



УДК 620.193

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-4-10-10

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ  
ПОЛИЭФИРУРЕТАНОВОГО КОМПАУНДА ДЛЯ  
ЗАЩИТЫ МАТЕРИАЛОВ ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННОЙ  
ТЕХНИКИ**

*С.А. Каримова*

*кандидат технических наук*

*Л.И. Авдюшкина*

*Е.А. Ефимова*

*Т.И. Низамов*

*доктор технических наук*

*А.А. Алиев*

**Апрель 2015**

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

УДК 620.193

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-4-10-10

*С.А. Каримова<sup>1</sup>, Л.И. Авдюшкина<sup>1</sup>, Е.А. Ефимова<sup>1</sup>, Т.И. Низамов<sup>2</sup>, А.А. Алиев<sup>2</sup>*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИЭФИРУРЕТАНОВОГО КОМПАУНДА ДЛЯ ЗАЩИТЫ МАТЕРИАЛОВ ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

*Определены антикоррозионные свойства полиэфируретанового компаунда в условиях воздействия повышенной влажности (WKL-100) и камеры солевого тумана (KCT-35) на образцах из стали 30ХГСА и алюминиевых сплавов Д16-Т, 1163-АТ и 1163-Т. Результаты сопоставлены со свойствами известных защитных составов Cor Ban 35, ПИНС АТ (ТУ38.401-58-120–95) и Dinitrol AV-40. Проведенные испытания показали высокие защитные свойства опытной партии состава ПЭУК. Свойства исследованной партии позволяют рекомендовать состав ПЭУК для применения в технологических процессах для дополнительной защиты материалов деталей и узлов авиационной техники.*

**Ключевые слова:** *коррозия, тонкопленочные ингибированные нефтяные составы (ПИНСы), профилактические составы, авиация, воздушное судно, авиационные материалы, сталь 30ХГСА, алюминиевые сплавы Д16-Т, 1163-АТ и 1163-Т, влажность, солевой туман, защитные составы Cor Ban 35, ПИНС АТ (ТУ38.401-58-120–95) и Dinitrol AV-40.*

*S.A. Karimova, L.I. Avdushkina, E.A. Efimova, T.I. Nizamov, A.A. Aliyev*

## **INVESTIGATION OF THE POTENTIAL APPLICATION OF POLYESTERURETHANE COMPOUND TO PROTECT THE MATERIALS OF AVIATION HARDWARE PARTS**

*In this work the anti-corrosion properties of polyesterurethane compound in conditions of high humidity (WKL-100) and the salt spray chamber (KCT-35) on samples of 30KhGSA steel and D16-T, 1163-AT and 1163-T aluminum alloys were determined. The results were compared with properties of well-known Cor Ban 35, PINS AT (TU38.401-58-120–95) and Dinitrol AV-40 protecting compounds. The fulfilled tests have shown high protective properties of pilot batch of PEUK compound for application in technological processes for enhanced parts and units protection in aviation hardware.*

**Keywords:** *corrosion, thin-film inhibited oil compositions, preventive compositions, aviation, aircraft, aviation materials, 30KhGSA steel, D16-T, 1163-AT and 1163-T aluminums alloys, humidity, salt fog, Cor Ban 35, Pins AT (TU38.401-58-120–95) and Dinitrol AV-40 protective compounds.*

---

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

<sup>2</sup>Национальная академия авиации [National aviation academy] E-mail: mail@naa.edu.az

## **Введение**

Развитие материалов и технологий является важной составляющей стратегического направления развития различных отраслей промышленности и создания специальной техники нового поколения [1, 2].

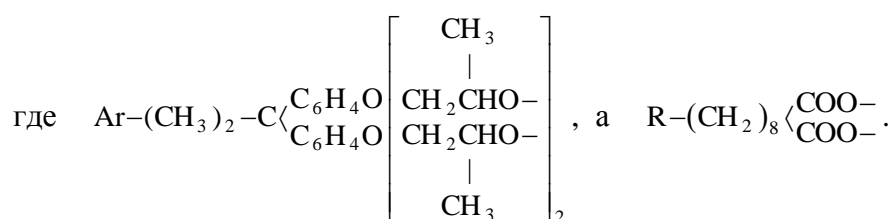
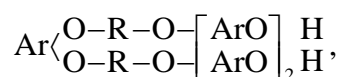
В авиастроении при изготовлении элементов конструкций самолетов и вертолетов используется широкая номенклатура металлических материалов: алюминиевых, магниевых и титановых сплавов, сталей различного химического состава, а также большое количество неметаллических материалов [3, 4]. Для защиты от коррозии изделий авиационной промышленности используются различные системы лакокрасочных, неметаллических неорганических и других защитных покрытий [5]. Однако опыт эксплуатации воздушных судов, в том числе в жестких климатических условиях в районах с морским и тропическим климатом, показал, что противокоррозионная защита этих самолетов оказалась недостаточно эффективной [6, 7].

Коррозия металлических элементов несущих конструкций планера является одной из проблем, возникающих при эксплуатации воздушных судов, особенно базирующихся в крупных приморских аэродромах. Атмосфера, насыщенная соединениями хлора, сероводорода и т. п., в сочетании с высокой относительной влажностью создает благоприятные условия для образования коррозионно-активных электролитов, воздействие которых приводит к развитию коррозионных поражений в процессе эксплуатации воздушного судна [8].

В настоящее время для профилактики возникновения коррозионного поражения ведущие мировые производители авиатехники рекомендуют различные антикоррозионные покрытия на полимерной основе, среди которых можно выделить такие составы, как Cor Ban 35 (производство Zip-Chem Products, США), Dinitrol AV-40 (производство Dinol, Швеция), ПИНС АТ (ТУ38.401-58-120–95, производство «Химкомпозит», Россия) [9].

Среди тенденций развития материалов в мире определены приоритетные направления развития материалов и технологий для комплексной антикоррозионной защиты. Тем не менее, как показывает опыт азербайджанских авиакомпаний Azal и Silkway Airlines, даже применение указанных защитных покрытий в полной мере не предотвращает появления коррозии, это требует создания новых, более эффективных составов [10, 11].

В этой связи Национальная академия авиации совместно с Опытно-промышленным заводом Национальной академии наук Азербайджана на основе инновационной технологии разработана рецептура защитного состава, полностью основанного на азербайджанском сырье [12]. Предложенный состав в качестве гидроксилсодержащего соединения содержит сложно-простой полиэфир общей формулы:



В качестве изоцианатного компонента компаунд содержит полиизоцианат, в котором 24% (мольн.) (-NCO)-групп, и дополнительно – инертный растворитель при следующем соотношении компонентов, в мас. ч:

- сложно-простой полиэфир . . . . . 100;
- полиизоцианат «К» . . . . . 50–80;
- растворитель (инертный) . . . . . 80–100.

Сложно-простой полиэфир *бис*-монодифенилпропанового эфира дипропиленгликоля и себаценовой кислоты получают этерификацией *бис*-монодифенилпропанового эфира пропиленгликоля себаценовой кислотой. Полиизоцианат «К» (уретанообразователь) является кубовым остатком дифенилметандиизоцианата и содержит 24% (мольн.) изоцианатных (-NCO)-групп.

В качестве растворителя применяют толуол, ксилол и др. Использование растворителя, с одной стороны, регулирует вязкость композиции, с другой – облегчает равномерное распределение компонентов.

В НПО «Спецполимер» (Россия, г. Москва) были определены некоторые физико-механические свойства предлагаемого компаунда (табл. 1).

Таблица 1

<b>Некоторые физико-механические свойства полиэфируретанового компаунда</b>	
Свойства	Значения свойств
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,95
Температурный коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ , К <sup>-1</sup>	70
Объемная усадка при отверждении, %	0,82
Предел прочности при разрыве, МПа	8
Коэффициент влагонепроницаемости, г/(мм <sup>2</sup> ·Па·ч)	10 <sup>10</sup>
Интервал рабочих температур, °С	-50÷+150
Диэлектрическая проницаемость	1,0–1,5

Опытная партия данного компаунда в течение нескольких месяцев успешно использовалась в качестве заливочного состава, предназначенного для электроизоляции и герметизации пьезокерамических элементов антенн гидролокаторов в морской воде [13]. Это дает основания к его возможному использованию в качестве защитного средства от коррозии воздушных судов.

Целью данной работы явилось определение защитных свойств состава ПЭУК и сравнение его свойств с функциональными и защитными свойствами ингибирующих пленкообразующих составов Cor Van 35, ПИНС АТ и Dinitrol AV-40 [14, 15].

### **Материалы и методы**

Защитные свойства состава ПЭУК сравнивали со свойствами ингибирующих пленкообразующих составов Cor Van 35, Dinitrol AV-40, ПИНС АТ (ТУ38.401-58-120-95) в лаборатории коррозии и защиты металлов ФГУП «ВИАМ» (Россия, г. Москва).

Защитные свойства вышеназванных составов определяли по результатам экспозиции образцов во влажной (WKL-100) и солевой (КСТ-35) камерах по ГОСТ 9.054 [16] на следующих материалах: углеродистой конструкционной стали 30ХГСА, листовом полуфабрикате сплава Д16-АТ, алюминиевом сплаве 1163-АТ плакированном неанодированном и сплаве 1163-Т с удаленной технологической плакировкой [17].

Полиэфируретановая композиция двухкомпонентного лака представлена в виде двух растворов: основы и отвердителя. Состав для нанесения готовили следующим образом: к 100 г основы добавляли 20 г отвердителя, тщательно перемешивали. На все подготовленные металлические образцы кистью наносили слой композиции. Через 24 ч на образцах образовалась сухая гладкая прозрачная пленка толщиной 20 мкм. Для измерения использовали микрометр гладкий типа МК №9769.

Для оценки коррозионного поведения выбранных составов на поверхности металлических материалов, определения защитных свойств образовавшихся пленок проведены ускоренные лабораторные испытания в условиях камеры солевого тумана (КСТ-35) при температуре 35°C с периодическим распылением 5%-ного раствора хлористого натрия и конденсацией его на поверхности образцов. Продолжительность экспозиции в КСТ-35 составила 30 сут (720 ч). Испытания в условиях повышенной влажности (98±2%) проводили в течение 90 сут (2160 ч) в климатической камере WKL-100 при температуре 20±5°C.

Оценку защитной способности составов осуществляли по изменению внешнего вида образцов после окончания экспозиции и с ежедневным визуальным осмотром (×36) в течение первых пяти суток испытаний и в последующем – один раз в пять суток.

### Результаты

Результаты оценки защитной способности испытуемых профилактических ингибированных составов (ПИНС) приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

**Результаты испытаний металлических образцов с нанесенными составами после 90 сут (2160 ч) испытаний в климатической (влажной) камере WKL-100 при температуре 20±5°C и относительной влажности 98±2% (ГОСТ 9.054–80)**

Материал	Коррозия, % площади пораженной поверхности после экспозиции состава			
	ПИНС-АТ	AV-40	ПЭУК	Cor Van 35
Сталь 30ХГСА (шлифованная) Сплав Д16-АТ (плакированный неанодированный) Сплав 1163-АТ (плакированный неанодированный) Сплав 1163-Т (плакированный неанодированный)	Без изменения			

Из анализа результатов экспозиции в климатической камере видно, что за 90 сут все указанные составы надежно защищают металлические образцы. Следовательно, состав ПЭУК обладает высокими защитными свойствами, равными свойствам аналогов.

Анализ результатов испытаний в камере КСТ-35 показал, что состав ПЭУК (1 и 2 слоя) защитил поверхность образцов всех использованных металлов. За 30 сут испытаний состав ПЭУК не растрескался и не отшелушился от металлической основы. На защищаемой поверхности наблюдаются отдельные единичные коррозионные поражения. Рекомендованные для сравнения составы Cor Van 35, ПИНС АТ и Dinitrol AV-40 за время испытаний имеют больший процент пораженной коррозией поверхности и местами покрытия отслоились и растрескались. На поверхности образцов отмечены обильные подтеки продуктов коррозии от отверстий и краев образца (см. табл. 3) [18, 19].

Таблица 3

**Результаты определения защитных свойств профилактических составов  
в камере солевого тумана (ГОСТ 9.054–80) в течение 720 ч**

Материал	Коррозия, % площади пораженной поверхности после экспозиции состава			
	ПИНС-АТ	AV-40	ПЭУК	Cor Van 35
Сталь 30ХГСА (шлифованная)	100	70	20 (по кромкам)	80
Сплав Д16-АТ (плакированный неанодированный)	10	5	5 (по кромкам)	3
Сплав 1163-АТ (плакированный неанодированный)	20	5	5	2
Сплав 1163-Т (плакированный неанодированный)	60	30	1–2	1–2

Из анализа видно, что данный состав надежно защищает поверхность всех образцов при испытаниях во влажной и солевой камерах.

### **Обсуждение и заключения**

На образцах из стали 30ХГСА и алюминиевых сплавов Д16-АТ, 1163-АТ и 1163-Т проведено исследование защитных свойств полиэфируретанового компаунда в сравнении с составами Cor Van 35, ПИНС АТ (ТУ38.401-58-120–95) и Dinitrol AV-40 во влажной и солевой камерах. Проведенные испытания показали высокие защитные свойства опытной партии состава ПЭУК. Свойства исследованной партии позволяют рекомендовать состав ПЭУК для применения в технологических процессах для дополнительной защиты материалов деталей и узлов авиационной техники.

Авторы благодарят ректора Национальной академии авиации, академика НАН А.М. Пашаева, президента «SW Holding» З.С. Ахундова и директора Опытно-промышленного завода НАН Н.Ф. Джавадова за содействие при организации исследований.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. 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.
2. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
3. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. II. Релаксация исходной структурной неравновесности и градиент свойств по толщине //Деформация и разрушение материалов. 2012. №6. С. 17–19.
4. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. I. Механизмы старения //Деформация и разрушение материалов. 2010. №11. С. 19–27.

5. Каблов Е.Н., Петрова А.П., Нарский А.Р. Г.В. Акимов – создатель отечественной науки о коррозии //История науки и техники. 2009. №11. С. 12–15.
6. Кириллов В.Н., Старцев О.В., Ефимов В.А. Климатическая стойкость и повреждаемость полимерных композиционных материалов, проблемы и пути решения //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 412–423.
7. Кириллов В.Н., Ефимов В.А., Шведкова А.К., Николаев Е.В. Исследование влияния климатических факторов и механического нагружения на структуру и механические свойства ПКМ //Авиационные материалы и технологии. 2011. №4. С. 41–45.
8. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. III. Значимые факторы старения //Деформация и разрушение материалов. 2011. №1. С. 34–40.
9. Семенова Л.В., Нефедов Н.И. Покрyтия для защиты гидроагрегатов //Труды ВИАМ. 2014. №2. Ст. 05. (viam-works.ru).
10. Каримова С.А., Павловская Т.Г. Разработка способов защиты от коррозии конструкций, работающих в условиях космоса //Труды ВИАМ. 2013. №4. Ст. 02. (viam-works.ru).
11. Gui F., Furrow K., Williams J., Cooper K., Kelly R.G. Laboratory evaluations of corrosion prevention compounds for aircraft. Department of Materials Science and Engineering, University of Virginia. 2002.
12. Craig B.D., Lane R.A., Rose D.H. Corrosion Prevention and Control: A Program Management Guide for Selecting Materials //Advanced Materials, Manufacturing and Testing Information Analysis Center. 2006. P. 75–82.
13. Заливочный компаунд: пат. №2006022 Рос. Федерация; опубл. 05.01.2004.
14. Низамов Т.И. Особенности проектирования антенны гидролокатора для морского мониторинга //Известия НАН Азербайджана. Сер. «Физико-математические и технические науки». 2003. №5(II). С. 184–190.
15. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент. Применение: Справочник /Под ред. В.М. Школьников. 2-е изд. М.: Техинформ. 1999. С. 384, 386.
16. ГОСТ 9.054–80 Единая система защиты от коррозии и старения. Материалы консервационные. Масла, смазки и нефтяные ингибированные тонкопленочные покрытия. Методы ускоренных испытаний защитных свойств.
17. Антипов В.В., Сенаторова О.Г., Ткаченко Е.А., Вахромов Р.О. Алюминиевые деформируемые сплавы //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 167–182.
18. Жиликов В.П., Каримова С.А., Лешко С.С., Чесноков Д.В. Исследование динамики коррозии алюминиевых сплавов при испытании в камере солевого тумана (КСТ) //Авиационные материалы и технологии. 2012. №4. С. 18–22.

19. Курс М.Г., Каримова С.А. Натурно-ускоренные испытания: особенности методики и способы оценки коррозионных характеристик алюминиевых сплавов //Авиационные материалы и технологии. 2014. №1. С. 51–57.

#### REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Strategicheskie napravlenija razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda [The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. S. 7–17.
2. Kablov E.N. Aviakosmicheskoe materialovedenie [Aerospace materials science] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2008. №3. S. 2–14.
3. Kablov E.N., Starcev O.V., Krotov A.S., Kirillov V.N. Klimaticheskoe starenie kompozicionnyh materialov aviacionnogo naznachenija. II. Relaksacija ishodnoj strukturnoj neravnovesnosti i gradient svojstv po tolshhine [Climatic aging of composite materials of aviation assignment. II. Relaxation of initial structural non-equilibrium and gradient of properties on thickness] //Деформация и разрушение материалов. 2012. №6. S. 17–19.
4. Kablov E.N., Starcev O.V., Krotov A.S., Kirillov V.N. Klimaticheskoe starenie kompozicionnyh materialov aviacionnogo naznachenija. I. Mehanizmy starenija [Climatic aging of composite materials of aviation assignment. I. Aging mechanisms] //Деформация и разрушение материалов. 2010. №11. S. 19–27.
5. Kablov E.N., Petrova A.P., Narskij A.R. G.V. Akimov – sozdatel' otechestvennoj nauki o korrozii [G.V. Akimov – the creator of domestic science about corrosion] //История науки и техники. 2009. №11. S. 12–15.
6. Kirillov V.N., Starcev O.V., Efimov V.A. Klimaticheskaja stojkost' i povrezhdaemost' polimernyh kompozicionnyh materialov, problemy i puti reshenija [Climatic firmness and damageability of polymeric composite materials, problems and solutions] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. S. 412–423.
7. Kirillov V.N., Efimov V.A., Shvedkova A.K., Nikolaev E.V. Issledovanie vlijanija klimaticheskikh faktorov i mehanicheskogo nagruzhenija na strukturu i mehanicheskie svojstva PKM [Research of influence of climatic factors and mechanical loading on structure and the PKM mechanical properties] //Авиационные материалы и технологии. 2011. №4. S. 41–45.
8. Kablov E.N., Starcev O.V., Krotov A.S., Kirillov V.N. Klimaticheskoe starenie kompozicionnyh materialov aviacionnogo naznachenija. III. Znachimye faktory starenija [Climatic aging of composite materials of aviation assignment. III. Significant factors of aging] //Деформация и разрушение материалов. 2011. №1. S. 34–40.
9. Semenova L.V., Nefedov N.I. Pokrytija dlja zashhity gidroagregatov [Coverings for protection of hydraulic units] //Trudy VIAM. 2014. №2. St. 05. (viam-works.ru).

10. Karimova S.A., Pavlovskaja T.G. Razrabotka sposobov zashhity ot korrozii konstrukcij, rabotajushhijh v uslovijah kosmosa [Development of ways of corrosion protection of the designs working in the conditions of space] //Trudy VIAM. 2013. №4. St. 02. (viam-works.ru).
11. Gui F., Furrow K., Williams J., Cooper K., Kelly R.G. Laboratory evaluations of corrosion prevention compounds for aircraft. Department of Materials Science and Engineering, University of Virginia. 2002.
12. Craig B.D., Lane R.A., Rose D.H. Corrosion Prevention and Control: A Program Management Guide for Selecting Materials //Advanced Materials, Manufacturing and Testing Information Analysis Center. 2006. P. 75–82.
13. Zalivochnyj kompaund [Filling compound]: pat. №2006022 Ros. Federacija; opubl. 05.01.2004.
14. Nizamov T.I. Osobennosti proektirovaniya anteny gidrolokatora dlja morskogo monitoringa [Features of design of the aerial of the sonar for sea monitoring] //Izvestija NAN Azerbajdzhana. Ser. «Fiziko-matematicheskie i tehicheskie nauki». 2003. №5(II). S. 184–190.
15. Topliva, smazochnye materialy, tehicheskie zhidkosti. Assortiment. Primenenie [Fuels, lubricants, technical liquids. Range. Application]: Spravochnik /Pod red. V.M. Shkol'nikova. 2-e izd. M.: Tehinform. 1999. S. 384, 386.
16. GOST 9.054–80 Edinaja sistema zashhity ot korrozii i starenija. Materialy konservacion-nye. Masla, smazki i neftjanye ingibirovannye tonkoplenochnye pokrytija. Metody uskorennyh ispytanij zashhitnyh svojstv [Uniform system of corrosion protection and aging. Materials konservatsionny. Oils, lubricant and oil inhibited thin-film coverings. Methods of accelerated tests of protective properties].
17. Antipov V.V., Senatorova O.G., Tkachenko E.A., Vahromov R.O. Aljuminievye deformiruemye splavy [Aluminum deformable alloys] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 167–182.
18. Zhilikov V.P., Karimova S.A., Leshko S.S., Chesnokov D.V. Issledovanie dinamiki korrozii aljuminievyh splavov pri ispytanii v kamere solevogo tumana (KST) [Research of dynamics of corrosion of aluminum alloys when testing in the salt spray chamber (KST)] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №4. S. 18–22.
19. Kurs M.G., Karimova S.A. Naturno-uskorennye ispytaniya: osobennosti metodiki i sposoby ocenki korrozionnyh harakteristik aljuminievyh splavov [Natural accelerated tests: features of technique and ways of assessment of corrosion characteristics of aluminum alloys] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2014. №1. S. 51–57.