

Научная статья

УДК 621.792.053

DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-4-45-55

ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ КЛЕЕВ ДЛЯ СКЛЕИВАНИЯ НЕПОЛЯРНЫХ РЕЗИН НА ОСНОВЕ НАТУРАЛЬНОГО КАУЧУКА С МЕТАЛЛАМИ В ПРОЦЕССЕ ВУЛКАНИЗАЦИИ

Е.Н. Манжосова¹, Н.Ф. Лукина¹, А.Ю. Исаев¹, О.И. Смирнов¹

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

Аннотация. Рассмотрены основные компоненты, применяющиеся при создании эластичных клеев для склеивания неполярных резин на основе натурального каучука в процессе вулканизации. Представлена информация о некоторых отечественных разработках клеевых систем с характеристиками на уровне зарубежной клеевой системы Хемосил 211/411. Представлены результаты исследований клеевых соединений неполярной резины на основе натурального каучука с металлом, выполненных с использованием экспериментальной клеевой системы «клей–клеевой подслои», в исходном состоянии и после воздействия факторов, имитирующих эксплуатационные.

Ключевые слова: клеевая система, эластичный клей, клеевой подслои, резина на основе натурального каучука, прочность при отрыве резины от металла

Для цитирования: Манжосова Е.Н., Лукина Н.Ф., Исаев А.Ю., Смирнов О.И. Подходы к созданию клеев для склеивания неполярных резин на основе натурального каучука с металлами в процессе вулканизации // Труды ВИАМ. 2026. № 4 (158). С. 45–55. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-4-45-55.

Scientific article

APPROACHES TO CREATION OF ADHESIVES FOR GLUING OF NON-POLAR RUBBERS BASED ON NATURAL RUBBER WITH METALS IN CURING PROCESS

E.N. Manzhosova¹, N.F. Lukina¹, A.Yu. Isayev¹, O.I. Smirnov¹

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

Abstract. The basic components which are applying at creation of elastic adhesives for gluing of non-polar rubbers on the basis of natural rubber during vulcanization are considered. Information on some domestic developed adhesive systems with characteristics is presented comparable to the international adhesive system Hemosil 211/411. The results of researches of adhesive joints of non-polar rubber on the basis of natural rubber with metal, executed with use of experimental adhesive system «adhesive – adhesive intermediate layer» in initial condition and after influence of the factors simulating operational are provided.

Keywords: glue system, elastic glue, glue intermediate layer, rubber on basis natural rubber, durability at rubber separation from metal

For citation: Manzhosova E.N., Lukina N.F., Isayev A.Yu., Smirnov O.I. Approaches to creation of adhesives for gluing of non-polar rubbers based on natural rubber with metals in curing process. *Trudy VIAM*, 2026, no. 4 (158), pp. 45–55. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-4-45-55.

Введение

Одними из наиболее востребованных полимерных материалов в авиационной и других отраслях промышленности являются эластичные клеи, в том числе клеи холодного отверждения, используемые для соединения резин между собой или с металлическими материалами, а также клеи горячего отверждения, используемые для склеивания невулканизированных резин различной химической природы (на основе полярных и неполярных эластомеров, в том числе изопреновых, полихлоропреновых, натуральных и т. д.) с металлическими материалами в процессе вулканизации.

В авиационной отрасли широко применяются эластичные клеи холодного отверждения (так называемые резиновые клеи), в том числе разработанные ранее в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ клеи марок 4НБув, ВКР-24, ВКР-27, которые обеспечивают следующий уровень прочности соединений резины: при расслаивании – до 2,0 кН/м, при отслаивании – до 0,25 кН/м [1, 2]. В сравнении с клеями холодного отверждения использование эластичных клеев для склеивания резин с металлами в процессе вулканизации, для которых требуется более сложная технология, позволяет получить клеевые соединения с высокой механической, термической и химической стойкостью. Применяемые в промышленности отечественные резиновые клеи горячего отверждения марок Кр-5-18, Кр-6-18, Лейконат, ВКР-85 и другие позволяют обеспечить прочностные характеристики клеевых соединений при отслаивании до 4,0 кН/м. С применением эластичных клеев перечисленных марок решается задача по склеиванию полярных резин, но эти же клеи не имеют адгезии к поверхности неполярных резин, в том числе резины на основе натурального каучука.

В настоящее время наиболее высокие прочностные характеристики клеевых соединений при соединении неполярных резин с металлическими материалами достигаются с использованием линейки клеев общей марки Хемосил импортного производства [3]. В отечественной промышленности наиболее широко применяется клеевая система марки Хемосил 211/411NL, включающая клей, который обеспечивает адгезию к поверхности неполярной резины, и клеевой подслои, имеющий хорошую адгезию к поверхности металла. Прочность связи резины с металлом при отрыве, полученная с применением клеевой системы Хемосил 211/411NL, составляет не менее 6,8 МПа, при этом разрушение клеевого соединения происходит в основном по массиву резины. Клеевые соединения способны выдерживать действие различных факторов, возникающих в процессе эксплуатации: температуры от –60 до +130 °С, агрессивных жидкостей, вибрации и др. Указанные свойства достигаются благодаря рецептурному составу, используемому в клеях Хемосил, которые в качестве полимерной основы содержат ди-, три-, полихлорбутадиены, бромсодержащие бутадиены и хлорированный натуральный каучук (аллопрен) с достаточно высоким содержанием галогена: ~30 % (по массе). В составе этих клеев используются также модификаторы – фенольные или эпоксидные олигомеры, которые обеспечивают повышение твердости отвержденного клея, и дополнительно – технический углерод или кремниевая кислота, способствующие повышению прочности клея. В качестве вулканизирующих агентов в состав клеев Хемосил входят оксиды и соли металлов.

Создание отечественных аналогов клеевых систем Хемосил является актуальной задачей.

Работа выполнена в рамках реализации комплексной научной проблемы 15.1. «Многофункциональные клеящие системы» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») на оборудовании ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ [4–11].

Материалы и методы

В качестве эластичного клея и клеевого подслоя исследовали экспериментальные клеевые композиции на основе каучуков различного типа, модификаторов, наполнителей и растворителей.

Применяли следующие методики по оценке показателей характеристик модельных клеевых композиций:

- механические характеристики – прочность связи резины с металлом при отрыве – по ГОСТ 209–75 (метод В);
- термическое старение – по СТО 1-595-20-101–2016;
- тепловлажностное старение – по ГОСТ 9.707–81;
- влияние изменения температуры среды (термоциклирование) – по ГОСТ 9.707–81;
- влияние воздействия условий камеры тропиков – по СТП 1-595-20-100–2002;
- влияние воздействия микологической среды – по ГОСТ 9.049–91.

Результаты и обсуждение

С целью импортозамещения клеев Хемосил, российскими исследователями (начиная с советского периода) предпринимаются усилия, направленные на разработку клеев аналогичного назначения на основе отечественного сырья. Так, систему клеев 51-К-19-2 + 51-К-24-30, разработанную в НИИРП, применяли в процессе вулканизации для склеивания резин на основе каучуков общего назначения, таких как НК, СКИ, СКД, СКЭПТ, СКМС-10, 30, 50, СКН-18, 40, хлоропреновые каучуки. В результате проведенной работы по совершенствованию рецептуры клея 51-К-19-2 фирмой ООО «Элад-Гермес» создана клеевая система, состоящая из клея Элад-К-19-3 с клеевым подслоем (грунтом) Элад К-24-30, предназначенная для крепления к металлу резин на основе каучуков общего назначения: НК, БНКС, СКБ, СКС, СКМС, СКЭПТ, бутил- и хлорбутилкаучуков [12–15]. Данная клеевая система – это отечественный аналог системы клеев Хемосил 211/220, однако в качестве полимерной основы системы используют импортные хлорсодержащие олигомеры.

Исследования в данном направлении выполняются во ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (Институт тонких химических технологий, МИТХТ) [16–18].

В НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ разработана клеевая система, включающая клей горячего отверждения для склеивания с металлами в процессе вулканизации резин на основе каучука СКН и клеевой подслоя, повышающий адгезию клея к резинам на основе неполярных каучуков (СКИ, СКИ + СКД и др.). Клей горячего отверждения на основе синтетического каучука в смеси растворителей представляет собой двухкомпонентную композицию горячего отверждения и рекомендован для склеивания в процессе вулканизации резин на основе бутадиен-нитрильных каучуков с металлами (конструкционными сталями и алюминиевыми сплавами), а также резин на основе натуральных, изопреновых и полихлоропреновых каучуков с металлами (конструкционными сталями и алюминиевыми сплавами) в сочетании с клеевым подслоем. Клей горячего отверждения может эксплуатироваться в интервале температур от –50 до +130 °С. Квотами преимущества клея горячего отверждения перед клеем аналогичного назначения марки ВКР-85 являются: повышенная прочность при отрыве клеевых соединений резины различной химической природы с металлами при температуре 20 °С (до 50 %); повышенная прочность при отрыве клеевых соединений резины марки 3826 со сталью 30ХГСА после выдержки в топливе ТС-1 при температуре 100 °С в течение 5 сут (до 10 %). По уровню свойств клей горячего отверждения аналогичен клею марки

Хемосил 211, а в сочетании с клеевым подслоем – клеевой системе Хемосил 211/220 [19–21]. Однако в составе клеевой системы использован хлорсодержащий импортный компонент, в связи с чем в настоящее время клеевая система не выпускается.

Исследования сотрудников НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ в области выявления научных подходов к созданию клеевых систем на основе отечественного сырья с характеристиками на уровне свойств клеевых систем Хемосил продолжаются.

Выполнены исследования экспериментальных клеевых композиций, включающих бутадиен-нитрильный каучук в качестве полимерной основы в сочетании с модификаторами различной химической природы (низкомолекулярными каучуками, хлорированными и фенольными смолами, хиноловым эфиром и другими), сшивающими агентами (оксидами металлов, серой, техническим углеродом) и смесью растворителей. В результате разработан состав экспериментальной клеевой системы, включающей эластичный клей и адгезионный подслоя.

Исследованы и выбраны оптимальные технологические режимы изготовления (температура и продолжительность смешения исходных компонентов) и нанесения клея и клеевого подслоя на склеиваемые поверхности (расход клея, температура и продолжительность сушки нанесенных слоев) и режимов вулканизации клеевых соединений.

Проведены исследования прочностных характеристик клеевых соединений, выполненных с использованием экспериментальной клеевой системы, при склеивании резиновой смеси на основе натурального каучука марки 9-2959 и металла – алюминиевого сплава марки Д16-АТ анодированного (Ан.Окс.хром) и углеродистой стали 30ХГСА опескоструенной. Результаты испытаний (средние значения) представлены в табл. 1–8.

Проведены испытания клеевых соединений, выполненных с использованием экспериментальной клеевой системы, в исходном состоянии в диапазоне температур от –60 до +155 °С.

Таблица 1

Прочность связи резины с металлом при отрыве по ГОСТ 209–75 (метод В) клеевых соединений, выполненных с использованием экспериментальной клеевой системы в исходном состоянии

Склеиваемые материалы	Прочность связи резины с металлом при отрыве, МПа, при температуре испытаний, °С			
	–60	20	130	155
Резиновая смесь марки 9-2959 + сплав Д16-АТ (Ан.Окс.хром)	12,3	7,5	2,6	2,3
Резиновая смесь марки 9-2959 + сталь 30ХГСА (опескоструенная)	13,9	7,8	2,4	1,9

Видно (табл. 1), что при склеивании неполярной резины марки 9-2959 с металлом с использованием разработанной экспериментальной клеевой системы достигается указанный максимальный уровень прочности клеевых соединений (с разбросом значений от 6,9 до 8,6 МПа при температуре испытаний 20 °С и от 1,5 до 3,3 МПа при температуре испытаний 130 °С) со 100%-ным разрушением клеевых соединений по массиву резины.

Проведены испытания клеевых соединений резины марки 9-5929 с металлом (алюминиевый сплав Д16-АТ и углеродистая сталь 30ХГСА), выполненных с использованием экспериментальной клеевой системы, после воздействия термического

старения при температуре 130 °С в течение 500 и 1000 ч. Результаты испытаний (средние значения) представлены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние термического старения на свойства клеевых соединений, выполненных с использованием экспериментальной клеевой системы

Склеиваемые материалы	Воздействующий фактор	Прочность связи резины с металлом при отрыве, МПа, при температуре испытаний, °С	
		20	130
Резиновая смесь марки 9-2959 + сплав Д16-АТ (Ан.Окс.хром)	Контрольные образцы	7,5	2,6
	Тепловое старение при температуре 130 °С в течение, ч:	500	3,0
		1000	2,1
Резиновая смесь марки 9-2959 + сталь 30ХГСА (опескоструенная)	Контрольные образцы	7,8	2,4
	Тепловое старение при температуре 130 °С в течение, ч:	500	3,2
		1000	2,1

По результатам испытаний клеевых соединений «резина + металл» установлено, что разрушение клеевых соединений происходило по массиву резины.

Выполнены исследования по влиянию термоциклирования по режиму: –60 °С в течение 1 ч + 20 °С в течение 18,5 ч + 130 °С в течение 4,5 ч (количество циклов: 10), на прочность клеевых соединений резины марки 9-5929 с металлом, склеенных экспериментальной клеевой системой. Результаты испытаний представлены в табл. 3.

Таблица 3

Влияние термоциклирования на свойства клеевых соединений, выполненных с использованием экспериментальной клеевой системы

Склеиваемые материалы	Воздействующий фактор	Прочность связи резины с металлом при отрыве, МПа, при температуре испытаний, °С	
		20	130
Резиновая смесь марки 9-2959 + сплав Д16-АТ (Ан.Окс.хром)	Контрольные образцы	7,5	2,6
	Термоциклирование в течение 10 циклов	6,4	2,7
Резиновая смесь марки 9-2959 + сталь 30ХГСА (опескоструенная)	Контрольные образцы	7,8	2,4
	Термоциклирование в течение 10 циклов	6,4	2,9

В результате проведенных испытаний установлена устойчивость исследуемых клеевых соединений к воздействию циклического перепада температур. Разрушение клеевых соединений на 95 % происходит по массиву резины.

Исследовано влияние тепловлажностного старения по режиму: температура 60 °С, относительная влажность воздуха $\phi = 85\%$, время экспозиции 1 мес., а также воды, повышенной влажности и условий камеры тропического климата на прочность клеевых соединений резины марки 9-2959 с металлом, склеенных с использованием экспериментальной клеевой композиции. Данные представлены в табл. 4–6.

Таблица 4

Влияние тепловлажностного старения на свойства клеевых соединений, выполненных с использованием экспериментальной клеевой системы

Склеиваемые материалы	Воздействующий фактор	Прочность связи резины с металлом при отрыве, МПа, при температуре испытаний, °С	
		20	130
Резиновая смесь марки 9-2959 + сплав Д16-АТ (Ан.Окс.хром)	Контрольные образцы	7,5	2,6
	Тепловлажностное старение в течение 1 мес.	5,0	2,6
Резиновая смесь марки 9-2959 + сталь 30ХГСА (опескоструенная)	Контрольные образцы	7,8	2,4
	Тепловлажностное старение в течение 1 мес.	3,9	2,3
Резиновая смесь марки 9-2959 + сталь 30ХГСА (кадмированная)	Контрольные образцы	7,8	2,4
	Термовлажностное старение в течение 1 мес.	5,2	–

В результате испытаний показано, что тепловлажностное старение оказывает достаточно агрессивное влияние на прочность клеевых соединений, разрушение которых происходит до 60 % по массиву резины и до 40 % по границе «клеевой подслоя–металл», однако при обработке стали 30ХГСА кадмиевым покрытием разрушение клеевых соединений происходит по массиву резины с более высоким значением прочности при отрыве.

Таблица 5

Влияние воды и влаги на свойства клеевых соединений, выполненных с использованием экспериментальной клеевой системы

Склеиваемые материалы	Воздействующий фактор/время выдержки	Прочность связи резины с металлом при отрыве, МПа, при температуре испытаний, °С			
		20	130	155	
Резиновая смесь марки 9-2959 + сплав Д16-АТ (Ан.Окс.хром)	Контрольные образцы	7,5	2,6	2,0	
	Влажность φ = 98 % в течение, сут:	15	5,5	2,2	2,0
		30	5,7	2,2	1,6
	Вода в течение, сут:	15	6,0	2,0	2,0
		30	4,9	1,7	1,4
	Резиновая смесь марки 9-2959 + сталь 30ХГСА (опескоструенная)	Контрольные образцы	7,8	2,4	1,9
Влажность φ = 98 % в течение, сут:		15	4,7	1,7	1,5
		30	3,4	2,1	1,8
Вода в течение, сут:		15	4,5	1,9	1,7
		30	4,0	1,9	1,7

Таблица 6

Влияние условий камеры тропического климата (КТК) на свойства клеевых соединений, выполненных с использованием экспериментальной клеевой системы

Склеиваемые материалы	Воздействующий фактор/время выдержки	Прочность связи резины с металлом при отрыве, МПа, при температуре испытаний, °С	
		20	130
Резиновая смесь марки 9-2959 + сплав Д16-АТ (Ан.Окс.хром)	Контрольные образцы	7,5	2,6
	КТК в течение, мес.:		
	1	6,4	2,7
	3	6,0	2,3
Резиновая смесь марки 9-2959 + сталь 30ХГСА (опескоструенная)	Контрольные образцы	7,8	2,4
	КТК в течение, мес.:		
	1	6,4	2,9
	3	4,6	1,9

Анализ результатов испытаний клеевых соединений, представленных в табл. 4–6, показывает, что наиболее агрессивное воздействие на клеевые соединения оказывает длительная (в течение 3 мес.) выдержка образцов в воде, в условиях повышенной влажности и камеры тропического климата.

В табл. 7 представлены результаты испытаний клеевых соединений после воздействия микологической среды.

Таблица 7

Влияние воздействия плесневых грибов на свойства клеевых соединений, выполненных с использованием экспериментальной клеевой системы

Склеиваемые материалы	Воздействующий фактор/время выдержки	Прочность связи резины с металлом при отрыве, МПа, при температуре испытаний, °С	
		20	130
Резиновая смесь марки 9-2959 + сплав Д16-АТ (Ан.Окс.хром)	Контрольные образцы	7,5	2,6
	Влажность $\varphi = 98\%$ при температуре 28 °С в течение 3 мес.	6,1	2,3
	Микологическая среда: $\varphi = 98\%$ при температуре 28 °С (методы 1–3) в течение 3 мес.	6,9	2,2
Резиновая смесь марки 9-2959 + сталь 30ХГСА (опескоструенная)	Контрольные образцы	7,8	2,4
	Влажность $\varphi = 98\%$ при температуре 28 °С в течение 3 мес.	4,8	2,0
	Микологическая среда: $\varphi = 98\%$ при температуре 28 °С (метод 1–3) в течение 3 мес.	5,1	1,8

Видно (табл. 7), что наибольшее снижение прочностных характеристик наблюдается после длительной (в течение 3 мес.) экспозиции образцов клеевых соединений в условиях воздействия влажности и микологической среды.

Исследовано влияние на прочность клеевых соединений натуральных климатических условий (климатической зоны г. Геленджика с умеренным теплым климатом с мягкой зимой и в условиях промышленной зоны г. Москвы с умеренным климатом). Результаты испытаний представлены в табл. 8.

Влияние природных климатических условий на прочность клеевых соединений, выполненных с использованием экспериментальной клеевой системы

Склеиваемые материалы	Воздействующий фактор	Прочность связи резины с металлом при отрыве, МПа, при температуре испытаний, °С	
		20	130
Резиновая смесь марки 9-2959 + сплав Д16-АТ (Ан.Окс.хром)	Контрольные образцы	7,5	2,6
	Климатическая зона г. Геленджика	6,6	2,5
	Климатическая зона г. Москвы	6,7	2,4
Резиновая смесь марки 9-2959 + сталь 30ХГСА (опескоструенная)	Контрольные образцы	7,8	2,4
	Климатическая зона г. Геленджика	5,3	2,2
	Климатическая зона г. Москвы	5,7	2,5

В результате испытаний, представленных в табл. 1–8, выявлен характер изменения прочностных характеристик клеевых соединений, выполненных с использованием экспериментальной клеевой системы, включающей эластичный клей и клеевой подслои, при воздействии внешних факторов, имитирующих эксплуатационные. Анализ характера разрушения клеевых соединений показал, что в исходном состоянии в диапазоне температур от -60 до $+155$ °С, после длительного воздействия (до 1000 ч) температуры 130 °С и термоциклирования по режиму: -60 °С в течение 1 ч + 20 °С в течение 18,5 ч + 130 °С в течение 4,5 ч, разрушение клеевых соединений происходит по массиву резины. Показано также, что длительная экспозиция (до 3 мес.) клеевых соединений в условиях воздействия воды, термовлажностных и тропических условий вызывает снижение прочностных характеристик, при этом наблюдается смешанный характер разрушения клеевых соединений: по массиву резины и по границе «клеевой подслои–металл».

Заключения

Рассмотрены основные исходные компоненты, которые применяются при создании эластичных клеев, предназначенных для склеивания в процессе вулканизации неполярных резин на основе натурального каучука. Представлена информация о некоторых отечественных разработках клеевых систем с характеристиками на уровне зарубежной клеевой системы Хемосил 211/411. Представлены результаты исследований клеевых соединений неполярной резины марки 9-5929 на основе натурального каучука с металлом, выполненных с использованием экспериментальной клеевой системы, включающей клей и клеевой подслои, в исходном состоянии в диапазоне рабочих температур и после воздействия факторов, имитирующих эксплуатационные. Показано, что при использовании экспериментальной клеевой системы для склеивания неполярной резины марки 9-2959 на основе натурального каучука с металлами (алюминиевым сплавом Д16-АТ и углеродистой сталью 30ХГСА) достигается высокий уровень связи резины с металлом при отрыве.

Результаты поисковых исследований, в ходе которых разработана экспериментальная клеевая система, будут использованы в дальнейших исследованиях,

направленных на модификацию экспериментального состава с целью повышения устойчивости клеевой системы к тепловлажностному воздействию и разработку клеевой системы (эластичный клей + клеевой подслои) с характеристиками на уровне клеевой системы Хемосил 211/411, что обеспечит импортозамещение этого материала.

Список источников

1. Петрова А.П. Резиновые клеи // Большой справочник резинщика: в 2 ч. М.: Техинформ, 2012. Ч. 2. С. 138–145.
2. Козлов В.А., Лякин Ю.И., Киселев В.Я. Влияние модификации поверхности вулканизированных резин на адгезионную прочность // Клеи. Герметики. Технологии. 2006. № 12. С. 11–15.
3. Клеи для резины и металла // Полар: офиц. сайт. URL: <https://chemosil.ru/catalog/adhesives-and-adhesive/glue-rubber-metal/> (дата обращения: 02.07.2025).
4. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // Авиационные материалы и технологии. 2012. № 5. С. 7–17.
5. Петрова А.П., Малышева Г.В. Клеи, клеевые связующие и клеевые препреги: учеб. пособие. М.: ВИАМ, 2017. 472 с.
6. Петрова А.П. Клеящие материалы: справочник / под ред. Е.Н. Каблова, С.В. Резниченко. М.: Редакция журнала «Каучук и резина», 2002. 196 с.
7. Каблов Е.Н., Лаптев А.Б., Прокопенко А.Н., Гуляев А.И. Релаксация полимерных композиционных материалов под длительным действием статической нагрузки и климата // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 4 (98). С. 70–80. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 02.07.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-70-80.
8. Авиационные материалы: справочник в 13 т. / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2019. Т. 10: Клеи, герметики, резины, гидрожидкости, ч. 1: Клеи, клеевые препреги. 276 с.
9. Застрогина О.Б., Серкова Е.А., Сарычев И.А., Вавилова М.И. Влияние винифлекса российского и китайского производства на свойства связующего ВФТ и стеклотекстолита на его основе // Авиационные материалы и технологии. 2020. № 3 (60). С. 3–9. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-3-3-9.
10. Кузнецова В.А. Влияние эластомерного модификатора на механические и вязкоупругие свойства эпоксидно-каучуковых композиций для эрозионностойких покрытий // Авиационные материалы и технологии. 2020. № 2 (59). С. 56–62. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-2-56-62.
11. Абрамова М.Г., Луценко А.Н., Варченко Е.А. Об особенностях подтверждения соответствия климатической стойкости материалов авиационного назначения на всех этапах жизненного цикла (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2020. № 1 (58). С. 86–94. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-1-86-94.
12. Клеи для крепления резин к металлу в процессе вулканизации // Элад-Гермес: офиц. сайт. URL: <http://www.elad-germes.ru/kley.htm#1> (дата обращения: 02.07.2025).
13. Клеевая композиция: пат. 1008229А1 Рос. Федерация; заявл. 10.11.81; опубл. 30.03.83.
14. Способ склеивания резины с металлом: пат. 2400512С1 Рос. Федерация; заявл. 16.03.09; опубл. 27.09.10.
15. Кейбал Н.В., Бондаренко С.Н., Каблов В.Ф. Модификация клеевых составов на основе полихлоропрена элементосодержащими промоторами адгезии // Клеи. Герметики. Технологии. 2011. № 2. С. 6–13.
16. Зуев А.А., Люсова Л.Р., Борейко Н.П. Хлорированные изопреновые каучуки в адгезионных композициях // Каучук и резина. 2016. № 4. С. 24–26.
17. Алехин А.К., Люсова Л.Р., Наумова Ю.А. и др. Повышение адгезионных свойств клеев на основе смеси бутадиен-нитрильного и хлоркаучуков с хелатами металлов // Клеи. Герметики. Технологии. 2019. № 6. С. 2–8.
18. Малышева М.А., Люсова Л.Р., Зуев А.А., Брык Я.А., Чайкун А.М. Клеевые композиции на основе хлорированных полиизопренов // Клеи. Герметики. Технологии. 2019. № 8. С. 7–12.

19. Тюменева Т.Ю., Жадова Н.С., Лукина Н.Ф. Разработки ФГУП «ВИАМ» в области клеев резинотехнического назначения и самоклеящихся материалов // Труды ВИАМ. 2014. № 7. С. 23–28. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 02.07.2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-7-23-28.
20. Исаев А.Ю., Смирнов О.И., Е. Рубцова Е.В., Петрова А.П. Свойства и области применения клея ВКР-85 // Труды ВИАМ. 2021. № 5 (99). С. 48–55. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 02.07.2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-5-48-55.
21. Тюменева Т.Ю., Лукина Н.Ф. Разработки в области эластомерных клеев авиационного назначения // Труды ВИАМ. 2016. № 8 (44). С. 67–71. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 02.07.2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-8-67-71.

References

1. Petrova A.P. Rubber adhesives. *The Big Handbook of the Rubber Manufacturer*: in 2 parts. Moscow: Tekhninform, 2012, part 2, pp. 138–145.
2. Kozlov V.A., Lyakin Yu.I., Kiselev V.Ya. The Effect of Surface Modification of Vulcanized Rubbers on Adhesive Strength. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2006, no. 12, pp. 11–15.
3. *Glue for rubber and metal*. Available at: <https://chemosil.ru/catalog/adhesives-and-adhesive/glue-rubber-metal/> (accessed: July 02, 2025).
4. Kablov E.N. The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period to 2030. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2012, no. S, pp. 7–17.
5. Petrova A.P., Malysheva G.V. *Adhesives, adhesive binders, and adhesive prepregs*: a textbook. Moscow: VIAM, 2017, 472 p.
6. Petrova A.P. *Adhesives*: Handbook. Eds. E.N. Kablov, S.V. Reznichenko. Moscow: Redaktsiya zhurnala «Kauchuk i rezina», 2002, 196 p.
7. Kablov E.N., Laptev A.B., Prokopenko A.N., Gulyaev A.I. Relaxation of polymeric composite materials under the prolonged action of static load and climate (review). Part 1. Binders. *Aviation materials and technologies*, 2021, no. 4 (65), pp. 70–80. (accessed: July 02, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-70-80.
8. *Aviation materials*: reference book in 13 vols. Ed. E.N. Kablov. Moscow: VIAM, 2019, vol. 10: Adhesives, sealants, rubbers, hydraulic fluids, part 1: Adhesives, adhesive prepregs, 276 p.
9. Zastrogina O.B., Serkova E.A., Sarychev I.A., Vavilova M.I. Influence of Russian and Chinese vinyflex on the properties of the VFT binder and fiberglass based on it. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2020, no. 3 (60), pp. 3–9. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-3-3-9.
10. Kuznetsova V.A. Influence of the elastomeric modifier on mechanical and viscoelastic properties of epoxy and rubber compositions for erosion resistant coatings. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2020, no. 2 (59), pp. 56–62. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-2-56-62.
11. Abramova M.G., Lutsenko A.N., Varchenko E.A. Concerning the aspects of validation of climate resistance of airborne materials at all life cycle stages (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2020, no. 1 (58), pp. 86–94. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-1-86-94.
12. *Adhesives for bonding rubber to metal during vulcanization*. Available at: <http://www.elad-germes.ru/kley.htm#1> (accessed: July 02, 2025).
13. *Adhesive composition*: pat. 1008229A1 Rus. Federation; appl. 10.11.81; publ. 30.03.83.
14. *Method of bonding rubber to metal*: pat. 2400512C1 Rus. Federation; appl. 16.03.09; publ. 27.09.10.
15. Keibal N.V., Bondarenko S.N., Kablov V.F. Modification of polychloroprene-based adhesive compositions with element-containing adhesion promoters. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2011, no. 2, pp. 6–13.
16. Zuev A.A., Lyusova L.R., Boreiko N.P. Chlorinated isoprene rubbers in adhesive compositions. *Kauchuk i rezina*, 2016, no. 4, pp. 24–26.
17. Alekhine A.K., Lyusova L.R., Naumova Yu.A. et al. Improving the adhesive properties of adhesives based on a mixture of nitrile butadiene and chlorinated rubbers with metal chelates. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2019, no. 6, pp. 2–8.

18. Malysheva M.A., Lyusova L.R., Zuev A.A., Bryk Ya.A., Chaykun A.M. Adhesive compositions based on chlorinated polyisoprenes. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2019, no. 8, pp. 7–12.
19. Tyumeneva T.Yu., Zhadova N.S., Lukina N.F. Development of VIAM Federal State Unitary Enterprise in the field of adhesives of industrial rubber assignment and being self-glued materials. *Trudy VIAM*, 2014, no. 7, pp. 23–28. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: July 02, 2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-7-23-28.
20. Isaev A.Yu., Smirnov O.I., Rubtsova E.V., Petrova A.P. Properties and applications areas of the adhesive VKR-85. *Trudy VIAM*, 2021, no. 5 (99), pp. 48–55. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: July 02, 2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-5-48-55.
21. Tyumeneva T.Yu., Lukina N.F. Development in the field of elastomeric adhesives for aviation. *Trudy VIAM*, 2016, no. 8, pp. 67–71. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: July 02, 2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-8-67-71.

Информация об авторах

Манжосова Елизавета Николаевна, инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Исаев Алексей Юрьевич, заместитель начальника лаборатории по науке, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Лукина Наталия Филипповна, главный научный сотрудник, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Смирнов Олег Игоревич, начальник сектора, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Elizaveta N. Manzhosova, Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Alexey Yu. Isaev, Deputy Head of Laboratory of Science, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Natalia F. Lukina, Chief Researcher, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Oleg I. Smirnov, Head of Sector, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 29.08.2025; одобрена и принята к публикации после рецензирования 06.10.2025.

The article was submitted 29.08.2025; approved and accepted for publication after reviewing 06.10.2025