

Научная статья

УДК 678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-8-19-27

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ НА СВОЙСТВА ГЕРМЕТИЗИРУЮЩЕГО ЖГУТОВОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ АВТОКЛАВНОГО ФОРМОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.А. Евдокимов<sup>1</sup>, Д.М. Герасимов<sup>1</sup>, Я.А. Вахрушева<sup>1</sup>, М.А. Венедиктова<sup>1</sup>, Л.М. Богдан<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.** Приведены результаты исследований оптимального компонентного состава герметизирующего жгутового материала и влияния каждого из компонентов на физико-механические характеристики полученных композиций. Рассмотрены составы на основе диметилвинилсилоксанового каучука с такими ингредиентами, как Ковелос, технический углерод, диатомит, мел, сополимер БМК-5, продукт ТМФТ и пероксид дикумила. На основании проведенных исследований экспериментальных композиций определены ингредиенты, которые можно использовать для дальнейшей разработки оптимальной рецептуры герметизирующего материала, применимого при автоклавном формовании.

**Ключевые слова:** герметизирующий жгут, эластомерный материал, ингредиенты, диметилвинилсилоксановый каучук, автоклавное формование

**Для цитирования:** Евдокимов А.А., Герасимов Д.М., Вахрушева Я.А., Венедиктова М.А., Богдан Л.М. Исследование влияния компонентов на свойства герметизирующего жгутового материала для автоклавного формования полимерных композиционных материалов // Труды ВИАМ. 2024. № 8 (138). Ст. 02. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-8-19-27.

Scientific article

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF COMPONENTS ON THE PROPERTIES OF SEALING HARNESS MATERIAL FOR AUTOCLAVE MOLDING OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS

A.A. Evdokimov<sup>1</sup>, D.M. Gerasimov<sup>1</sup>, Ya.A. Vakhrusheva<sup>1</sup>, M.A. Venediktova<sup>1</sup>, L.M. Bogdan<sup>1</sup>

<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 results of studies of the optimal component composition of the sealing harness material and the assessment of the effect of each component on the physico-mechanical characteristics of the resulting mixtures are described. Compositions based on dimethylvinylsiloxane rubber with ingredients such as covelos, carbon black and diatomite, chalk, BMK-5 copolymer and TMFT product, dicumyl peroxide are considered. Based on the conducted studies of experimental compositions, the ingredients most applicable for further development of the optimal formulation of the sealing material used in autoclave molding have been determined.

**Keywords:** sealing harness, elastomeric material, ingredients, dimethylvinylsiloxane rubber, autoclave forming

**For citation:** Evdokimov A.A., Gerasimov D.M., Vakhrusheva Ya.A., Venediktova M.A., Bogdan L.M. Investigation of the effect of components on the properties of sealing harness material for autoclave molding of polymer composite materials. *Trudy VIAM*, 2024, no. 8 (138), paper no. 02. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-8-19-27.

### Введение

В настоящее время для реализации процесса формования крупногабаритных ответственных деталей из полимерных композиционных материалов (ПКМ) используют вспомогательные расходные материалы, такие как вакуумная пленка, дренажный материал, герметизирующий жгут, шланги подачи связующего и вакуума [1–4]. При этом формование деталей осуществляется под давлением, создаваемым внутри автоклава, а также вакуумом внутри пакета-заготовки в широком диапазоне температур (от 20 до 300 °С и выше) в зависимости от используемого связующего [5–7]. Качество получаемых деталей в значительной степени зависит от возможности удержания вакуума внутри пакета-заготовки на протяжении всего технологического цикла формования изделия. Это в свою очередь возможно благодаря применению вакуумной пленки и герметизирующего жгута, обладающих высокой газонепроницаемостью: вакуумная пленка обеспечивает герметичность пакета-заготовки, а герметизирующий жгут – герметичность соединения вакуумного мешка и формующей оснастки.

Для получения термостойких изделий ПКМ формуют при повышенных температурах, для чего используют вспомогательные материалы, температура эксплуатации которых превышает температуру технологического процесса. Главным образом для этого применяют полиимидную пленку и высокотемпературный герметизирующий жгут, температура эксплуатации которых достигает 400 °С.

Основными производителями высокотемпературных вспомогательных материалов являются компании Stevik (Франция), Diatex (Франция), Solvay (США), Airtech Advanced Materials Group (США, Великобритания, Люксембург, Китай) [5]. Однако ввиду санкций, наложенных на отечественные предприятия этими компаниями, использование термостойких герметизирующих жгутов иностранного производства крайне затруднительно. В настоящее время отечественная промышленность освоила выпуск вакуумной полиимидной пленки с температурой эксплуатации до 400 °С и герметизирующего жгута с температурой эксплуатации до 205 °С, необходимых для формования деталей из ПКМ. Актуальной задачей является разработка эластомерного материала для изготовления герметизирующего жгута с температурой эксплуатации >205 °С.

Герметизирующий жгут, применяемый при изготовлении изделий из ПКМ в процессах автоклавного формования и вакуумной инфузии при повышенных температурах, должен обладать следующими эксплуатационными характеристиками:

- высокая стойкость к длительному воздействию высоких температур и экспонированию в воздушной среде, а также в среде с повышенным содержанием азота;
- низкая скорость вулканизации на воздухе при комнатной температуре для максимального увеличения срока эксплуатации;
- высокая адгезия к металлической оснастке и вакуумной пленке на протяжении всего технологического процесса, возможность легко отделяться от них после завершения формования.

Принципиальную схему изготовления герметизирующих жгутов можно представить в виде последовательности двух технологических операций – смешивание исходных компонентов и формование готового изделия.

Цель данной работы – подбор оптимальной рецептуры герметизирующего жгута и оценка влияния полученного состава на его физико-механические характеристики.

Работа выполнена в рамках реализации комплексной научной проблемы 15.2. «Эластомерные уплотнительные материалы» при поддержке ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ [8–10].

### Материалы и методы

При разработке составов герметизирующей композиции в качестве полимерной основы выбран диметилвинилсилоксановый каучук. В качестве наполнителей в каждую из экспериментальных композиций вводили Ковелос (20 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука), а также исследовали влияние технического углерода, мела и диатомита на хладотекучесть композиций (содержание каждого компонента составило 40 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука). В качестве модификаторов адгезии применяли сополимер БМК-5 и продукт ТМФТ в количестве 15 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука, в качестве вулканизирующего компонента – пероксид дикумила в количестве 0,1 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука.

Композиции изготавливали путем последовательного добавления компонентов в каучук при смешивании на лабораторных вальцах типа См 350 150/150 без дополнительного нагрева.

Для оценки влияния исследуемых ингредиентов на физико-механические характеристики полученных композиций определяли термостойкость по ГОСТ 9.024–74, адгезионную прочность при отслаивании от металлической подложки (сталь 12Х18Н10Т и Ст.3) – по ГОСТ 411–77, относительное удлинение – по ГОСТ 270–75 и твердость по Шору А – по ГОСТ 263–75.

### Результаты и обсуждение

Герметизирующий жгут является эластомерной композицией в невулканизованном виде, представляющей собой заготовку плоского или профилированного сечения большой длины. Для удобства использования его наматывают на картонную шпулю, а для предотвращения слипания – прокладывают силиконизированной бумагой. К такому материалу в полном объеме можно применить закономерности, используемые при выборе полимерной основы (каучука), составлении рецептур и обосновании технологий изготовления герметиков [11].

Термостойкость материалов на основе полимеров зависит от химической природы и структуры каучука. Каждый тип каучука обладает уникальными свойствами. Из эластомерных материалов, применяемых в настоящее время, при температурах >200 °С способны длительно работать лишь материалы на кремнийорганической основе [12]. Поэтому в данном исследовании использован диметилвинилсилоксановый каучук, выпускаемый отечественной промышленностью и обладающий термостойкостью, а также высокой первоначальной липкостью. Данный каучук содержит непредельные связи и концевые гидроксильные функциональные группы, что позволяет проводить как холодную вулканизацию путем введения наполнителей (структурирующих компонентов) и катализатора (отвердителя), так и вулканизацию с помощью органических пероксидов под воздействием повышенных температур [13].

Изготовлены восемь экспериментальных эластомерных композиций, состав которых представлен в табл. 1.

Таблица 1

Состав экспериментальных композиций герметизирующего жгутового материала

Условный номер композиции	Наполнитель	Модификатор адгезии	Вулканизирующий компонент
1	Диатомит, Ковелос	Продукт ТМФТ	–
2			Пероксид дикумила
3	Мел, Ковелос		–
4			Пероксид дикумила
5	Технический углерод, Ковелос		–
6			Пероксид дикумила
7			–
8			Сополимер БМК-5

С целью определения применимости изготовленных эластомерных композиций для проведения автоклавного формования определены их физико-механические характеристики. Работоспособность жгутового материала при автоклавном формовании зависит от следующих показателей:

– твердость по Шору А, позволяющая оценить возможность сохранения формы, полученной при формовании, на протяжении длительного времени в процессе хранения и применения. Ненаполненные кремнийорганические каучуки обладают крайне низкой прочностью и, как следствие, высокой хладотекучестью при комнатной температуре. Для придания материалу формы жгута и устойчивости его в таком виде длительное время используют активные (усиливающие) наполнители. Наиболее подходящими активными наполнителями кремнийорганических каучуков являются: диоксид кремния (Аэросил или Ковелос), гидратированный диоксид кремния (белая сажа), диатомит, технический углерод, а также их сочетания. Содержание активных наполнителей в смеси, как правило, составляет 20–60 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука [14];

– прочность связи с металлом подложки при отслаивании (к сталям 12Х18Н10 и Ст.3). Для обеспечения и поддержания вакуума в процессе автоклавного формования герметизирующие жгутовые материалы должны обладать адгезионной прочностью между разнородными поверхностями. При автоклавном формовании используют, как правило, металлическую подложку и вакуумную пленку. В качестве компонентов, обеспечивающих адгезионную прочность, применяют модификаторы адгезии (называемые также промоторами клейкости) – это вещества, добавляемые в композицию для повышения прочности связи герметиков с субстратом за счет увеличения их липкости. Под липкостью понимают обеспечение практически мгновенного адгезионного контакта, достаточного для достижения монолитности адгезионного соединения при малых скоростях деформирования. Промышленно применяемые модификаторы адгезии представляют собой олигомеры углеводородных соединений, содержащие активные группы в молекуле (гидроксильные, карбоксильные и т. д.) [14]. Все модификаторы применяют в разных температурных диапазонах. С целью обеспечения адгезии при повышенных температурах в данной работе исследовано влияние кремнийорганической смолы (продукт ТМФТ – титан-кремнийорганический олигомер) и сополимера БМК-5, представляющего собой сополимер метакриловой кислоты и ее эфиров (20%-ный раствор в толуоле);

– относительное удлинение при разрыве, позволяющее определить степень сшивки макромолекул каучука в смеси вулканизирующими компонентами. В качестве вулканизирующих компонентов для кремнийорганических каучуков используют различные органические пероксиды [14, 15]. Наиболее широкое распространение получили пероксид дитретбутила, пероксид дикумила и пероксид бензоила, каждый из которых имеет свою температуру разложения. Для создания жгутового материала, обладающего максимальной термостойкостью, в данной работе использован пероксид дикумила, имеющий температуру разложения 300 °С. Обычно вулканизирующие компоненты вводят в дозировках 0,1–1,0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука [14–17].

Для определения каждой характеристики испытано по три образца экспериментальной композиции. Результаты испытаний представлены в табл. 2.

Значения твердости по Шору А всех исследуемых композиций оказались сопоставимы и составили 16 усл. ед. Небольшое отклонение наблюдали у композиций, содержащих сополимер БМК-5 в качестве модификатора адгезии. Чем выше показатель твердости, тем ниже хладотекучесть эластомерного материала. При достижении значений твердости по Шору А >15 усл. ед. материал теряет способность изменять форму без воздействия нагрузки, т. е. перестает быть хладотекучим [18, 19]. Это позволяет

хранить его в течение длительного времени перед использованием. Следовательно, все наполнители, вводимые в состав композиций, пригодны для формования герметизирующего жгутового материала, удовлетворяющего требованиям по продолжительности хранения и сроку эксплуатации.

Таблица 2

**Физико-механические характеристики экспериментальных композиций герметизирующего материала**

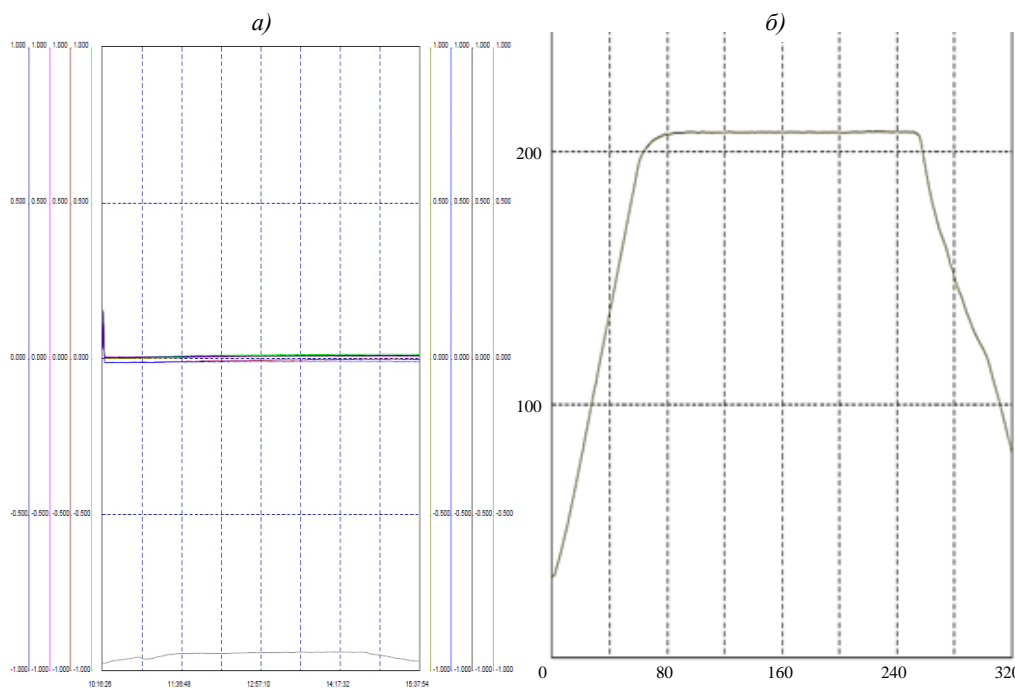
Условный номер композиции	Твердость по Шору А*, усл. ед.	Прочность связи*, кПа, при отслаивании от подложки из стали		Относительное удлинение при разрыве*, %	
		12X18H10	Ст.3	до воздействия температуры	после воздействия температуры 205 °С в течение 24 ч
1	16	35,28	31,36	100	78
2				101	87
3		36,26	21,56	85	84
4				101	87
5		41,16	37,24	90	88
6				43,12	91
7	15	31,36	29,4	84	78
8		32,34	26,46	86	80

\* Указаны средние значения, определяемые из выборки для трех образцов.

Показатели адгезии герметизирующих композиций к стали 12X18H10 были больше, чем к стали Ст.3. Наибольшее значение прочности связи к обоим типам подложки имели композиции 5 и 6, содержащие продукт ТМФТ в качестве модификатора адгезии, а также технический углерод и Ковелос в качестве наполнителя. Наименьшее значение прочности связи с подложкой из стали 12X18H10 имели композиции 7 и 8, включающие сополимер БМК-5, из стали Ст.3 – композиции 3 и 4.

При испытаниях после длительного воздействия температуры 205 °С (в течение 24 ч) значения относительного удлинения при разрыве для композиции с пероксидом дикумила оказались больше, чем для композиции без вулканизирующего компонента. Это может свидетельствовать о протекающих процессах сшивки макромолекул каучука после частичного разложения пероксида дикумила в ходе термообработки. Кроме того, выявлено, что сохранение свойств после выдержки при повышенной температуре составило от 78 до 99 % в зависимости от состава: наименьшие значения выявлены у композиции 1, а наибольшие – у композиций 3, 5 и 6. Высокие показатели сохранения свойств свидетельствуют о стойкости исследуемых композиций к воздействию повышенной температуры.

Для оценки применимости полученных эластомерных композиций для изготовления изделий из ПКМ собраны пакеты-заготовки для имитации технологического режима автоклавного формования. Процесс автоклавного формования проводили следующим образом. Собранные пакеты-заготовки при помощи встроенных штуцеров путем откачки воздуха внутри сборки проверяли на отсутствие потери вакуума в системе и обеспечение требуемой герметизации за счет применяемых композиций жгутового материала. Собранные пакеты-заготовки помещали в автоклав, в котором выдерживали при температуре 210 °С в течение 3 ч при постоянном контроле температуры и вакуума (см. рисунок).



Графики контроля вакуума (а) и температуры (б) в процессе автоклавного формования

При испытании всех герметизирующих композиций жгутового материала нарушения сплошности пакетов-заготовок и снижения вакуума в процессе автоклавного формования не выявлено. Таким образом, экспериментально подтверждена возможность сборки герметичных пакетов-заготовок при проведении автоклавного формования в режиме подачи вакуума при температуре 210 °С на протяжении всего процесса.

После автоклавного формования пакеты-заготовки разбирали и осуществляли визуальный контроль состояния поверхности металлической подложки из стали 12Х18Н10 на наличие остатка герметизирующего жгутового материала после его удаления.

Установлено, что композиции 3–8 выдержали испытания в процессе автоклавного формования и удалялись с поверхности подложки без остатка. Композиции 1 и 2, содержащие диатомит в качестве наполнителя, с подложки разобранного пакета-заготовки удалялись не полностью, на поверхности подложки выявлен остаток материала. Наличие остатка герметизирующего жгутового материала свидетельствует о процессе «привулканизации» к подложке. Таким образом, композиции 1 и 2 непригодны для применения в качестве герметизирующего жгутового материала для автоклавного формования.

### Заключения

В ходе проведенных исследований влияния компонентов на свойства герметизирующего жгутового материала на основе диметилвинилсилоксанового каучука для автоклавного формования ПКМ выявлено, что наилучшими наполнителями являются мел и технический углерод. Образцы, включающие диатомит, не полностью удалялись с поверхности подложки после проведения эксперимента, поэтому непригодны для использования в процессе автоклавного формования. Наиболее пригодными для изготовления жгутового материала являются композиции, содержащие в качестве модификатора адгезии продукт ТМФТ.

Однако для выявления оптимальной рецептуры требуется проведение дополнительных исследований, направленных на определение влияния концентраций ингредиентов на свойства конечного продукта. Целесообразно исследовать стойкость оптимальной рецептуры к воздействию более высоких температур для определения максимального температурного диапазона эксплуатации. Кроме того, необходимо провести технологическое опробование и отработку процесса формования жгутового материала из полученной оптимальной эластомерной композиции различными способами.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность начальнику сектора А.В. Коваленко за оказанную помощь в проведении исследований и консультацию при написании статьи в части описания технологического режима автоклавного формования ПКМ, сборке пакета-заготовки, а также предоставление данных исследований композиций герметизирующих жгутовых материалов.

### Список источников

1. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы на их основе // Полимерные материалы. 2005. № 8. С. 23–26.
2. Евдокимов А.А. Полимерный композиционный материал, изготавливаемый по технологии вакуумной инфузии с формообразованием при температурах до 40 °С: дис. ... канд. техн. наук. М., 2020. 116 с.
3. Валуева М.И., Зеленина И.В., Начаркина А.В., Ахмадиева К.Р. Технологические особенности получения высокотемпературных полиимидных углепластиков. Зарубежный опыт (обзор) // Труды ВИАМ. 2022. № 6 (112). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.02.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-6-80-95.
4. CYCOM 2237 Polyimide Resin System. Technical Data Sheet // Cytec engineered materials. 2012. АЕСМ-00034. URL: <https://www.solvay.com/en/product/cycom-2237> (дата обращения: 15.02.2024).
5. Валуева М.И., Зеленина И.В., Жаринов М.А., Ахмадиева К.Р. Мировой рынок высокотемпературных полиимидных углепластиков (обзор) // Труды ВИАМ. 2019. № 12 (84). Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.02.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-12-67-69.
6. Мухаметов Р.Р., Петрова А.П. Терморективные связующие для полимерных композиционных материалов (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2019. № 3 (56). С. 48–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-48-58.
7. Ткачук А.И., Донецкий К.И., Терехов И.В., Караваев Р.Ю. Применение терморективных связующих для изготовления полимерных композиционных материалов методами безавтоклавного формования // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 1 (62). Ст. 03. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 15.02.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-22-33.
8. 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.
9. Каблов Е.Н. Роль химии в создании материалов нового поколения для сложных технических систем // Тез. докл. XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. Екатеринбург: УрО РАН, 2016. С. 25–26.
10. Каблов Е.Н., Антипов В.В. Роль материалов нового поколения в обеспечении технологического суверенитета Российской Федерации // Вестник Российской академии наук. 2023. Т. 93. № 10. С. 907–916.

11. Чайкун А.М., Боброва И.И., Герасимов Д.М., Сергеев А.В. Эластомеры для герметизирующих жгутовых материалов: свойства, методы получения и особенности изготовления // Труды ВИАМ. 2023. № 7 (125). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.02.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-7-56-68.
12. Шетц М. Силиконовый каучук. М.: Химия, 1975. 400 с.
13. Долгов О.Н., Воронков М.Г., Гринблат М.П. Кремнийорганические жидкие каучуки и материалы на их основе. Л.: Химия, 1975. 112 с.
14. Большой справочник резинщика: в 2 ч. / под ред. С.В. Резниченко, Ю.Л. Морозова. М.: Техинформ, 2012. Ч. 1, 2. 1385 с.
15. Каучук и резина. Наука и технология / под ред. Дж. Марка, Б. Эрмана, Ф. Эйрича; пер. с англ. / под ред. А.А. Берлина и Ю.Л. Морозова. Долгопрудный: Интеллект, 2011. 768 с.
16. Корнев А.Е., Буканов А.М., Шевердяев О.Н. Технология эластомерных материалов. М.: Истек, 2009. 502 с.
17. Гофман В. Вулканизация и вулканизирующие агенты. Л.: Химия, 1968. 464 с.
18. Технология резины: рецептуростроение и испытания: пер. с англ. / под ред. Дж.С. Дика. СПб.: Научные основы и технологии, 2010. 620 с.
19. Агаянц И.М. Пять столетий каучука и резины. М.: Модерн-А, 2002. 432 с.

### References

1. Mikhailin Yu.A. Heat-resistant polymers and polymeric materials based on them. *Polimernye materialy*, 2005, no. 8, pp. 23–26.
2. Evdokimov A.A. *Polymer composite material manufactured using vacuum infusion technology with shaping at temperatures up to 40 °C*: thesis, Cand. Sc. (Tech.). Moscow, 2020, 116 p.
3. Valueva M.I., Zelenina I.V., Nacharkina A.V., Ahmadieva K.R. Technological features of obtaining high temperature polyimide carbons. Foreign experience (review). *Trudy VIAM*, 2022, no. 6 (112), paper no. 08. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: February 16, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-6-80-95.
4. *CYCOM 2237 Polyimide Resin System. Technical Data Sheet*. Available at: <https://www.solvay.com/en/product/cycom-2237> (accessed: February 15, 2024).
5. Valueva M.I., Zelenina I.V., Zharinov M.A., Akhmadieva K.R. World market of high temperature polyimide carbon plastic (review). *Trudy VIAM*, 2019, no. 12 (84), paper no. 08. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: February 16, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-12-67-69.
6. Mukhametov R.R., Petrova A.P. Thermosetting binders for polymer composites (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 3 (56), pp. 48–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-48-58.
7. Tkachuk A.I., Donetsky K.I., Terekhov I.V., Karavaev R.Yu. The use of thermosetting matrices for the manufacture of polymer composite materials by the non-autoclave molding methods. *Aviation materials and technology*, 2021, no. 1 (62), paper no. 03. Available at: <https://journal.viam.ru> (accessed: February 15, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-22-33.
8. 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.
9. Kablov E.N. The role of chemistry in the creation of new generation materials for complex technical systems. *Reports of the XX Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry*. Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2016, pp. 25–26.
10. Kablov E.N., Antipov V.V. The role of new generation materials in ensuring the technological sovereignty of the Russian Federation. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2023, vol. 93, no. 10, pp. 907–916.
11. Chaykun A.M., Bobrova I.I., Gerasimov D.M., Sergeyev A.V. Elastomers for sealing harness materials: properties, methods of receiving and feature of manufacturing. *Trudy VIAM*, 2023, no. 7 (125), paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: February 16, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-7-56-68.

12. Schetz M. *Silicone rubber*. Moscow: Khimiya, 1975, 400 p.
13. Dolgov O. N., Voronkov M.G., Grinblat M.P. *Organosilicon liquid rubbers and materials based on them*. Leningrad: Khimiya, 1975, 112 p.
14. *The big handbook of the rubber manufacturer*: in 2 parts. Еды. S.V. Reznichenko, Yu.L. Morozov. Moscow: Tekhinform, 2012, part 1, 2, 1385 p.
15. *Rubber and resin. Science and technology*: trans. from Engl. Eds. A.A. Berlin and Yu.L. Morozov. Dolgoprudny: Intellect, 2011, 768 p.
16. Kornev A.E., Bukanov A.M., Sheverdyayev O.N. *Technology of elastomer materials*. Moscow: Istek, 2009, 502 p.
17. Hoffman V. *Vulcanization and vulcanizing agents*. Leningrad: Khimiya, 1968, 464 p.
18. *Rubber technology: formulation and testing*: trans. from Engl. Ed. J.S. Dik. St. Petersburg: Scientific foundations and technologies, 2010, 620 p.
19. Agayants I.M. *Five centuries of rubber and rubber*. Moscow: Modern-A, 2002, 432 p.

#### Информация об авторах

**Евдокимов Антон Андреевич**, заместитель начальника лаборатории по науке, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

**Герасимов Дмитрий Михайлович**, начальник участка, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

**Вахрушева Яна Андреевна**, начальник Научно-исследовательского отделения, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

**Венедиктова Мария Анатольевна**, начальник лаборатории, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

**Богдан Людмила Михайловна**, начальник группы логистики, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

#### Information about the authors

**Anton A. Evdokimov**, Deputy Head of Laboratory of Science, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

**Dmitriy M. Gerasimov**, Head of production area, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

**Yana A. Vakhrusheva**, Head of Scientific-Research Bureau, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

**Maria A. Venediktova**, Head of Laboratory, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

**Ludmila M. Bogdan**, Head of logistics group, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 03.07.2024; одобрена и принята к публикации после рецензирования 17.07.2024.

The article was submitted 03.07.2024; approved and accepted for publication after reviewing 17.07.2024.