

Научная статья

УДК 667.6

DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-3-117-124

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИМИ ЭМАЛЯМИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛЕЙ ВНС-2 И ВНС-5

Э.К. Кондрашов<sup>1</sup>, А.А. Козлова<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.** Исследована эффективность применения кремнийорганических эмалей различных марок для противокоррозионной защиты сварных соединений из сталей ВНС-2 и ВНС-5, работающих при высоких температурах. Проведена оценка свойств покрытий на основе кремнийорганических эмалей после воздействия солевого тумана, влажности и знакопеременных температур. По результатам исследования выбраны наиболее эффективные эмали, обеспечивающие надежную защиту сталей в сложных эксплуатационных условиях.

**Ключевые слова:** лакокрасочные материалы, коррозионное растрескивание, сварные соединения, коррозионностойкая сталь, кремнийорганическая эмаль, адгезия, термостойкость

**Для цитирования:** Кондрашов Э.К., Козлова А.А. Эффективность противокоррозионной защиты кремнийорганическими эмалями сварных соединений из сталей ВНС-2 и ВНС-5 // Труды ВИАМ. 2024. № 3 (133). Ст. 10. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-3-117-124.

Scientific article

## EFFICIENCY OF ANTICORROSIVE PROTECTION BY ORGANIC SILICON ENAMELS OF WELDED CONNECTIONS OF VNS-2 AND VNS-5 STEELS

E.K. Kondrashov<sup>1</sup>, A.A. Kozlova<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 effectiveness of using organic silicon enamels of various grades for anticorrosive protection of welded connections steels VNS-2 and VNS-5 working at high temperatures has been studied. The assessment of properties of coatings on the basis of organic silicon enamels after exposure to salt spraying, humidity, sign-variable temperatures is carried out. By results of the study the most effective enamels providing reliable protection of steels in difficult operating conditions are chosen.

**Keywords:** paint-and-lacquer coatings, corrosion cracking, welded connections, corrosion-resistant steel, organic silicon enamel, adhesion, thermal stability

**For citation:** Kondrashov E.K., Kozlova A.A. Efficiency of anticorrosive protection by organic silicon enamels of welded connections of VNS-2 and VNS-5 steels. *Trudy VIAM*, 2024, no. 3 (133), paper no. 10. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-3-117-124.

### Введение

В середине 1960-х гг. в ОКБ им. А.И. Микояна создали самолет нового класса – высотный скоростной истребитель-перехватчик МиГ-25П, на его базе – высотный разведчик МиГ-25Р. Расчетным режимом работы двигателей была высота >20 км и скорость, превышающая звуковой барьер в ~3 раза. На таких скоростях машина встречается с новым барьером – тепловым, связанным с кинетическим нагревом элементов конструкции самолета и двигателей (носовая часть нагревалась до температуры ~300 °С). Поэтому пришлось активно применять сталь, в частности для обшивки используют сваренные между собой листы нержавеющей стали вместо дюралюминиевых приклепанных [1].

Одной из главных задач при создании изделий авиационной техники является повышение надежности конструкции, что достигается благодаря применению материалов, превосходящих по своим механическим характеристикам используемые аналоги [2–6]. Конструкция планера сверхзвукового самолета МиГ-25 на 80 % состоит из нержавеющей стали, 11 % приходится на алюминиевые сплавы, 8 % – на титановые и лишь 1 % – на другие материалы. Центральная часть фюзеляжа – цельносварной агрегат из нержавеющей сталей марок ВНС-2, ВНС-4 и ВНС-5, разработанных в это же время в ВИАМ [7–9].

Проблема защиты от щелевой коррозии межшовного пространства сварных конструкций из стали типа ВНС-2 при точечной электросварке успешно решена за счет применения кремнийорганического антикоррозионного сварочного состава КСП-2АК [10], который обеспечивает сохранение прочности сварной точки в различных климатических условиях при температурах <250 °С. В этом случае для защиты всей поверхности сварной конструкции можно использовать покрытия на основе эпоксидных пленкообразователей. Более сложной задачей является обеспечение противокоррозионной защиты сварных соединений из сталей ВНС-2 и ВНС-5 в элементах конструкций авиационной техники, работающих в интервале температур 300–600 °С. Для противокоррозионной защиты сварных соединений при этих температурах могут использоваться только кремнийорганические эмали, которые по таким основным свойствам, как диффузионная проницаемость для воды, кислорода, ионов электролита и адгезия к защищаемой поверхности [11], существенно уступают эпоксидным покрытиям.

Цель данной работы – оценка эффективности применения и выбор наиболее эффективных кремнийорганических эмалей для противокоррозионной защиты сварных соединений из сталей ВНС-2 и ВНС-5.

### Материалы и методы

Исследованы эмали:

- КО-814 алюминиевая (5 мас. ч. алюминиевой пудры ПАП-2 на 100 мас. ч. кремнийорганического лака КО-85);
- КО-88К алюминиевая (21 мас. ч. алюминиевой пудры ПАП-2 и 7 мас. ч. стабилизатора МФСН-В на 100 мас. ч. кремнийорганического лака КО-08);
- КО-856 (5 мас. ч. отвердителя А-39 марки А на 100 мас. ч. полуфабриката эмали);
- КО-818К на основе кремнийорганического лака КО-08 (6 мас. ч. стабилизатора МФСН-В на 100 мас. ч. полуфабриката эмали).

Эмали получали непосредственно перед применением.

Для изготовления сварных образцов из стали ВНС-2 использовали листы, профили и пластины толщиной 1,5; 2,5 и 3 мм соответственно. Профили и пластины изготовлены из поковок с помощью фрезерования, а затем подвергнуты противокоррозионному старению по специальной технологии.

Подготовленные таким образом заготовки пластин и листов сваривали в замок, а заготовки профилей – встык методом аргоно-дуговой электросварки с присадкой ЭП-659. Сварной шов при сварке профилей встык зачищали заподлицо с двух сторон.

Для изготовления сварных образцов из стали ВНС-5 использовали горячекатаный лист толщиной 4 мм. Заготовки из листа отжигали, фрезеровали до толщины 2,5 мм и шлифовали до толщины 2 мм. После термообработки и правки заготовки подвергали обдувке корундом, кромки с одной стороны разделявали под сварку на 1 мм по толщине. Затем заготовки сваривали методом аргоно-дуговой электросварки с присадкой 08X20НГ6, сварные швы зачищали щетками из нержавеющей стали и разрезали на образцы, которые подвергали пассивации.

Качество сварных соединений проверяли методом рентгенографического контроля.

На подготовленные соединения в зависимости от условий эксплуатации и технологических требований нанесены двухслойные покрытия. Образцы из стали ВНС-2 окрашены эмалью КО-814 (толщина покрытия 25 мкм), образцы из стали ВНС-5 – эмалями КО-88К, КО-856 и КО-818К (толщина покрытий 40–45 мкм).

Двухслойные покрытия на основе эмалей КО-88К и КО-818К подвергали искусственной сушке в течение 2 ч при температуре 200 °С; двухслойное покрытие на основе эмали КО-856 – естественной сушке в течение 5 сут.

### Результаты и обсуждение

Стойкость к коррозионному растрескиванию сварных соединений из стали ВНС-2 оценивали по времени до появления видимой трещины при осмотре с помощью бинокулярного микроскопа с увеличением ×16.

Сварные образцы нагревали при температуре 300 °С в течение 48 ч для обезводороживания и в течение 500 ч для оценки эксплуатационного нагревания (ГОСТ 33291–2015), а также испытывали в камерах солевого тумана (ГОСТ 9.401–2018), тропического климата (СТП 1-595-20-100) и в промышленной атмосфере на стенде Московского центра климатических испытаний НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

После климатических испытаний в течение одного года на сварных соединениях до и после воздействия температуры 300 °С, включая образцы без покрытия, коррозионного растрескивания не выявлено.

При оценке влияния условий в камерах солевого тумана и тропического климата получили большой разброс данных по времени до появления трещин для образцов, подвергнутых одинаковой термической обработке. Поэтому в табл. 1 приведены минимальные значения времени до появления трещины, выявленной хотя бы у одного образца.

Таблица 1

#### Эффективность применения эмали КО-814 для защиты сварных соединений из стали ВНС-2 от коррозионного растрескивания

Покрытие	Воздействие температуры 300 °С в течение, ч		Время до появления трещины, сут, на сварном соединении			
			пластина–лист		профиль	
	48	500	КСТ	КТК	КСТ	КТК
Без покрытия	–	–	11	20	14	151
	+	–	11	20	52	65
	–	+	11	20	11	20
Эмаль КО-814	–	–	138	139	200	220
	+	–	158	65	121	151
	–	+	34	65	121	65
	+	+	52	65	121	151

Примечание. КСТ и КТК – камеры солевого тумана и тропического климата соответственно.

Сварные соединения из стали ВНС-5, работающие при температурах 500 и 600 °С в течение 500 и 100 ч соответственно, предполагалось защищать от коррозии эмалью КО-88К, которая, согласно результатам применения в газотурбинных двигателях, считалась наиболее термостойкой. Однако более высокую термостойкость (700 °С в течение 100 ч) имеет покрытие на основе эмали КО-818К [12]. Кроме того, целесообразно исследовать эмаль КО-856, которая не требует искусственной сушки.

В табл. 2–4 представлены результаты сравнительных испытаний покрытий на основе эмалей КО-88К, КО-818К и КО-856. При определении адгезии и термостойкости кремнийорганических покрытий поверхность сварного шва предварительно подготавливали путем зачистки щетками из нержавеющей стали.

*Таблица 2*

**Адгезия кремнийорганических покрытий к сварному соединению из стали ВНС-5**

Эмаль	Адгезия, балл, к поверхности					
	стали			сварного шва		
	до увлажнения	после увлажнения, сут		до увлажнения	после увлажнения, сут	
		1	18		1	18
КО-88К	2	2	2	2	2	2
КО-818К	2	2	3	2	2	3
КО-856	2	3	2	2	3	3

*Таблица 3*

**Термостойкость кремнийорганических покрытий на сварных соединениях из стали ВНС-5**

Эмаль	Состояние покрытия после нагрева	
	при 500 °С в течение 500 ч	при 600 °С в течение 100 ч
КО-88К	Без изменения	Отслаивание покрытия по сварному шву
КО-818К		Без изменения
КО-856		

*Таблица 4*

**Противокоррозионные свойства кремнийорганических покрытий на сварных соединениях из стали ВНС-5**

Подготовка поверхности сварного шва	Эмаль	Внешний вид покрытия после испытания в течение		
		1 цикла	3 циклов	5 циклов
Без дополнительной обработки	КО-88К	Без изменений	Местами отслаивание по шву	Отслаивание по шву, слабые точки коррозии на поверхности
	КО-818К		Темные точки на поверхности	Бронзящие точки коррозии по шву, отдельные – на поверхности
	КО-856		Точки коррозии по шву, отдельные – на поверхности	Сильная коррозия по шву, точки коррозии на поверхности
Зачистка щетками из нержавеющей стали	КО-88К	Без изменений	Слабые точки коррозии по шву, отдельные – на 50 % поверхности	Местами отслаивания по шву и на 10 % поверхности
	КО-818К		Темные точки на поверхности	Слабые бронзящие точки по шву, отдельные – на поверхности
	КО-856		Точки коррозии по шву, отдельные – на поверхности	Точки коррозии по шву, отдельные – на поверхности

Противокоррозионные свойства покрытий оценивали по результатам циклических испытаний. В течение каждого цикла испытаний образцы охлаждали при температуре  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 1 ч, нагревали при температурах 500 и  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 100 и 20 ч соответственно и экспонировали в камере тропического климата в течение 7 сут. После циклических испытаний образцы изучали с помощью бинокулярного микроскопа с увеличением  $\times 16$ .

Анализ влияния коррозионноактивных сред, сварочных напряжений и повышенных температур на сварные соединения пластин и листов, а также профилей из стали ВНС-2 показал, что эффективность противокоррозионной защиты с помощью эмали КО-814 является высокой. Время до возникновения коррозионного растрескивания сварного шва для двух типов соединений с эмалью КО-814 после эксплуатационного нагревания при температуре  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 500 ч, а также испытания в камерах солевого тумана и тропического климата в  $\geq 3$  раза больше, чем для образцов без покрытия.

При этом продолжительность периода до начала коррозионного растрескивания для профилей без покрытия и с покрытием при испытаниях в камере солевого тумана составляет 11 и 121 сут соответственно. Учитывая, что у образцов без покрытия после обезводороживания при температуре  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 48 ч, эксплуатационного нагревания при температуре  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 500 ч и экспозиции в промышленной атмосфере в течение 1 года не выявлено следов коррозионного растрескивания, применение кремнийорганической эмали КО-814 естественной сушки для защиты сварных соединений из стали ВНС-2, работающих при температуре  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  длительно, можно считать эффективным.

Наиболее стабильные значения адгезии (табл. 2) в процессе увлажнения как к поверхности стали ВНС-5, так и к сварному шву имеет покрытие на основе эмали КО-88К. Однако способность к адгезии полностью утрачена на сварном шве после воздействия температуры  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 100 ч (табл. 3). Адгезия к подложке является определяющим фактором работоспособности покрытий на основе полиорганосилоксанов. После горячей сушки такие покрытия обладают высоким уровнем внутренних напряжений, а после воздействия температур  $300\text{--}600\text{ }^{\circ}\text{C}$  возникают дополнительные внутренние напряжения, которые стремятся разрушить связи на границе «покрытие–подложка», обеспечивающие высокую адгезию. Кроме того, адгезия будет снижаться при работе во влажных условиях в связи с возможными ошибками при подготовке поверхности перед окраской в случае отсутствия развитой шероховатой поверхности подложки.

Недостаточная термостойкость покрытия на основе эмали КО-88К для сварного соединения из стали ВНС-5 зафиксирована также при циклических испытаниях (табл. 4). Надежная защита достигнута при использовании наиболее термостойкой эмали КО-818К ( $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 100 ч), хотя в этом случае в качестве пленкообразователя используется тот же кремнийорганический лак КО-08, что и в эмали КО-88К. Это объясняется тем, что в рецептуре эмали КО-818К применяются неорганические дисперсные наполнители, которые можно отнести как к катализаторам, так и антикатализаторам процесса термоокислительной деструкции [13]. Данное свойство неорганических дисперсных наполнителей учитывали при разработке рецептур не только эмалей КО-818К и КО-856, но и других термостойких лакокрасочных покрытий [14, 15].

Для покрытий, эксплуатируемых при повышенных температурах, особенно при температурах  $>300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , большое значение имеет такой показатель, как коэффициент излучения, который определяет количество тепловой энергии, излучаемой нагретой поверхностью. Чем выше коэффициент излучения покрытия, тем больше тепловой энергии будет излучать в окружающую среду защищенная этим покрытием поверхность.

Все силикатные покрытия плиток и лакокрасочные покрытия на внешней поверхности МКС «Буран» имели коэффициент излучения  $\geq 0,8$  [16].

Среди изученных в данной работе покрытий максимальный коэффициент излучения ( $\geq 0,8$ ) имело покрытие на основе эмали КО-818К, минимальный ( $\sim 0,5$ ) – на основе эмали КО-88К.

### Заключения

Обеспечение защиты сварных соединений от коррозии всегда считали сложной задачей. Даже для защиты сварных соединений из алюминиевых сплавов в качестве первичного слоя систем покрытий применяют грунтовки с антикоррозионными пигментами, чаще всего грунтовку ВЛ-02, содержащую триоксихромат или тетраоксихромат цинка. Поэтому до проведения исследований эффективность применения кремнийорганических эмалей, не содержащих антикоррозионные пигменты, для защиты от коррозии сварных соединений различных типов из сталей ВНС-2 и ВНС-5 вызывала сомнение. Однако результаты исследований показали, что применение кремнийорганических эмалей позволяет обеспечить эффективную противокоррозионную защиту.

Кремнийорганическая эмаль КО-814 алюминиевая естественной сушки позволяет повысить в  $\geq 3$  раза стойкость к коррозионному растрескиванию сварных соединений различных типов из стали ВНС-2 после воздействия температуры 300 °С в течение 500 ч, камер солевого тумана и тропического климата.

Применение кремнийорганической эмали КО-818К обеспечивает эффективную противокоррозионную защиту сварного соединения из стали ВНС-5 после циклического воздействия отрицательных ( $-50$  °С) и положительных ( $+600$  °С) температур, а также экспозиции в камере тропического климата при общей продолжительности нагревания 500 и 100 ч при температурах 500 и 600 °С соответственно.

Результаты исследований позволили применить эмаль КО-818К для защиты стальных паяных сотовых панелей щитков элевона МКС «Буран», работающих при температуре 500 °С [12].

Кремнийорганическую эмаль КО-856 естественной сушки можно применять для ремонта сварных соединений из стали ВНС-5 в процессе эксплуатации.

Дополнительная зачистка сварного шва стали ВНС-5 щетками из нержавеющей стали повышает эффективность противокоррозионной защиты, особенно при использовании эмалей КО-88К и КО-856.

Работа выполнена при поддержке ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

### Список источников

1. Микоян С.А. Воспоминания военного летчика-испытателя. М.: Техника – молодежи, 2002. 478 с.
2. Каблов Е.Н., Бакрадзе М.М., Громов В.И., Вознесенская Н.М., Якушева Н.А. Новые высокопрочные конструкционные и коррозионностойкие стали для аэрокосмической техники разработки ФГУП «ВИАМ» (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2020. № 1 (58). С. 3–11. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-1-3-11.
3. Каблов Е.Н. Ключевая проблема – материалы // Тенденции и ориентиры инновационного развития России. М.: ВИАМ, 2015. С. 458–464.
4. Оглодков М.С., Романенко В.А., Бенариев И., Рудченко А.С., Григорьев М.В. Исследование промышленных полуфабрикатов из перспективных алюминий-литиевых сплавов для авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. 2023. № 3 (72). Ст. 05. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 11.12.2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-3-62-77.

5. Колобков А.С., Малаховский С.С. Самозалечивающиеся композиционные материалы (обзор) // Труды ВИАМ. 2019. № 1 (73). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 15.12.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-1-47-54.
6. Бенариев И., Антипов В.В., Хасиков Д.В., Оглодков М.С., Савичев И.Д., Кузнецова П.Е. Исследование структуры и свойств экономнолегированного алюминиевого сплава системы Al–Mg–Sc–Zr, изготовленного методом селективного лазерного сплавления // Авиационные материалы и технологии. 2023. № 4 (73). Ст. 03. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 11.12.2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-4-23-35.
7. Попова Л.С., Потак Я.М., Вознесенская Н.М., Гранцевич Я.В. Высокопрочная сталь ВНС-5 для ответственных деталей // Авиационная промышленность. 1968. № 4. С. 57–58.
8. Вознесенская Н.М., Каблов Е.Н., Петраков А.Ф., Шалькевич А.Б. Высокопрочные коррозионностойкие стали аустенитно-мартенситного класса // Металловедение и термическая обработка металлов. 2002. № 7. С. 34–37.
9. Громов В.И., Вознесенская Н.М., Покровская Н.Г., Тоньшева О.А. Высокопрочные конструкционные и коррозионностойкие стали ФГУП «ВИАМ» для изделий авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 5. С. 159–174. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-159-174.
10. Кондрашов Э.К., Малова Н.Е., Веренинова Н.П. Антикоррозионные сварочные составы для защиты нахлесточных сварных соединений алюминиевых сплавов и сталей // Коррозия: материалы, защита. 2015. № 6. С. 6–12.
11. Кондрашов Э.К. Лакокрасочные материалы и покрытия на их основе в машиностроении. М.: Пэйнт-Медиа, 2021. 256 с.
12. Молотова В.А. Промышленное применение кремнийорганических лакокрасочных покрытий. М.: Химия, 1978. 112 с.
13. Каблов Е.Н. Доспехи для Бурана. Материалы и технологии ВИАМ для МКС «Энергия – Буран». М.: ВИАМ, 2013. 128 с.
14. Каблов Е.Н. Становление отечественного космического материаловедения // Вестник Российского фонда фундаментальных исследований. 2017. № 3 (95). С. 97–105.
15. Каблов Е.Н. Без новых материалов – нет будущего // Металлург. 2013. № 12. С. 4–8.
16. Гофин М.Я. Жаростойкие и теплозащитные конструкции многоразовых аэрокосмических аппаратов. СПб.: ТФ «Мир», 2003. 671 с.

#### References

1. Mikoyan S.A. *Memoirs of a military test pilot*. Moscow: Technology for Youth, 2002, 478 p.
2. Kablov E.N., Bakradze M.M., Gromov V.I., Voznesenskaya N.M., Yakusheva N.A. New high strength structural and corrosion-resistant steels for aerospace equipment developed by FSUE «VIAM» (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2020, no. 1 (58), pp. 3–11. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-1-3-11.
3. Kablov E.N. The key problem is materials. *Trends and guidelines for innovative development of Russia*. Moscow: VIAM, 2015, pp. 458–464.
4. Oglodkov M.S., Romanenko V.A., Benarieb I., Rudchenko A.S., Grigoryev M.V. Study of industrial semi-finished products from advanced aluminum-lithium alloys for aircraft products. *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 3 (72), paper no. 05. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: December 11, 2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-3-62-77.
5. Kolobkov A.S., Malakhovskiy S.S. Self-healing composite materials (review). *Trudy VIAM*, 2019, no. 1 (73), paper no. 06. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: December 15, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-1-47-54.
6. Benarieb I., Antipov V.V., Khasikov D.V., Oglodkov M.S., Savichev I.D., Kuznetsova P.E. Study of structure and properties of sparsinly alloyed aluminum alloy of Al–Mg–Sc–Zr system produced by selective laser melting. *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 4 (73), paper no. 03. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: December 11, 2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-4-23-35.

7. Popova L.S., Potak Ya.M., Voznesenskaya N.M., Trantsevich Ya.V. High-strength steel VNS-5 for critical parts. *Aviatsionnaya promyshlennost*, 1968, no. 4, pp. 57–58.
8. Voznesenskaya N.M., Kablov E.N., Petrakov A.F., Shalkevich A.B. High-strength corrosion-resistant steels of the austenitic-martensitic class. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*, 2002, no. 7, pp. 34–37.
9. Gromov V.I., Voznesenskaya N.M., Pokrovskaya N.G., Tonysheva O.A. High-strength constructional and corrosion-resistant steels developed by VIAM for aviation engineering. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 159–174. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-159-174.
10. Kondrashov E.K., Malova N.E., Vereninova N.P. Anti-corrosion welding compounds for the protection of lap welded joints of aluminum alloys and steels. *Korroziya: materialy, zashchita*, 2015, no. 6, pp. 6–12.
11. Kondrashov E.K. *Paints and varnishes and coatings based on them in mechanical engineering*. Moscow: Paint-Media, 2021, 256 p.
12. Molotova V.A. *Industrial application of organosilicon paint and varnish coatings*. Moscow: Khimiya, 1978, 112 p.
13. Kablov E.N. *Armor for Buran. VIAM materials and technologies for the ISS «Energia – Buran»*. Moscow: VIAM, 2013, 128 p.
14. Kablov E.N. Formation of domestic space materials science. *Vestnik Rossiyskogo fonda fundamentalnykh issledovaniy*, 2017, no. 3 (95), pp. 97–105.
15. Kablov E.N. Without new materials there is no future. *Metallurg*, 2013, no. 12, pp. 4–8.
16. Gofin M.Ya. *Heat-resistant and heat-protective structures of reusable aerospace vehicles*. St. Petersburg: TF «Mir», 2003, 671 p.

### Информация об авторах

**Кондрашов Эдуард Константинович**, главный научный сотрудник, д.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

**Козлова Алеся Александровна**, начальник сектора, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

### Information about the authors

**Eduard K. Kondrashov**, Chief Researcher, Doctor of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

**Alesya A. Kozlova**, Head of Sector, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 29.01.2024; одобрена и принята к публикации после рецензирования 30.01.2024.  
The article was submitted 29.01.2024; approved and accepted for publication after reviewing 30.01.2024.