований выбраны две принципиальные рецептуры морозостойкой озоностойкой резиновой смеси.

В качестве основы морозостойкой композиции, стойкой также к озонному старению, в базовую рецептуру 1 введен этиленпропиленовый каучук, в базовую рецептуру 2 – пропиленоксидный каучук. Для сохранения высокой эластичности при отрицательных температурах в состав включен малоактивный углеродный наполнитель.

С учетом того, что этиленпропиленовый каучук можно вулканизовать как серными, так и перекисными вулканизирующими системами, а также учитывая необходимость обеспечить сбалансированные упругопрочностные, эксплуатационные и уплотнительные свойства, наряду с традиционными вулканизирующими системами исследована комбинированная перекисно-серная система.

В качестве наполнителей использовали технический углерод различной дисперсности и активности. Активаторами вулканизации были оксиды металлов в сочетании с насыщенными жирными кислотами. В качестве ускорителей вулканизации исследованы вещества различного химического строения и активности. Компонентный состав исследуемых резин приведен в табл. 1.

Таблица 1

## Рецептуры резиновых смесей для исследований

Условный номер рецептуры	Компоненты
1	Каучук СКЭП, технический углерод, комплекс активаторов вулканизации, органический пероксид, вулканизирующий агент
2	Каучук СКЭП, технический углерод, комплекс активаторов вулканизации, органический пероксид, вулканизирующий агент, ускоритель вулканизации высокой активности
3	Каучук СКЭП, технический углерод, комплекс активаторов вулканизации, органический пероксид, вулканизирующий агент, ускорители вулканизации высокой и средней активности
4	Каучук СКЭП, технический углерод, комплекс активаторов вулканизации, органический пероксид, вулканизирующий агент, ускоритель вулканизации высокой активности
5	Каучук СКПО, технический углерод, комплекс активаторов вулканизации, вулканизирующий агент, ускорители вулканизации высокой и средней активности
6	Каучук СКЭП, технический углерод, комплекс активаторов вулканизации, органический пероксид, вулканизирующий агент, ускоритель вулканизации высокой активности

Из приведенных в табл. 1 композиций изготовлены резиновые смеси. Результаты испытаний резин приведены в табл. 2.

Таблица 2

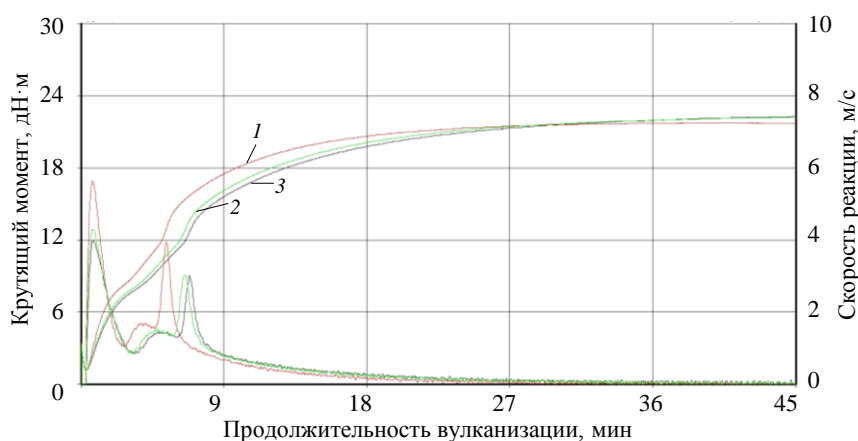
## Свойства резин различных рецептов

Свойства	Значения свойств для рецептов					
	1	2	3	4	5	6
Твердость по Шору А, усл. ед.	64–66	62–64	61–63	63–65	53–54	64–65
Условная прочность при растяжении, МПа	8,0–9,1	8,6–9,9	8,6–10,4	8,9–10,1	14,0–16,9	9,0–9,8
Относительное удлинение при разрыве, %	244–251	353–398	363–407	339–390	645–752	332–363
Уменьшение относительного удлинения при разрыве, %, после теплового старения при 100 °С в течение 72 ч	23	21	24	22	11	8
Температура хрупкости, °С	–70					
Стойкость к озонному старению, ч	25 ч без разрушений					
Остаточная деформация при сжатии, %, при температуре испытаний 100 °С и деформации 20 %	18–19	16–17	22–23	16–17	53–60	18–20
Коэффициент морозостойкости по эластическому восстановлению после сжатия по ГОСТ 13808–79 при температуре –60 °С	0,18	0,19	0,21	0,23	0,15	0,23

Из данных табл. 2 следует, что применение индивидуальных вулканизирующих систем, как серных, так и пероксидных, не позволяет достичь сбалансированных технических характеристик резины, сочетающих, в том числе, морозостойкость

и озоностойкость. Использование в качестве вулканизирующего агента только перекиси дикумила в рецептуре 1 приводит к получению резин с недостаточными упругопрочностными свойствами: условная прочность при растяжении – не более 9,0 МПа, относительное удлинение при разрыве – не более 250 %. Рецептуры 2–4 имеют значительное уменьшение относительного удлинения при разрыве после теплового старения при 100 °С в течение 72 ч. Это объясняется нестабильностью полисульфидных связей в результате воздействия температур >100 °С. Применение пропиленоксидного каучука, несмотря на высокие упругопрочностные свойства, приводит к снижению коэффициента морозостойкости по эластическому восстановлению до уровня 0,15, что является неудовлетворительным значением. Резина на основе пропиленоксидного каучука (рецептура 5) имеет также самое высокое значение остаточной деформации сжатия при температуре испытаний 100 °С и деформации 20 %. Это характеризует ограниченную работоспособность данной резины в области температур 100 °С и более. Таким образом, наиболее сбалансированными характеристиками обладает рецептура 6 на основе этиленпропиленового каучука, содержащая комбинацию технического углерода различной активности и ранее описанную вулканизирующую систему [15–17].

Определены вулканизационные характеристики резиновой смеси оптимальной рецептуры при температурах вулканизации 158, 160 и 162 °С. Выбор температур вулканизации сделан на основании ранее проведенных исследований и выявленных закономерностей в области переработки и сшивания карбоцепных каучуков [18–33]. Данные получены на безроторном реометре MDR 3000 MonTech и приведены на рисунке.



Кинетика вулканизации резиновой смеси оптимального состава, полученной для температур вулканизации 162 (1), 160 (2) и 158 °С (3)

Видно, что наибольшая плотность сшивания (максимальный крутящий момент, 22 дН·м) достигается при температурах 158 и 160 °С. Для указанных температур время достижения вулканизации на 90 % (начальная точка оптимальной вулканизации) составляет 20 мин, окончание вулканизации 45 мин. Все кривые вулканизации, представленные на рисунке, имеют как ярко выраженные области, характерные для серной вулканизирующей системы с использованием ускорителей вулканизации высокой химической активности, так и области, характерные для пероксидной вулканизации. Использование в качестве сшивающего агента перекиси дикумила приводит к сокращению длительности индукционного периода и высокой скорости вулканизации. Подобный характер вулканизации имеет важное значение для этиленпропиленовых каучуков, в основной цепи которых отсутствуют двойные связи, что затрудняет эффективное

поперечное шивание. Использование совместных вулканизирующих систем позволяет добиться оптимальной структуры вулканизационной сетки, содержащей жесткие углерод-углеродные связи и подвижные моно-, ди- и полисульфидные связи. Подобная система позволяет избежать перевулканизации, что важно для толстостенных деталей.

На основании корректировки технологических режимов смешения и вулканизации изготовлена резиновая смесь оптимальной рецептуры, получены стандартные образцы резины и исследованы их физико-механические и эксплуатационные характеристики. Результаты исследований для полученных образцов резины представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Физико-механические и эксплуатационные характеристики образцов морозостойкой резины**

Свойства	Значения свойств для резины	
	НО-68-1	оптимальной рецептуры
Твердость по Шору А, усл. ед.	–	64–65
Условная прочность при растяжении, МПа	8,8	9,6–10,1
Относительное удлинение при разрыве, %	250	360–400
Уменьшение относительного удлинения при разрыве, %, после теплового старения при 100 °С в течение 72 ч	50	7
Температура хрупкости, °С	–55	–70
Стойкость к озонному старению, ч	5	100 (без разрушений)
Остаточная деформация при сжатии, %, при температуре испытаний 100 °С и деформации 20 %	35 (при температуре 70 °С)	26
Коэффициент морозостойкости по эластическому восстановлению после сжатия по ГОСТ 13808–79 при температуре –60 °С	0,20 (при температуре –50 °С)	0,24

Из данных табл. 3 следует, что разработанная резина имеет сбалансированные характеристики, превосходя серийную резину марки НО-68-1 по морозостойкости и озоностойкости. Уменьшение относительного удлинения при разрыве после теплового старения при температуре 100 °С в течение 72 ч уменьшается более чем в 5 раз. Подобный результат связан с применением нестандартных рецептурных приемов, описанных в данной статье. Важно отметить резкий рост сопротивления озонному старению. Это важно для резин авиационного назначения, подвергающихся совместному воздействию кислорода, озона и ультрафиолета в процессе длительной эксплуатации. Из разработанной резины могут быть изготовлены уплотнительные детали авиационного назначения для работы на воздухе.

### Заключения

В данной статье представлены основные варианты разработки рецептуры резин со сбалансированными характеристиками, сочетающие повышенную морозостойкость и озоностойкость. По результатам проведенных исследований показано, что разработанная резина оптимальной рецептуры полностью соответствует современным тенденциям

в области резин специального назначения и по комплексу основных технических характеристик превосходит серийную резину марки НО-68-1. Показано, что применение для вулканизации каучуков, содержащих этиленовые и пропиленовые звенья в основной цепи полимера, индивидуальных вулканизирующих систем не позволяет достичь высоких эксплуатационных и упругодеформационных характеристик как в области отрицательных температур до  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , так и в области температур  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$  и более. Разработанная резина может найти применение при изготовлении уплотнительных деталей авиационного назначения для работы в воздушной среде. Полученные в представленной работе данные и закономерности могут быть использованы в смежных областях полимерного материаловедения [34–39].

### Список источников

1. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. № 1. С. 3–4.
2. Каблов Е.Н. Шестой технологический уклад // Наука и жизнь. 2010. № 4. С. 2–7.
3. Каблов Е.Н. Материалы для авиакосмической техники // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2007. № 5. С. 7–27.
4. Каблов Е.Н. Из чего сделать будущее? Материалы нового поколения, технологии их создания и переработки – основа инноваций // Крылья Родины. 2016. № 5. С. 8–18.
5. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. № 1 (34) С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
6. Федюкин Д.Л., Махлис Ф.А. Технические и технологические свойства резин. М.: Химия, 1985. 240 с.
7. Уплотнения и уплотнительная техника: справочник / под общ. ред. А.И. Голубева, Л.А. Кондакова. М.: Машиностроение, 1986. 464 с.
8. Алифанов Е.В., Чайкун А.М., Венедиктова М.А., Наумов И.С. Особенности рецептур резин на основе этиленпропиленовых каучуков и их применение в изделиях специального назначения (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2015. № 2. С. 51–55. DOI: 2071-9140-2015-2-51-55.
9. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. 2-е изд. СПб.: Научные основы и технологии, 2016. 820 с.
10. Чайкун А.М., Елисеев О.А., Наумов И.С., Венедиктова М.А. Особенности морозостойких резин на основе различных каучуков // Труды ВИАМ. 2013. № 12. Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 13.04.2022).
11. Нурмухаметова А.Н., Зенитова Л.А. Способы получения нанодисперсных наполнителей // Тез. докл. XII Междунар. конф. молодых ученых, студентов и аспирантов «Синтез, исследование свойств, модификация и переработка высокомолекулярных соединений – IV Кирпичниковские чтения». Казань: Институт катализа им. Борескова СО РАН, 2008. С. 120.
12. Большой справочник резинщика: в 2 ч. М.: Техинформ, 2012. 1385 с.
13. Наумов И.С., Чайкун А.М., Елисеев О.А. Российские и международные стандарты на методы испытаний резин, сырых резиновых смесей и высокомолекулярных каучуков // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2014. № 11. С. 4–13.
14. Технология резины: рецептуростроение и испытания / пер. с англ. СПб.: Научные основы и технологии, 2010. 632 с.
15. Семенова С.Н., Чайкун А.М., Сулейманов Р.Р. Этиленпропилендиеновый каучук и его применение в резинотехнических материалах специального назначения // Авиационные материалы и технологии. 2019. № 3 (56). С. 23–30. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-23-30.
16. Каблов Е.Н., Семенова С.Н., Сулейманов Р.Р., Чайкун А.М. Перспективы применения этиленпропилендиенового каучука в составе морозостойкой резины // Труды ВИАМ. 2019. № 12 (84). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 15.06.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-12-29-36.

17. Семенова С.Н., Чайкун А.М., Сулейманов Р.Р. Влияние вулканизирующей системы на температурные свойства резины на основе этиленпропиленового каучука // *Каучук и резина*. 2020. Т. 79. № 4. С. 210–213.
18. Гофманн В. Вулканизация и вулканизирующие агенты. Л.: Химия, 1968. 464 с.
19. Говорова О.А., Канаузова А.А., Савельев А.Л. Модификация этиленпропиленовых каучуков и резины на их основе. М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1990. С. 69.
20. Каменев Ю.Г., Миронюк В.П., Грешановский В.А. Влияние МВР каучуков СКЭП на их пластоэластические и технологические свойства // *Каучук и резина*. 1973. № 6. С. 13–16.
21. Кисин К.В., Ловчиков В.А., Миронюк В.П., Романихин В.Б. Изучение микроструктуры этиленпропиленовых каучуков методом ЯМР <sup>13</sup>C // *Каучук и резина*. 1981. № 6. С. 13–16.
22. Стереорегулярные каучуки / под ред. У. Солтмена; пер. с англ. З.З. Высоцкого. М., 1981. Т. 1. 492 с.
23. Синтетический каучук / под ред. И.В. Гармонова. 2-е изд. Л.: Химия, 1983. 559 с.
24. Миронюк В.П. Зависимость вулканизационной активности СКЭП от природы третьих мономеров // *Каучук и резина*. 1991. № 2. С. 13–16.
25. Миронюк В.П., Курлянд С.К., Васильева М.А., Афанасьев И.Д. Влияние степени кристалличности сополимера этилена, пропилена и этилиденнорборнена (СКЭПТ-Э) на их механические свойства // *Каучук и резина*. 1977. № 7. С. 14–17.
26. Миронюк В.П., Рейх В.Н., Лившиц И.А., Сухотина Т.М. Свойства тройных сополимеров этилена, пропилена и этилиденнорборнена // *Каучук и резина*. 1973. № 1. С. 7–10.
27. Миронюк В.П., Сидорович В.А. Влияние молекулярной структуры этиленпропиленовых каучуков на их эластические свойства // *Каучук и резина*. 1981. № 3. С. 8–10.
28. Шершнева В.А., Юловская В.Д. Проблемы вулканизации в связи с формированием сетчатых и фазовых структур в смесях эластомеров // *Каучук и резина*. 2000. № 6. С. 16.
29. Бухина М.Ф., Курлянд С.К. Морозостойкость эластомеров. М.: Химия, 1989. 176 с.
30. Зуев Ю.С., Дегтева Т.Г. Стойкость эластомеров в эксплуатационных условиях. М.: Химия, 1986. 264 с.
31. Дик Дж.С. Каучук и резина: рецептура, строение и испытания / пер. с англ. под ред. В.А. Шершнева. СПб.: Научные основы и технологии, 2010. 620 с.
32. Каучук и резина. Наука и технология / под ред. Дж. Марка, Б. Эрмана, Ф. Эйрича; пер. с англ. под ред. А.А. Берлина, Ю.Л. Морозова. Долгопрудный: Интеллект, 2011. 768 с.
33. Кулезнев В.Н., Шершнева В.А. Химия и физика полимеров. М.: КолосС, 2007. 367 с.
34. Шульдешов Е.М. Звукоизоляционные свойства авиационных теплоизоляционных материалов // *Труды ВИАМ*. 2019. № 12 (84). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.06.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-12-37-45.
35. Елисеев О.А., Наумов И.С., Смирнов Д.Н., Брык Я.А. Резины, герметики и огне-теплозащитные материалы // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № S. С. 437–451. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-437-451.
36. Комиссаржевский В.К., Кербер М.Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, применение. СПб.: Профессия, 2008. 560 с.
37. Кузнецова В.А., Козлова А.А., Железняк В.Г., Шаповалов Г.Г. Влияние эластомерных модификаторов на свойства металлополимерных композиций // *Труды ВИАМ*. 2019. № 8 (80). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.06.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-8-46-55.
38. Павлюк Б.Ф. Основные направления в области разработки полимерных функциональных материалов // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № S. С. 388–392. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-388-392.
39. Орешко Е.С., Ерасов В.С., Гриневиц Д.В., Шершак П.В. Обзор критериев прочности материалов // *Труды ВИАМ*. 2019. № 9 (81). Ст. 12. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.06.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-9-108-126.

References

1. Kablov E.N. Chemistry in aviation materials science. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*, 2010, vol. LIV, no. 1, pp. 3–4.
2. Kablov E.N. The sixth technological order. *Nauka i zhizn*, 2010, no. 4, pp. 2–7.
3. Kablov E.N. Materials for aerospace engineering. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2007, no. 5, pp. 7–27.
4. Kablov E.N. What is the future to be made of? Materials of a new generation, technologies for their creation and processing – the basis of innovation. *Krylya Rodiny*, 2016, no. 5, pp. 8–18.
5. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030». *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 1 (34), pp. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
6. Fedyukin D.L., Makhlis F.A. *Technical and technological properties of rubbers*. Moscow: Khimiya, 1985, 240 p.
7. *Seals and sealing technology*: reference book. Ed. A.I. Golubev, L.A. Kondakov. Moscow: Mashinostroenie, 1986, 464 p.
8. Alifanov E.V., Chaykun A.M., Venediktova M.A., Naumov I.S. Specialties of rubber compounds recipes based on ethylene-propylene rubbers and their application in the articles for special purpose (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 2 (35), pp. 51–55. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-2-51-55.
9. Mikhailin Yu.A. *Structural polymeric composite materials*. 2nd ed. St. Petersburg: Nauchnye osnovy i tehnologii, 2016, 820 p.
10. Chaikun A.M., Eliseev O.A., Naumov I.S., Venediktova M.A. Features of old-resistant rubbers on the basis on different unvulcanized rubbers. *Trudy VIAM*, no. 12, paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: April 13, 2022).
11. Nurmukhametova A.N., Zenitova L.A. Methods for obtaining nanodispersed fillers. *Proceedings of XII Int. conf. young scientists, students and graduate students "Synthesis, study of properties, modification and processing of macromolecular compounds – IV Kirpichnikov Readings"*. Kazan: Institute of Catalysis Boreskov SB RAS, 2008, p. 120.
12. *The big reference book for specialists in rubbers*: at 2 parts. Moscow: Tekhinform, 2012, 1385 p.
13. Naumov I.S., Chaikun A.M., Eliseev O.A. Russian and International Standards for Test Methods for Rubbers, Raw Rubber Compounds and High Molecular Weight Rubbers. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2014, no. 11, pp. 4–13.
14. *Rubber technology: compounding and testing*. Trans. from Engl. St. Petersburg: Nauchnye osnovy i tehnologii, 2010, 632 p.
15. Semenova S.N., Chaykun A.M., Suleymanov R.R. Ethylene-propylenediene rubber and its use in rubber materials for special purposes (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 3 (56), pp. 23–30. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-23-30.
16. Kablov E.N., Semenova S.N., Suleymanov R.R., Chaykun A.M. Prospects for the use of ethylene-propylenediene rubber as part of cold resistant rubber. *Trudy VIAM*, 2019, no. 12 (84), paper no. 4. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: June 15, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-12-29-36.
17. Semenova S.N., Chaikun A.M., Suleimanov R.R. Influence of the vulcanizing system on the temperature properties of rubber based on ethylene propylene rubber. *Kauchuk i rezina*, 2020, vol. 79, no. 4, pp. 210–213.
18. Hoffmann V. *Vulcanization and vulcanizing agents*. Leningrad: Khimiya, 1968, 464 p.
19. Govorova O.A., Kanauzova A.A., Saveliev A.L. *Modification of ethylene-propylene rubbers and rubbers based on them*. Moscow: TsNIITENeftekhim, 1990, p. 69.
20. Kamenev Yu.G., Mironyuk V.P., Greshanovsky V.A. Influence of MVR of SKEP rubbers on their plastoelastic and technological properties. *Kauchuk i rezina*, 1973, no. 6, pp. 13–16.
21. Kisin K.V., Lovchikov V.A., Mironyuk V.P., Romanikhin V.B. Study of the microstructure of ethylene-propylene rubbers by <sup>13</sup>C NMR. *Kauchuk i rezina*, 1981, no. 6, pp. 13–16.
22. *Stereoregular rubbers*. Ed. W. Saltman; trans. from English. Z.Z. Vysotsky. Moscow, 1981, vol. 1, 492 p.

23. *Synthetic rubber*. Ed. I.V. Garmonov. 2nd ed. Leningrad: Khimiya, 1983, 559 p.
24. Mironyuk V.P. Dependence of the vulcanization activity of SCEP on the nature of the third monomers. *Kauchuk i rezina*, 1991, no. 2, pp. 13–16.
25. Mironyuk V.P., Kurlyand S.K., Vasileva M.A., Afanasiev I.D. Influence of the degree of crystallinity of the copolymer of ethylene, propylene and ethyldenenorbornene (EPDM-E) on their mechanical properties. *Kauchuk i rezina*, 1977, no. 7, pp. 14–17.
26. Mironyuk V.P., Reikh V.N., Livshits I.A., Sukhotina T.M. Properties of ternary copolymers of ethylene, propylene and ethyldenenorbornene. *Kauchuk i rezina*, 1973, no. 1, pp. 7–10.
27. Mironyuk V.P., Sidorovich V.A. Influence of the molecular structure of ethylene-propylene rubbers on their elastic properties. *Kauchuk i rezina*, 1981, no. 3, pp. 8–10.
28. Shershnev V.A., Yulovskaya V.D. Problems of vulcanization in connection with the formation of network and phase structures in mixtures of elastomers. *Kauchuk i rezina*, 2000, no. 6, p. 16.
29. Bukhina M.F., Kurlyand S.K. *Frost resistance of elastomers*. Moscow: Khimiya, 1989, 176 p.
30. Zuev Yu.S., Degteva T.G. *Service life of elastomers conditions*. Moscow: Khimiya, 1986, 264 p.
31. Dick J.S. *Rubber and resin: compounding, structure and testing*. Trans. from Engl. Ed. V.A. Shershnev. St. Petersburg: Nauchnye osnovy i tekhnologii, 2010, 620 p.
32. *Rubber and resin. Science and technology*. Ed. J. Mark, B. Erman, F. Eyrich; trans from Engl. Ed. A.A. Berlin, Yu.L. Morozov. Dolgoprudny: Intellekt, 2011, 768 p.
33. Kuleznev V.N., Shershnev V.A. *Chemistry and physics of polymers*. Moscow: KolosS, 2007, 367 p.
34. Shuldeshov E.M. Sound-proof properties of aviation heatsound-proof materials. *Trudy VIAM*, 2019, no. 12 (84), paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: June 20, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-12-37-45.
35. Eliseev O.A., Naumov I.S., Smirnov D.N., Bryk Ya.A. Rubbers, sealants, fireproof and heat-shielding materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 437–451. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-437-451.
36. Komissarzhevsky V.K., Kerber M.L. *Polymer composite materials: structure, properties, application*. St. Petersburg: Professiya, 2008, 560 p.
37. Kuznetsova V.A., Kozlova A.A., Zheleznyak V.G., Shapovalov G.G. Influence of elastomeric modifiers on properties of metal-polymeric compositions. *Trudy VIAM*, 2019, no. 8 (80), paper no. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (accessed: June 20, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-8-46-55.
38. Pavlyuk B.Ph. The main directions in the field of development of polymeric functional materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 388–392. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-388-392.
39. Oreshko E.I., Erasov V.S., Grinevich D.V., Sershak P.V. Review of criteria of durability of materials. *Trudy VIAM*, 2019, no. 9 (81), paper no. 12. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: June 20, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-9-108-126.

#### Информация об авторах

**Чайкун Александр Михайлович**, заместитель начальника лаборатории по науке, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Юмашев Олег Борисович**, инженер 1 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Сергеев Александр Владимирович**, инженер 1 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

#### Information about the authors

**Alexander M. Chaykun**, Deputy Head of Laboratory of Science, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Oleg B. Yumashev**, First Category Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Alexander V. Sergeev**, First Category Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

Статья поступила в редакцию 27.06.2022; одобрена и принята к публикации после рецензирования 30.06.2022.

The article was submitted 27.06.2022; approved and accepted for publication after reviewing 30.08.2022.