



УДК 621.792

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-11-7-7

**МАСЛОБЕНЗОСТОЙКИЙ ГЕРМЕТИК
СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ
ПОЛИСУЛЬФИДНОГО ОЛИГОМЕРА**

Д.Н. Смирнов

Е.И. Зайцева

О.А. Елисеев

Ноябрь 2014

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 621.792

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-11-7-7

Д.Н. Смирнов¹, Е.И. Зайцева¹, О.А. Елисеев¹

МАСЛОБЕНЗОСТОЙКИЙ ГЕРМЕТИК СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ ПОЛИСУЛЬФИДНОГО ОЛИГОМЕРА

Исследовано влияние различных наполнителей и модифицирующих добавок на физико-механические, технологические и адгезионные свойства. Показано, что введение модифицирующих добавок различной химической природы приводит к изменению свойств, в частности к набуханию в воде маслобензостойкого герметика на основе полисульфидного олигомера.

Ключевые слова: *герметик ВИТЭФ-ИНТ, герметик ВИТЭФ-ИБ, полисульфидный олигомер, степень набухания, изменение массы, грибостойкость, модифицирующие добавки.*

D.N. Smirnov, E.I. Zaytseva, O.A. Eliseev

OIL-GASOLINE-PROOF SEALANT WITH SPECIAL PROPERTIES ON THE BASE OF POLYSULPHIDE OLIGOMER

Influence of different fillers and modifying additives on physical-mechanical, processing and adhesive properties was investigated. It was shown that an introduction of modifying additives of different chemical nature leads to changing of properties, in particular swelling in water of oil-gazoline-proof sealant on a base of polysulphide oligomer.

Keywords: *VITEF-INT sealant, VITEF-IB sealant, polysulphide oligomer, swelling degree, mass change, fungi resistance, modifying additives.*

¹Федеральное 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

Введение

Развитие авиационно-космической и ракетной техники ставит перед материаловедомы новые задачи по разработке и усовершенствованию эластомерных герметизирующих материалов. В настоящее время для герметизации планера, кессон-баков, остекления и других элементов конструкции летательных аппаратов широкое применение нашли материалы на основе полисульфидных олигомеров (ПСО). Благодаря ненасыщенной углеводородной структуре и наличию серы ПСО имеют ряд ценных свойств: стойкость к действию многих агрессивных сред (масел, нефтяных топлив, кислот, щелочей), атмосферному воздействию (УФ излучение), а также высокую газонепроницаемость. Эти свойства обеспечили полисульфидным герметикам широкое применение в авиационной и других отраслях промышленности [1–4].

Требования, предъявляемые промышленностью в настоящее время к полисульфидным герметикам, заключаются в сохранении заданных физико-механических, технологических и адгезионных (отслаивание от поверхности металла и полимерных композиционных материалов) свойств материала при воздействии агрессивных сред, перепада температур и микологической среды, а также после указанных воздействий [5–11]. Поэтому необходимо оценить возможность повышения прочностных свойств полисульфидных герметиков с помощью различных наполнителей и модифицирующих добавок, а также исследовать их влияние на физико-механические, технологические и адгезионные свойства к металлам и полимерным композиционным материалам (ПКМ) после воздействия агрессивных сред (вода, топливо ТС-1, микологическая среда, высокая влажность) и температур [13–20].

Материалы и методы

Исследования проводили с применением следующих методов испытаний.

– *Физико-механические и адгезионные испытания* с помощью разрывной машины марки Z2,5 – определение условной прочности и относительного удлинения в момент разрыва, остаточного удлинения после разрыва (ГОСТ 21751–76), прочности при отслаивании (адгезионной прочности по ГОСТ 21981–76).

– *Технологические испытания* – определение жизнеспособности по техническим условиям на материал путем оценки возможности нанесения герметика на герметизируемые поверхности и способности размазываться шпателем и прилипать к поверхности в течение определенного времени. Твердость герметика определяют на приборе Шор А по ГОСТ 263.

– *Исследование набухаемости* – определение стойкости полисульфидных герметиков в среде авиационного керосина и воде, т. е. контроль изменения массы образцов герметика после выдержки в среде авиакеросина или воды в течение определенного времени (ГОСТ 12020).

– *Испытания на грибостойкость* с помощью термошкафа и эксикатора – создание единой системы защиты от коррозии и старения при лабораторных испытаниях на стойкость к воздействию плесневых грибов (ГОСТ 9.048–91).

Результаты

Полисульфидные герметики представляют собой многокомпонентную систему, состоящую из полисульфидного каучука, наполнителя, пластификатора, адгезионной добавки и вулканизирующей группы. Отечественный производитель выпускает три марки полисульфидных каучуков: тиоколы марок I и II, тиокол марки НВБ-2. Эти каучуки различаются между собой молекулярно-массовым распределением и соответственно вязкостью, количеством функциональных меркапто-(SH)-групп. Тиоколы используют для производства как жидких (текучих), так и вязких (густых) композиций. Для исследований выбран тиокол, позволяющий изготавливать композиции средней вязкости для нанесения шпателем на герметизируемые поверхности. Использован пластификатор, который улучшает не только технологические свойства «сырых» композиций, но и способствует более эффективному отверждению композиции. В качестве наполнителей выбраны: диоксид титана, мел химически осажденный, оксиды алюминия, хрома, цинка, магния и сурьмы. На основе выбранных компонентов в лабораторных условиях (при 23°C, φ=55%) приготовлены экспериментальные композиции герметика и получены вулканизаты материалов, из которых изготовлены стандартные образцы [21–25]. В качестве материала-прототипа выбран полисульфидный герметик ВИТЭФ-1НТ.

Для повышения адгезионной прочности при отслаивании герметика от разнообразных поверхностей исследованы модификаторы различной химической природы – на эпоксидной и фенолформальдегидной смолах, ненасыщенные соединения (абиебиновая кислота) и их сочетания. Кроме того, проведены исследования прочностных свойств образцов экспериментальных композиций герметика ВИТЭФ-1НТ с модифицирующими добавками. В табл. 1 представлены результаты исследований технологических, физико-механических и адгезионных свойств.

Таблица 1

Технологические, физико-механические и адгезионные свойства герметика ВИТЭФ-1НТ и опытных композиций на его основе

Композиция (условный номер)	Жизнеспособность, ч	Условная прочность при разрыве, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Прочность связи при отслаивании, кН/м	
				от ПКМ	от сплава Д16
Герметик ВИТЭФ-1НТ	2	1,8	220	0,5	0,65
Эпоксидная смола (1)	5	1,9	180	0,9	1,8
Фенолформальдегидная смола (2)	5	1,9	180	1,9	1,7
Абиетиновая кислота (3)	6	1,6	160	2,5	3,0
Комбинация смол (4)	10	2,1	180	4,2	4,0

Результаты проведенных исследований показали, что композиция 4 превосходит другие экспериментальные композиции по большинству показателей, поэтому дальнейшие исследования проводили именно с этой композицией, содержащей в своем составе комбинацию смол.

Исследования изменения массы экспериментальных композиций в различных средах в течение 30 сут при комнатной температуре также показали, что композиция 4 обладает наилучшими свойствами – изменение массы в воде составило 10%, в топливе: 4% (табл. 2).

Таблица 2

Изменение массы экспериментальных композиций в воде и в топливе ТС-1

Композиция (см. табл. 1)	Изменение массы, %	
	в воде	в топливе ТС-1
Герметик ВИТЭФ-1НТ	12	6
1	13	5
2	14	5
3	13	6
4	10	4

На следующем этапе работы исследовано влияние различных наполнителей на свойства экспериментальной композиции 4. В качестве наполнителей выбраны оксиды металлов: оксид хрома (композиция 5), оксид цинка (композиция 6), оксид сурьмы (композиция 7), диоксид титана (композиция 8), оксид алюминия (композиция 9), оксид магния (композиция 10) – в количестве от 5 до 30 г на 100 г тиокола.

Определены физико-механические свойства композиций в исходном состоянии. Результаты исследования условной прочности в момент разрыва представлены на рис. 1. Видно, что максимальными физико-механическими свойствами (условной прочностью)

обладает композиция 5, в то время как остальные композиции, включая материал-прототип, обладают пониженными физико-механическими свойствами. Можно предположить, что введение мелкодисперсного оксида хрома обусловило повышение условной прочности композиции 5.

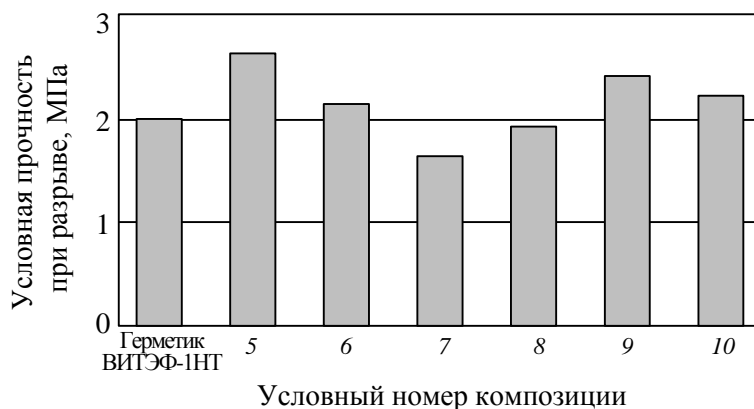


Рисунок 1. Условная прочность герметика с наполнителями различной природы

Для выбора наиболее эффективного наполнителя и его оптимального содержания исследовали не только физико-механические свойства композиций, но и стойкость вулканизатов к набуханию в воде и топливе ТС-1 при комнатной температуре. Результаты исследований набухания в воде представлены на рис. 2. Видно, что после выдержки в воде наименьшая потеря массы – у экспериментальной композиции 5, при этом *физико-механические* и *адгезионные* свойства остались на уровне свойств исходного (до испытаний) материала:

Условная прочность при разрыве, МПа	2,5
Относительное удлинение при разрыве, %	160
Остаточное удлинение после разрыва, %	4
Прочность при отслаивании, кН/м	
– от ПКМ	6,3
– от сплава Д16	5,6.

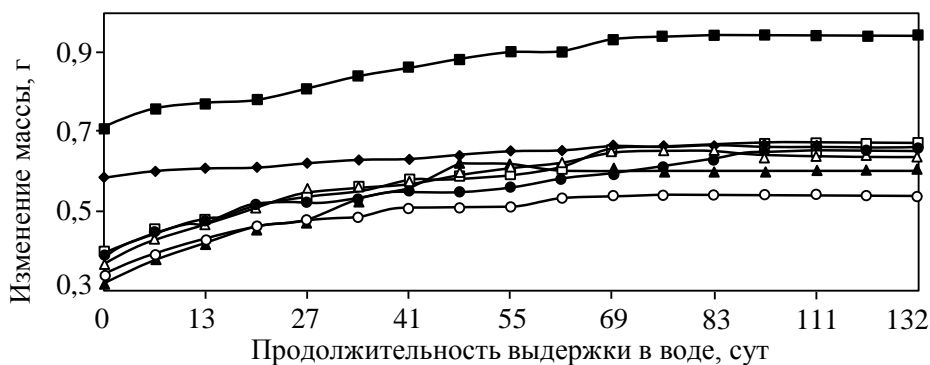


Рисунок 2. Изменение массы герметика в воде в течение времени с наполнителями различной природы: герметик ВИТЭФ-1НТ (■), композиции 5 (◆), 6 (▲), 7 (△), 8 (○), 9 (●) и 10 (□)

Исследованиями также показано, что изменения массы при набухании в топливе ТС-1 всех экспериментальных композиций практически не происходит, что вполне ожидаемо и обусловлено использованием в качестве основы композиций полисульфидного каучука.

В результате проведенных исследований разработана новая экспериментальная композиция на основе полисульфидного герметика, которой присвоена марка ВИТЭФ-1Б. Проведены комплексные исследования свойств разрабатываемого герметика: в том числе исследованы физико-механические и адгезионные свойства герметика после воздействия топлива ТС-1 и различных температур, а также коррозионная активность, грибостойкость и стойкость к воздействию микологической среды и влажности. Сравнительные показатели свойств серийного полисульфидного герметика ВИТЭФ-1НТ и разработанного модифицированного герметика ВИТЭФ-1Б приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Сравнительные показатели свойств полисульфидных герметиков
ВИТЭФ-1НТ и ВИТЭФ-1Б**

Свойства	Значения свойств герметика	
	ВИТЭФ-1НТ	ВИТЭФ-1Б
Интервал рабочих температур, °С	От -60 до +130	
Жизнеспособность, ч	1–10	
Предел прочности при разрыве, МПа (не менее)	1,76	1,95
Относительное удлинение при разрыве, % (не менее)	160	
Остаточное удлинение при разрыве, % (не более)	8	6
Предел прочности при отслаивании, кН/м (не менее):		
– от сплава Д-16	1,96	2,1
– от ПКМ и оргстекла	1,69	2,1
Грибостойкость, балл	3	1
Изменение массы при температуре 20°С в течение 30 сут после выдержки, % (не более):		
– в воде	20	10
– в топливе ТС-1	6	2

Заключение

Показана принципиальная возможность с помощью введения в рецептуру герметизирующих материалов на основе жидкого тиокола новых ингредиентов повысить их эксплуатационные свойства. В качестве модифицирующей добавки для повышения прочностных и адгезионных свойств полисульфидного герметика ВИТЭФ-1НТ выбрана комбинация эпоксидной и фенолформальдегидной смол. Установлено, что такая композиция обладает наиболее высокими адгезионными (до 4,2 кН/м) и физико-механическими свойствами (условная прочность при разрыве составляет 2,1 МПа) и наименьшим набуханием в воде (10%) и в топливе ТС-1 (4%). Установлено также, что

введение в состав герметизирующих материалов новых наполнителей различной химической природы позволяет получить композиции с высокими физико-механическими, технологическими и адгезионными свойствами и низкой степенью набухания в воде и топливе ТС-1.

Проведенные исследования позволили разработать новую марку полисульфидного герметика ВИТЭФ-1Б. Двухкомпонентный герметик ВИТЭФ-1Б представляет собой грибостойкий (1 балл) материал для применения в среде воздуха при температурах от -60 до +130°C, кратковременно – до +150°C, а в среде топлива типа ТС-1 – при температурах от -60 до +100°C. Герметик предназначен для поверхностной и внутришовной герметизации заклепочных, сварных и болтовых соединений авиационных конструкций, приборов, остекления и других изделий.

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. Герметизирующая композиция: пат. 2436818 Рос. Федерация; опубл. 01.07.2010.
3. Елисеев О.А., Краснов Л.Л., Зайцева Е.И., Савенкова А.В. Разработка и модифицирование эластомерных материалов для применения во всеклиматических условиях //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 309–314.
4. Минкин В.С., Хакимуллин Ю.Н., Дебердеев Т.Р., Берлин Ал. Ал. Влияние ионов Fe (III) в составе MnO₂ на кинетику вулканизации жидких тиоколов //Клеи. Герметики. Технологии. 2009. №4. С. 28–30.
5. Зайцева Е.И., Чурсова Л.В. Исследование микробиологической стойкости полисульфидного герметика с новыми антисептическими добавками //Клеи. Герметики. Технологии. 2012. №1. С. 16–20.
6. Зайцева Е.И., Донской А.А. Sealants Based on Polysulfide Elastomers //Polymer Science. Ser. C. 2008. V. 1. P. 15–25.
7. Зайцева Е.И., Донской А.А. Герметики на основе полисульфидных эластомеров //Клеи. Герметики. Технологии. 2008. №6–7. С. 15–25.
8. Зайцева Е.И., Донской А.А. Новые полисульфидные герметики для авиационной промышленности //Клеи. Герметики. Технологии. 2009. №3. С. 18–23.
9. Зайцева Е.И., Донской А.А. Новые полисульфидные герметики для авиационной промышленности /В сб. Трудов «Харьковская нанотехнологическая ассоциация–2008». 2008. С. 191–200.

10. Петрова А.П., Донской А.А. Клеящие материалы, герметики: Справочник. СПб.: НПО «Профессионал». 2008. С. 503–567.
11. Edward M. Petrie Handbook of Adhesives and Sealants. New York. 2000. P. 14–23.
12. Sidney H. Goodman Epoxy Resins. New York. 2002. P. 19–28.
13. Минкин В.С., Суханов П.П., Аверко-Антонович Л.А., Джанбекова Л.Р. Структура и вулканизация полисульфидных олигомеров //Каучук и резина. 1994. №1. С. 14–19.
14. Мухутдинов М.А., Хакимуллин Ю.Н., Губайдуллин Л.Ю., Лиакумович А.Г. Модифицированные тиоколовые герметики с улучшенными адгезионными свойствами //Каучук и резина. 1998. №3. С. 6–8.
15. Низковязкая силиконовая композиция: пат. 2356117 Рос. Федерация; опубл. 20.06.2007.
16. Менделеева Г.А., Порфильева Р.Т., Герасимов В.В., Ефимова В.А. Технологии и свойства полисульфидного материала, модифицированного органометаллофосфатными соединениями //Вестник казанского технологического университета. 2009. №3. С. 18–22.
17. Курбанголеева А.Р., Петлина И.А., Хакимуллин Ю.Н. Влияние наполнителей на свойства тиоколовых герметиков //Вестник казанского технологического университета. 2011. №18. С. 86–89.
18. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
19. Состав для защитного покрытия: пат. 2334158 Рос. Федерация; опубл. 19.12.2006.
20. Савенкова А.В., Чурсова Л.В., Елисеев О.А., Шрагин Д.И., Копылов В.Я., Глазов П.А. Восстановление технологии изготовления тепломорозостойких герметиков на основе кремнийорганических каучуков, синтезированных по новым промышленным технологиям //Авиационные материалы и технологии. 2012. №4. С. 25–31.
21. Чурсова Л.В., Ким М.А., Панина Н.Н., Швецов Е.П. Наномодифицированное эпоксидное связующее для строительной индустрии //Авиационные материалы и технологии. 2013. №1. С. 40–47.
22. Новаков И.А., Нистратов А.В., Фролова В.И. и др. Исследование структуры и свойств материалов на основе композиций полисульфидный олигомер–полимеризационноспособное соединение //Пластические массы. 2011. №1. С. 3–8.
23. Новаков И.А., Нистратов А.В., Фролова В.И. и др. Особенности получения материалов на основе композиций полисульфидный олигомер–

- полимеризационноспособное соединение, отверждаемых в присутствии оксида марганца //Клеи. Герметики. Технологии. 2011. №10. С. 6–12.
24. Зайцева Е.И., Чурсова Л.В., Смирнов Д.Н. Перспективы снижения плотности полисульфидных герметиков //Клеи. Герметики. Технологии. 2012. №5. С. 10–14.
25. 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).

REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Strategicheskie napravlenija razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda [Strategic directions of development of materials and technologies for their re-processing for the period up to 2030] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №5. S. 7–17.
2. Germetizirujushhaja kompozicija [A sealant composition]: pat. 2436818 Ros. Federacija; opubl. 01.07.2010.
3. Eliseev O.A., Krasnov L.L., Zajceva E.I., Savenkova A.V. Razrabotka i modifitsirovanie jelastomernyh materialov dlja primenenija vo vseklimaticeskix uslovijah [Development and modification of elastomeric materials for use in all-climatic conditions] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №5. S. 309–314.
4. Minkin V.S., Hakimullin Ju.N., Deberdeev T.R., Berlin Al. Al. Vlijanie ionov Fe (III) v sostave MnO₂ na kinetiku vulkanizacii zhidkih tiokolov [Effect of ions Fe (III) in the composition MnO₂ vulcanization kinetics liquid thiokols] //Клеи. Герметики. Технологии. 2009. №4. S. 28–30.
5. Zajceva E.I., Chursova L.V. Issledovanie mikrobiologiceskoj stojkosti polisul'fidnogo germetika s novymi antisepticeskimi dobavkami [Study of microbiological resistance polysulfide sealant with new antiseptic additives] //Клеи. Герметики. Технологии. 2012. №1. S. 16–20.
6. Zajceva E.I., Donskoj A.A. Sealants Based on Polysulfide Elastomers //Polymer Science. Ser. S. 2008. V. 1. P. 15–25.
7. Zajceva E.I., Donskoj A.A. Герметики на основе полисульфидных эластомеров [Sealants based on polysulfide elastomers] //Клеи. Герметики. Технологии. 2008. №6–7. S. 15–25.
8. Zajceva E.I., Donskoj A.A. Novye polisul'fidnye germetiki dlja aviacionnoj promyshlennosti [New polysulfide sealants for the aviation industry] //Клеи. Герметики. Технологии. 2009. №3. S. 18–23.

9. Zajceva E.I., Donskoj A.A. Novye polisul'fidnye germetiki dlja aviacionnoj promyshlennosti [New polysulfide sealants for the aviation industry] /V sb. Trudov «Har'kovskaja nanotehnologicheskaja asociacija–2008». 2008. S. 191–200.
10. Petrova A.P., Donskoj A.A. Klejashhie materialy, germetiki [Adhesives, Sealants]: Spravochnik. SPb.: NPO «Professional». 2008. S. 503–567.
11. Edward M. Petrie Handbook of Adhesives and Sealants. New York. 2000. P. 14–23.
12. Sidney H. Goodman Epoxy Resins. New York. 2002. P. 19–28.
13. Minkin V.S., Suhanov P.P., Averko-Antonovich L.A., Dzhanbekova L.R. Stroenie i vulkanizacija polisul'fidnyh oligomerov [Structure and curing polysulfide oligomers] //Kauchuk i rezina. 1994. №1. S. 14–19.
14. Muhutdinov M.A., Hakimullin Ju.N., Gubajdulin L.Ju., Liakumovich A.G. Modificirovannye tiokolovye germetiki s uluchshennymi adgezionnymi svojstvami [Modified Thiokol sealants with improved adhesion properties] //Kauchuk i rezina. 1998. №3. S. 6–8.
15. Nizkovjazzkaja silikonovaja kompozicija [Low-viscosity silicone composition]: pat. 2356117 Ros. Federacija; opubl. 20.06.2007.
16. Mendeleeva G.A., Porfil'eva R.T., Gerasimov V.V., Efimova V.A. Tehnologii i svojstva polisul'fidnogo materiala, modificirovannogo organometallofosfatnymi soedinenijami [Technology and material properties of the polysulfide, modified organometallic-phosphate compounds] //Vestnik kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. 2009. №3. S. 18–22.
17. Kurbangoleeva A.R., Petlina I.A., Hakimullin Ju.N. Vlijanie napolnitelej na svojstva tiokolovyh germetikov [Effect of fillers on the properties of Thiokol sealants] //Vestnik kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. 2011. №18. S. 86–89.
18. Kablov E.N. Aviakosmicheskoe materialovedenie [Aerospace Materials] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravochnik. 2008. №3. S. 2–14.
19. Sostav dlja zashhitnogo pokrytija [Ingredients for the protective coating]: pat. 2334158 Ros. Federacija; opubl. 19.12.2006.
20. Savenkova A.V., Chursova L.V., Eliseev O.A., Shragin D.I., Kopylov V.Ja., Glazov P.A. Vosstanovlenie tehnologii izgotovlenija teplomorozostojkih germetikov na osnove kremnijor-ganicheskikh kauchukov, sintezirovannyh po novym promyshlennym tehnologijam [Restoring production technology teplomorozostoykih sealants based on silicone rubber, synthesized by the new technologies industrial] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №4. S. 25–31.

21. Chursova L.V., Kim M.A., Panina N.N., Shvecov E.P. Nanomodificirovannoe jepoksidnoe svjazujushhee dlja stroitel'noj industrii [Nanomodified epoxy binder for the construction industry] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №1. S. 40–47.
22. Novakov I.A., Nistratov A.V., Frolova V.I. i dr. Issledovanie struktury i svojstv materialov na osnove kompozicij polisul'fidnyj oligomer–polimerizacionnosposobnoe soedinenie [Investigation of the structure and properties of materials based on compositions polysulfide oligomer-polymerizable compound] //Plasticheskie massy. 2011. №1. S. 3–8.
23. Novakov I.A., Nistratov A.V., Frolova V.I. i dr. Osobennosti poluchenija materialov na os-nove kompozicij polisul'fidnyj oligomer–polimerizacionnosposobnoe soedinenie, otverzhdajemyh v prisutstvii oksida marganca [Peculiarities of materials based on the compositions of the polysulfide oligomer-polymerizable compound is cured in the presence of manganese oxide] //Klei. Germetiki. Tehnologii. 2011. №10. S. 6–12.
24. Zajceva E.I., Chursova L.V., Smirnov D.N. Perspektivy snizhenija plotnosti polisul'fidnyh germetikov [Prospects for reducing the density of polysulfide sealants] //Klei. Germetiki. Tehnologii. 2012. №5. S. 10–14.
25. Karimova S.A., Pavlovskaja T.G. Razrabotka sposobov zashhity ot korrozii konstrukcij, rabotajushhijh v uslovijah kosmosa [Development of methods of corrosion protection structures operating in the space environment] //Trudy VIAM. 2013. №4. St. 02 (viam-works.ru).