

Научная статья

УДК 621.792.053

DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-6-39-48

**ВЛИЯНИЕ АДГЕЗИОННОГО ГРУНТА ЭП-0234 НА СВОЙСТВА КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ КЛЕЯ ВК-36***А.П. Петрова<sup>1</sup>, Н.Ф. Лукина<sup>1</sup>, А.Ю. Исаев<sup>1</sup>, О.И. Смирнов<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.** Показано, что применение эпоксидного грунта ЭП-0234, используемого в качестве адгезионного подслоя под эпоксидно-полисульфоным клеем ВК-36, приводит к увеличению продолжительности выдержки между процессом химического оксидирования в хромовой кислоте (An.Окс.хром) склеиваемых поверхностей и началом технологических работ по склеиванию до 30 сут (вместо 2 сут для анодированных поверхностей без грунта) без ухудшения показателей свойств склеенных образцов, а в некоторых случаях – с их улучшением.

**Ключевые слова:** пленка клея, адгезионный грунт, прочность клеевых соединений, термическое старение, устойчивость к влаге, воздействие вибрации, длительная прочность

**Для цитирования:** Петрова А.П., Лукина Н.Ф., Исаев А.Ю., Смирнов О.И. Влияние адгезионного грунта ЭП-0234 на свойства клеевых соединений, полученных с применением клея ВК-36 // Труды ВИАМ. 2022. № 6 (112). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-6-39-48.

Scientific article

**THE EFFECT OF THE ADHESIVE PRIMER EP-0234 ON THE PROPERTIES OF ADHESIVE COMPOUNDS OBTAINED USING ADHESIVE VK-36***A.P. Petrova<sup>1</sup>, N.F. Lukina<sup>1</sup>, A.Yu. Isaev<sup>1</sup>, O.I. Smirnov<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.** It is shown that the use of EP-0234 epoxy primer, used as an adhesive sublayer under VK-36 epoxy-polysulfone adhesive leads to an increase in the holding time between the process of chemical oxidation in chromic acid (An.Ox.chrome) of the glued surfaces of aluminum alloys and the start of technological bonding work for up to 30 days (instead of 2 days for anodized surfaces without primer) without deterioration of the glued samples, and in some cases – to their improvement.

**Keywords:** adhesive film, adhesive primer, strength of adhesive joints, thermal aging, resistance to moisture, vibration, long-term strength

**For citation:** Petrova A.P., Lukina N.F., Isaev A.Yu., Smirnov O.I. The effect of the adhesive primer EP-0234 on the properties of adhesive compounds obtained using adhesive VK-36. *Trudy VIAM*, 2022, no. 6 (112), paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-6-39-48.

**Введение**

В авиастроении широко используют алюминиевые сплавы при производстве клеевых конструкций благодаря их высокой коррозионной стойкости и удельной

прочности при невысокой, по сравнению с другими металлами, плотностью. Основным технологическим приемом, который используется в авиастроении, является химический способ обработки поверхности алюминиевых сплавов перед склеиванием, заключающийся в химическом оксидировании этих металлов в хромовой кислоте (анодное оксидирование), благодаря чему, с одной стороны, удастся обеспечить их коррозионную защиту, а с другой – повысить стабильность прочностных показателей клееных материалов в условиях воздействия окружающей среды и эксплуатационных нагрузок [1, 2].

При многих положительных характеристиках анодного оксидирования ограничением для его применения является небольшой срок активности анодной пленки, поскольку при хранении в воздушной среде она быстро теряет свои адгезионные свойства. В связи с этим интервал времени между технологическим приемом анодирования и началом технологического процесса склеивания не должен превышать 2 сут [3].

Для увеличения интервала времени между химической обработкой в хромовой кислоте (с целью получения анодного покрытия (Ан.Окс.хром)) и началом работ по склеиванию предварительно (но не более 2 ч после процесса анодирования) на подлежащие склеиванию поверхности алюминиевых сплавов наносится адгезионный грунт ЭП-0234, а затем проводят его отверждение при температуре  $125 \pm 5$  °С. Функции адгезионного грунта в клеевом соединении заключаются в следующем [4–7]:

- до нанесения клея на склеиваемые поверхности грунт предотвращает загрязнение поверхностей, подготовленных под склеивание, в процессе промежуточных технологических операций, а также при их транспортировке и хранении;

- способствует увеличению интервала времени между технологическими этапами, в ходе которых сначала подготавливают поверхности под склеивание, а затем производят их склеивание; в результате повышается производительность труда за счет увеличения количества деталей, для которых одновременно выполняется операция по подготовке поверхности;

- предварительное нанесение адгезионного грунта способствует достижению лучшей смачиваемости склеиваемой поверхности клеем, так как грунт в своем составе содержит специальные функциональные добавки;

- наличие адгезионного грунта на поверхности алюминиевых сплавов способствует защите поверхности металлов от коррозии из-за содержания в его составе соединений хрома, являющихся ингибиторами коррозии;

- грунт, нанесенный на поверхность анодированного металла, заполняет поры в анодном покрытии, благодаря чему снижается возможность диффузии влаги, которая может проникать по торцам клеевого шва;

- клеевые соединения имеют более высокую водостойкость и трещиностойкость, поскольку клеевой слой на границе «клей–субстрат», как показали исследования, является более монолитным [8].

При использовании грунта ЭП-0234 в технологическом процессе склеивания клеем ВК-36 его концентрация должна составлять  $11 \pm 1$  % (по массе). На поверхности его наносят способом пневматического распыления (краскораспылителем) аналогично нанесению лакокрасочных покрытий.

В результате, за счет нанесения грунта на предварительно анодированную поверхность металла, существенно (с 2 до 30 сут) увеличивается время хранения деталей до начала процесса склеивания [9].

В данной статье представлены результаты исследований, показывающие влияние грунта марки ЭП-0234 на показатели характеристик стандартных образцов, склеенных с использованием клеящей пленки марки ВК-36.

Работа выполнена в рамках реализации комплексной научной проблемы 15.1. «Многофункциональные клеящие системы» («Стратегические направления развития материалов и технологий переработки на период до 2030 года») [10–12].

### Материалы и методы

В качестве объекта исследований использована пленка клеевая марки ВК-36 на основе эпоксидной смолы, модифицированной полисульфоном, рекомендованная для соединения элементов конструкций из металлических и полимерных композиционных материалов, в том числе сотовых конструкций, работающих в интервале температур от  $-130$  до  $+160$  °С.

В качестве клеевого подслоя под нанесение клея ВК-36 применялся адгезионный грунт ЭП-0234 желтого цвета (ТУ 1-595-24-501–97). Содержание основного вещества в рецептуре грунта составляло от 55 до 60 %, степень перетира – не более 25 мкм [13, 14].

Перед применением грунт разбавляли с целью достижения рабочей концентрации  $11 \pm 1$  % путем введения растворителя.

Использовали следующие методы исследований:

- клеящие свойства при сдвиге оценивали по ГОСТ 14759–91;
- клеящие свойства при отслаивании оценивали по РТМ 1.2А.015–99;
- влияние условий камеры тропиков исследовали по СТП 1-595-20-100–2002;
- оценку влияния длительной нагрузки на прочность и выносливость клеевых соединений проводили по РТМ 1.2А.015–99.

### Результаты и обсуждение

С целью оценки изменения показателей прочностных характеристик клеевых соединений стандартных образцов под влиянием предварительно нанесенного адгезионного грунта ЭП-0234 с использованием клея ВК-36 изготовлена серия образцов для проведения испытаний в условиях воздействия нагрузок различного вида, после чего выполнены их испытания. При этом часть образцов изготовлена на анодированных образцах без грунта, а вторая часть – с дополнительным предварительным нанесением адгезионного грунта ЭП-0234. Показатели испытаний прочностных характеристик клеевых соединений после воздействия условий экспозиций различного вида в сравнении с контрольными образцами приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Механические свойства клеевых соединений при различных видах испытания**

Свойства	Склеиваемые материалы	Подготовка поверхности	Значения свойств при температуре испытания, °С				
			-130	-60	20	150	160
$\tau_b$ , МПа	Сплав Д19-АТ	Ан.Окс.хром	29,5	33,5	37,5	25,5	15,5
		Ан.Окс.хром + ЭП-0234	29,5	32,5	35,5	26,0	17,5
$S_{рассл}$ , кН/м		Ан.Окс.хром	2,1	3,4	2,5	2,3	2,2
		Ан.Окс.хром + ЭП-0234	2,0	3,1	2,7	2,7	1,7
$\sigma_{отр}$ , МПа	Сплав Д19-АТ + сотовый наполнитель из фольги марки АМг2Н толщиной 0,05 мм	Ан.Окс.хром	7,8	8,5	8,7	2,7	2,0
		Ан.Окс.хром + ЭП-0234	7,8	8,7	8,6	3,7	2,2
$M_{отд}$ , кДж/м		Ан.Окс.хром	5,5	10,0	8,5	8,0	7,2
		Ан.Окс.хром + ЭП-0234	–	7,0	7,0	10,0	9,7

Данные, представленные в табл. 1, показывают, что в зависимости от температуры и вида испытаний получены различные результаты по влиянию адгезионного грунта на значения характеристик клеевых соединений. Для образцов клеевых соединений закрытого типа установлено, что показатели, характеризующие прочностные свойства в условиях сдвиговых нагрузок ( $\tau_b$ ), при температурах испытания  $-130$  и  $-60$  °С в сравнении с показателем при  $20$  °С снижаются незначительно; при температурах  $150$  и  $160$  °С имеет место более существенное снижение прочности. Показатели, характеризующие прочностные свойства в условиях воздействия расслаивающих нагрузок ( $S_{\text{рассл}}$ ), в процессе испытаний при температурах  $-130$ ,  $20$  и  $150$  °С изменяются незначительно и остаются в пределах от  $2,0$  до  $2,7$  кН/м; при температуре  $-60$  °С имеет место некоторое повышение значения данного показателя до  $3,1$ – $3,4$  кН/м. Следует отметить существенное снижение данного показателя для образцов с грунтом при температуре  $160$  °С. Результаты испытаний образцов сотовой конструкции при равномерном отрыве ( $\sigma_{\text{отр}}$ ) и методом поднимающегося барабана ( $M_{\text{отд}}$ ), представленные в табл. 1, показывают характер изменения прочностных показателей в интервале температур от  $-60$  до  $+150$  °С.

Результаты испытаний, представленные в табл. 2, демонстрируют сравнение показателей прочностных характеристик образцов, изготовленных как без грунта, так и с использованием грунта и склеенных с применением клея ВК-36, при воздействии на них температур, превышающих  $20$  °С.

Таблица 2

**Механические свойства клеевых соединений  
после выдержки при повышенных температурах**

Свойства	Склеиваемые материалы (подготовка поверхности)	Условия выдержки: температура, °С/ продолжительность, ч	Значения свойств при температуре испытания, °С				
			-130	-60	20	150	160
$\tau_b$ , МПа	Сплав Д19-АТ (Ан.Окс.хром)	В исходном состоянии*	–	–	37,0	25,0	–
		150/5000	–	–	30,0	20,0	–
		В исходном состоянии*	29,5	33,5	35,5	26,5	17,5
	Сплав Д19-АТ (Ан.Окс.хром + ЭП-0234)	160/1000	15,5	–	28,5	–	15,5
		В исходном состоянии	29,5	33,5	35,5	26,5	17,5
		150/500	–	20,5	32,0	28,5	–
150/1000		–	30,5	33,5	31,5	–	
150/5000	–	–	30,0	24,5	–		
160/1000	15,5	–	28,5	–	15,5		
$S_{\text{рассл}}$ , кН/м	Сплав Д19-АТ (Ан.Окс.хром + ЭП-0234)	В исходном состоянии	–	2,9	2,4	3,4	–
		150/500	–	3,1	2,6	3,0	–
		150/1000	–	2,1	2,5	3,3	–
		150/5000	–	–	2,5	3,3	–
$M_{\text{отд}}$ , кДж/м	Сплав Д19-АТ (Ан.Окс.хром) + сотовый наполнитель из фольги марки АМг2Н толщиной 0,05 мм с ячейкой 2,5 мм	В исходном состоянии	5,5	10,0	8,5	8,0	7,2
		150/1000	–	6,0	8,5	6,5	–
		160/1000	5,0	–	8,0	–	6,5
	То же + ЭП-0234	В исходном состоянии	–	7,0	7,0	10,0	7,0
		150/1000	–	4,0	7,0	8,0	–

\* Испытание образцов из разных партий клея.

Анализ данных, содержащихся в табл. 2, показывает, что использование предварительного нанесения на образцы грунта ЭП-0234 с последующим использованием клея ВК-36 не сказывается отрицательно на изменении уровня показателей прочности образцов при сдвиге после воздействия на них термического старения при температурах: 150 °С в течение 5000 ч и 160 °С в течение 1000 ч. Следует отметить, что нанесение грунта способствует повышению показателей прочностных свойств склеенных образцов после выдержки в условиях воздействия термостарения по режиму 150 °С в течение 5000 ч в процессе их испытания при 150 °С – с 20,0 до 24,5 МПа.

Термостарение по режиму 150 °С в течение 5000 ч практически не вызывает снижения показателей прочностных характеристик склеенных образцов при воздействии расслаивающей нагрузки [15–17].

В табл. 3 содержатся данные испытаний склеенных клеем ВК-36 образцов, изготовленных как с предварительным нанесением грунта ЭП-0214, так и без него, после выдержки в воде продолжительностью 30 сут.

Таблица 3

**Механические свойства клеевых соединений после воздействия воды в течение 30 сут**

Свойства	Склеиваемые материалы (подготовка поверхности)	Условия экспозиции	Значения свойств при температуре испытания, °С			
			–130	–60	20	150
$\tau_b$ , МПа	Сплав Д19-АТ (Ан.Окс.хром)	В исходном состоянии	29,5	33,5	36,0	25,5
		После воздействия воды	24,5	29,5	30,5	21,5
$\tau_b$ , МПа	Сплав Д19-АТ (Ан.Окс.хром + ЭП-0234)	В исходном состоянии	29,5	33,0	35,5	26,0
		После воздействия воды	27,0	31,0	29,5	22,5
$S_{рассл}$ , кН/м	Сплав Д19-АТ (Ан.Окс.хром)	В исходном состоянии	1,5	3,4	2,9	2,5
		После воздействия воды	1,5	3,6	2,0	2,0
$S_{рассл}$ , кН/м	Сплав Д19-АТ (Ан.Окс.хром + ЭП-0234)	В исходном состоянии	2,0	3,1	2,7	2,7
		После воздействия воды	–	2,5	2,3	2,1
$\sigma_{отр}$ , МПа	Сплав Д19-АТ (Ан.Окс.хром + ЭП-0234) + сотовый наполнитель из фольги марки АМг2Н толщиной 0,05 мм с ячейкой 2,5 мм	В исходном состоянии	8,0	8,5	8,5	3,5
		После воздействия воды	8,0	8,0	7,0	4,0
$M_{отд}$ , кДж/м	Сплав Д19-АТ (Ан.Окс.хром) + сотовый наполнитель из фольги марки АМг2Н толщиной 0,05 мм с ячейкой 2,5 мм	В исходном состоянии	5,5	10,0	8,5	9,0
		После воздействия воды	–	10,0	8,1	8,0
$M_{отд}$ , кДж/м	То же + ЭП-0234	В исходном состоянии	–	7,0	7,0	10,0
		После воздействия воды	–	7,0	6,0	8,0

Результаты испытаний, представленные в табл. 3, свидетельствуют о том, что грунт ЭП-0234, защищающий соединяемые поверхности под склеивание клеем ВК-36, вызывает незначительное снижение показателей прочностных характеристик при сдвиге для контрольных склеенных образцов. В то же время установлено, что показатели прочности при сдвиге для этих же образцов с грунтом после их выдержки в воде в течение 30 сут, превышают аналогичные показатели для клеевых соединений, изготовленных без применения грунта. Исключение составляют показатели прочности для образцов, испытанных при 20 °С, так как при этой температуре показатели прочности незначительно снижаются (на ~3 %).

Прочность клеевых соединений на клее ВК-36 при расслаивании в случае применения грунта ЭП-0234 незначительно снижается, но после воздействия воды в течение 30 сут прочность при расслаивании для образцов с грунтом практически во всех случаях превышала аналогичные показатели для образцов без грунта.

В табл. 4 приведены результаты испытаний клеевых соединений после выдержки в условиях воздействия искусственного тропического климата в течение 30 и 90 сут.

Таблица 4

**Механические свойства клеевых соединений  
после выдержки в камере тропического климата**

Свойства	Склеиваемые материалы (подготовка поверхности)	Условия экспозиции	Значения свойств при температуре испытания, °С			
			-130	-60	20	150
$\tau_b$ , МПа	Сплав Д19-АТ (Ан.Окс.хром)	В исходном состоянии	29,5	–	36,0	–
		В камере тропического климата в течение, сут:				
		30	24,0	–	31,5	–
	90	19,0	–	27,0	–	
$S_{рассл}$ , кН/м	Сплав Д19-АТ (Ан.Окс.хром)	В исходном состоянии	29,5	32,5	35,5	26,0
		В камере тропического климата в течение, сут:				
		30	–	30,5	32,5	21,5
	90	20,5	26,5	29,5	16,5	
$S_{рассл}$ , кН/м	Сплав Д19-АТ (Ан.Окс.хром)	В исходном состоянии	1,8	3,0	2,9	2,5
		В камере тропического климата в течение, сут:				
		30	1,6	3,0	3,0	1,9
	90	1,5	2,9	2,0	1,2	
$S_{рассл}$ , кН/м	Сплав Д19-АТ (Ан.Окс.хром + ЭП-0234)	В исходном состоянии	2,0	3,1	2,7	2,7
		В камере тропического климата в течение, сут:				
		30	–	2,5	2,2	2,0
	90	–	3,0	2,4	1,9	
$\sigma_{отр}$ , МПа	Сплав Д19-АТ (Ан.Окс.хром + ЭП-0234) + сотовый наполнитель из фольги марки АМг2Н толщиной 0,05 мм с ячейкой 2,5 мм	В исходном состоянии	8,0	8,5	8,5	3,5
		В камере тропического климата в течение, сут:				
		30	8,0	6,5	7,0	4,5
	90	7,5	6,0	7,0	3,5	
$M_{отд}$ , кДж/м	Сплав Д19-АТ (Ан.Окс.хром) + сотовый наполнитель из фольги марки АМг2Н толщиной 0,05 мм с ячейкой 2,5 мм	В исходном состоянии	–	10,0	8,5	9,0
		В камере тропического климата в течение, сут:				
		30	–	10,0	8,0	10,0
	90	–	10,0	9,0	9,0	
$M_{отд}$ , кДж/м	Сплав Д19-АТ (Ан.Окс.хром + ЭП-0234) + сотовый наполнитель из фольги марки АМг2Н толщиной 0,05 мм с ячейкой 2,5 мм	В исходном состоянии	–	7,0	7,0	10,0
		В камере тропического климата в течение, сут:				
		30	–	8,0	8,0	9,7
	90	–	7,0	8,0	9,0	

Анализ представленных в табл. 4 результатов показывает, что влияние грунта ЭП-0234 на исходную прочность клеевых соединений и после длительного воздействия искусственного тропического климата аналогично воздействию воды.

Прочность при сдвиге клеевых соединений, выполненных без применения грунта ЭП-0234, после выдержки в искусственных тропических условиях в течение 90 сут снизилась на 25 %, а с грунтом – на 10,7 %.

После выдержки в аналогичных условиях образцов клеевых соединений без грунта для испытания при расслаивании ( $S_{рассл}$ ) при температуре испытания 20 °С их прочность после воздействия искусственных тропических условий в течение 90 сут снизилась на 31 %, а клеевых соединений, изготовленных с использованием грунта ЭП-0234, в аналогичных условиях – на 11 % [17, 18].

Для соединений сотовой конструкции во всех случаях имело место разрушение по сотовому наполнителю и определялось прочностью фольги АМг2Н, толщина которой составляла 0,05 мм.

В табл. 5 приведены данные по изменению прочности при сдвиге клеевых соединений при циклическом воздействии на них переменных температур.

Таблица 5

**Прочность при сдвиге клеевых соединений  
после циклического воздействия переменных температур**

Режим цикла		Количество циклов	Склеиваемые материалы (подготовка поверхности)	$\tau_v$ , МПа, при температуре испытания, °С		
продолжительность воздействия	температура, °С			–60	20	150
В исходном состоянии			Сплав Д19-АТ (Ан.Окс.хром + ЭП-0234)	30,0	37,5	26,0
3 ч	–60	30		30,0	32,5	23,5
3 ч	150					
18 ч	20–25					
В исходном состоянии			Сплав Д19-АТ (Ан.Окс.хром)	29,5	35,5	15,5
20 мин	–130	100		27,5	31,5	12,5
30 мин	20					
30 мин	160					
30 мин	20					
В исходном состоянии			Сплав Д19-АТ (Ан.Окс.хром + ЭП-0234)	29,5	35,5	17,5
20 мин	–130	100		26,5	31,5	13,5
30 мин	20					
30 мин	160					
30 мин	20					

Анализ данных, приведенных в табл. 5, позволяет сделать вывод, что применение грунта ЭП-0234 при получении клеевых соединений с клеем ВК-36 не ухудшает их прочностных характеристик при циклическом воздействии температур от –60 до +150 °С в течение 30 циклов и от –130 до 160 °С в течение 100 циклов.

**Заключения**

Проведены сравнительные испытания клеевых соединений алюминиевого сплава Д19-АТ Ан.Окс.хром, изготовленных с применением клея ВК-36, с предварительно нанесенным адгезионным грунтом ЭП-0234 и без грунта. Показано, что применение грунта ЭП-0234 позволяет увеличить интервал времени между операциями анодирования поверхности и склеивания с 2 до 30 сут. Одновременно показано, что применение

грунта ЭП-0214 при склеивании клеем ВК-36 не оказывает отрицательного влияния на работоспособность клеевых соединений, а в некоторых случаях, например при воздействии воды и повышенной влажности, позволяет сохранить более высокий уровень прочностных характеристик.

#### Список источников

1. Козлов В.А., Лякин В.И., Киселев В.Я. Влияние модификации поверхности вулканизированных резин на адгезионную прочность // Клеи. Герметики. Технологии. 2006. № 12. С. 11–15.
2. Кириллов В.Н., Вапиров Ю.М., Дрозд Е.А. Исследование атмосферной стойкости полимерных композиционных материалов в условиях атмосферы теплого влажного и умеренного теплого климата // Авиационные материалы и технологии. 2012. № 4 (25). С. 31–38.
3. Петрова А.П., Лукина Н.Ф., Рубцова Е.В., Исаев А.Ю. Влияние армирования эпоксидного пленочного клея ВК-51 нетканым волокнистым материалом на его свойства // Труды ВИАМ. 2019. № 9 (81). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.03.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-9-47-56.
4. Федосеев М.С., Щербань М.Г., Державинская Л.Ф. Повышение адгезии эпоксидных клеевых композиций к алюминию с помощью промоторов эпокси- и аминоалкоксисиланов // Клеи. Герметики. Технологии. 2020. № 5. С. 7–13.
5. Аронович Д.А., Варламов В.П., Войтович В.А. и др. Склеивание в машиностроении: справочник. М.: Наука и технологии, 2005. Т. 1. 544 с.
6. Лаптев А.Б., Барботько С.Л., Николаев Е.В. Основные направления исследований сохраняемости свойств материалов под воздействием климатических и эксплуатационных факторов // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 5. С. 547–561. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-5-547-561.
7. Старцев О.В., Прокопенко К.О., Литвинов А.А. и др. Исследование термовлажностного старения авиационного стеклопластика // Клеи. Герметики. Технологии. 2009. № 8. С. 18–22.
8. Петрова А.П., Кузнецова В.А., Лукина Н.Ф., Исаев А.Ю. Влияние антикоррозионной грунтовки на свойства клеевых соединений, выполненных с применением кремнийорганического клея-герметика // Труды ВИАМ. 2020. № 10 (92). Ст. 02. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 03.03.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-10-13-20.
9. Авиационные материалы: справочник в 13 т. / под ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2019. Т. 10. Ч. 1: Клеи. Клеевые препреги. С. 17–20.
10. 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.
11. Каблов Е.Н. Россия на рынке интеллектуальных ресурсов // Эксперт. 2015. № 28 (951). С. 48–51.
12. Каблов Е.Н. Из чего сделать будущее? Материалы нового поколения, технологии их создания и переработки – основа инноваций // Крылья Родины. 2016. № 5. С. 8–18.
13. Петрова А.П., Аниховская Л.И. Влияние адгезионного грунта ЭП-0234 на свойства клеевых соединений, выполненных фенольно-каучуковым клеем ВК-50 // Клеи. Герметики. Технологии. 2016. № 1. С. 19–24.
14. Поциус А.В. Клеи, адгезия, технология склеивания: пер. с англ. СПб.: Профессия, 2007. 376 с.
15. Цвєрава В.Г., Русин М.Ю., Неповинных В.И., Химицаев А.С. Анализ влияния ускоренного климатического старения на прочность клеевых соединений // Клеи. Герметики. Технологии. 2018. № 8. С. 28–31.
16. Исаев А.Ю., Рубцова Е.В., Котова Е.В., Сутягин М.Н. Исследование свойств клеев и клеевых связующих, изготовленных с использованием современной отечественной компонентной базы // Труды ВИАМ. 2021. № 3 (97). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 06.10.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-3-58-67.

17. Николаев Е.В., Кириллов В.Н., Скирта А.А., Гращенко Д.В. Исследование закономерностей влагопереноса и разработка стандарта по определению коэффициента диффузии и предельного влагосодержания для оценки механических свойств углепластиков // *Авиационные материалы и технологии*. 2013. № 3 (28). С. 44–48.
18. Каблов Е.Н., Лаптев А.Б., Прокопенко А.Н., Гуляев А.И. Релаксация полимерных композиционных материалов под длительным действием статической нагрузки и климата (обзор). Часть 1. Связующие // *Авиационные материалы и технологии*. 2021. № 4 (65). Ст. 08. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 06.02.2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-70-80.

### References

1. Kozlov V.A., Lyakin V.I., Kiselev V.Ya. Influence of surface modification of vulcanized rubbers on adhesive strength. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2006, no. 12, pp. 11–15.
2. Kirillov V.N., Vapirov Yu.M., Drozd E.A. Research of atmospheric firmness of polymeric composite materials in the conditions of the atmosphere of warm wet and moderately warm climate. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2012, no. 4, pp. 31–38.
3. Petrova A.P., Lukina N.Ph., Isaev A.Yu. Operability of glued joints on epoxy film adhesives at simultaneous influence of loadings and climatic factors. *Trudy VIAM*, 2019, no. 9 (81), paper no. 06. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: March 16, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-9-47-56.
4. Fedoseev M.S., Shcherban' M.G., Derzhavinskaya L.F. Increasing the adhesion of epoxy adhesive compositions to aluminum using promoters of epoxy- and aminoalkoxysilanes. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2020, no. 5, pp. 7–13.
5. Aronovich D.A., Varlamov V.P., Voitovich V.A. et al. *Bonding in mechanical engineering: reference book*. Moscow: Nauka i tehnologii, 2005, vol. 1, 544 p.
6. Laptev A.B., Barbotko S.L., Nikolaev E.V. The main research areas of the persistence properties of materials under the influence of climatic and operational factors. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 547–561. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-547-561.
7. Startsev O.V., Prokopenko K.O., Litvinov A.A. et al. Investigation of thermal moisture aging of aviation fiberglass. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2009, no. 8, pp. 18–22.
8. Petrova A.P., Kuznetsova V.A., Lukina N.Ph., Isayev A.Yu. Influence of corrosion inhibiting primer on properties of the glued joints executed using organic silicon glue-hermetic. *Trudy VIAM*, 2020, no. 10 (92), paper no. 02. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: March 03, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-10-13-20.
9. *Aviation materials: reference book in 13 vols*. Ed. E.N. Kablov. Moscow: VIAM, 2019, vol. 10, part 1: Adhesives. Adhesive prepreps, pp. 17–20.
10. 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.
11. Kablov E.N. Russia in the market of intellectual resources. *Ekspert*, 2015, no. 28 (951), pp. 48–51.
12. 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.
13. Petrova A.P., Anikhovskaya L.I. Influence of adhesive primer EP-0234 on the properties of adhesive joints made with phenol-rubber adhesive VK-50. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2016, no. 1, pp. 19–24.
14. Potsius A.V. *Adhesives, adhesion, bonding technology*: trans. from Engl. St. Petersburg: Profession, 2007, 376 p.
15. Tsverava V.G., Rusin M.Yu., Nepovinnikh V.I., Himitsaev A.S. Analysis of the influence of accelerated climatic aging on the strength of adhesive joints. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2018, no. 8, pp. 28–31.

16. Isaev A.Yu., Rubtsova E.V., Kotova E.V., Sutyagin M.N. Research of properties of glues and glue binding, made with use of modern domestic component base. *Trudy VIAM*, 2021, no. 3 (97), paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: October 6, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-3-58-67.
17. Nikolaev E.V., Kirillov V.N., Skirta A.A., Grashhenkov D.V. Study of moisture transport rules and development of a standard on measurement of the diffusion coefficient and moisture content limit to evaluate mechanical properties of carbon fiber reinforced plastics. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2013, no. 3, pp. 44–48.
18. 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), paper no. 08. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: February 6, 2022). DOI: 10.18577/2071-9140-2021-0-4-70-80.

*Информация об авторах*

**Петрова Алефтина Петровна**, главный научный сотрудник, д.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Лукина Наталия Филипповна**, главный научный сотрудник, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Исаев Алексей Юрьевич**, начальник лаборатории, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Смирнов Олег Игоревич**, начальник сектора, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

*Information about the authors*

**Aleftina P. Petrova**, Chief Researcher, Doctor of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Nataliya F. Lukina**, Chief Researcher, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Alexey Yu. Isaev**, Head of Laboratory, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Oleg I. Smirnov**, Head of Sector, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

Статья поступила в редакцию 28.03.2022; одобрена и принята к публикации после рецензирования 29.03.2022.  
The article was submitted 28.03.2022; approved and accepted for publication after reviewing 29.03.2022.