

УДК 621.792

О.А. Елисеев¹, Я.А. Брык¹, Д.Н. Смирнов¹**МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ ГЕРМЕТИКОВ
ИНГИБИТОРАМИ КОРРОЗИИ**

DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-S2-15-21

Изучены защитные свойства полисульфидных герметиков (после выдержки в камере тропиков, камере солевого тумана и после погружения в воду на длительное время), в том числе содержащих в своем составе ингибиторы коррозии. Определено влияние введения ингибиторов коррозии на физико-механические, адгезионные и технологические свойства полисульфидных герметиков. Оценены сроки хранения полисульфидных герметиков с ингибиторами коррозии. Проведено исследование защитных свойств герметиков методами электрохимии. Наиболее высокими защитными свойствами обладает композиция на основе полисульфидного герметика ВИТЭФ-2НТ с увеличенным содержанием бихромата натрия. Герметик может быть рекомендован для поверхностной и внутришовной герметизации крепежных элементов конструкций.

Ключевые слова: полисульфидные каучуки, тиокол, герметики, жизнеспособность, агрессивная среда, адгезионная прочность, условная прочность, относительное удлинение, твердость, ингибиторы коррозии.

Protective properties of polysulfide sealants including the sealants containing corrosion inhibitors were investigated after tropic chamber aging, salt spray chamber and after long-term water immersion. The influence of corrosion inhibitors introduction on polysulfide sealants physical, mechanical, adhesive and technological properties was studied. The storage time of the polysulfide sealants with corrosion inhibitors were evaluated. The study of sealants protective properties was performed by methods of electrochemistry. The highest protective properties were determined for the composition VITEF-2HT based on polysulfide sealant with increased level of sodium bichromate. The sealant may be recommended for superficial and interseam sealing of structures fastening elements.

Keywords: polysulfide rubber, thiokol, sealants, vitality, aggressive environment, the adhesive strength, tensile strength, elongation, tear, corrosion inhibitors.

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

Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 17.7. «Лакокрасочные материалы и покрытия на полимерной основе» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1].

Для герметизации планеров летательных аппаратов, кессон-баков, остекления и др. широкое применение нашли материалы на основе полисульфидных олигомеров (ПСО). Полисульфидные каучуки (тиоколы) принадлежат к группе каучуков специального назначения. В отличие от других классов высокомолекулярных соединений в тиоколах присутствуют полисульфидные группы, а количество связанной серы в них зависит от строения мономерного звена.

Благодаря ненасыщенной углеводородной структуре и наличию серы, полисульфиды имеют ряд ценных свойств: стойкость к действию многих агрессивных сред (масел, нефтяных топ-

лив, кислот, щелочей), озона, солнечного света, радиации, а также обладают высокой газонепроницаемостью. Эти свойства обеспечили полисульфидным полимерам широкое применение в различных отраслях промышленности [2–5].

Среди герметизирующих материалов на основе полисульфидных (тиоколовых) полимеров широкое применение нашли герметики типа ВИТЭФ-1НТ и У-30МЭС-5М, разработанные во ФГУП «ВИАМ».

Ранее на примере герметика У-30МЭС-5М были изучены возможность введения в его состав водорастворимых хроматов и фосфатов и влияние различных ингибиторов на технологические, физико-механические, адгезионные и эксплуатационные характеристики герметика с получением положительных практических результатов.

В связи с этим представляло интерес дальнейшее изучение эффектов от введения в состав полисульфидных герметиков различных ингиби-

торов коррозии с целью повышения защитных свойств герметиков [6–8].

Основными зонами использования ингибированного герметика являются:

- зазоры в соединениях конструкции, выходящие на наружный контур изделия;
- установка крепежа, в основном заклепок из алюминиевого сплава.

Следует отметить, что герметик У-30МЭС-5М не является наиболее подходящим среди полисульфидных герметиков для этих целей. Он имеет черный цвет, который нежелателен при выходе на наружные контуры изделия. Свойственная ему тиксотропность затрудняет использование герметика при установке крепежа [9–12].

Для указанных ранее целей наибольший интерес представляют герметики типа ВИТЭФ-1НТ, обладающие пастообразной консистенцией. Для постановки крепежа подходит вязкотекучий герметик ВИТЭФ-2НТ. С учетом того, что эти герметики по составу значительно отличаются от герметика У-30МЭС-5М, было необходимо изучить возможность введения ингибиторов коррозии в состав герметиков этого типа и оценить их влияние на свойства материала.

Таким образом, целевой установкой данной работы являлось повышение защитной способности герметиков на основе жидкого тиокола путем введения в их состав ингибиторов коррозии алюминиевых сплавов и оценка защитных свойств герметиков с ингибитором коррозии и без него [13].

Материалы и методы

В качестве основы полисульфидных герметиков используют жидкие тиоколы (ГОСТ 12812–80), которые представляют собой подвижные жидкости медообразной консистенции от светлого до темного янтарного цвета плотностью 1400–1800 кг/м³ со слабым запахом, присущим меркаптанам. Они совместимы в любых соотношениях с хлорированными и ароматическими углеводородами, частично смешиваются с кетонами и сложными эфирами уксусной кислоты, абсолютно не смешиваются с керосином, спиртами, глицерином и глицолями. Получаемые на основе жидких тиоколов герметики в невулканизованном состоянии имеют пастообразную, тиксотропную или вязкотекучую консистенцию и могут быть окрашены в любой цвет за счет введения красителей и пигментов.

Вулканизация жидких тиоколов происходит в результате окисления меркаптановых групп с образованием дисульфидных связей –S–S–. В качестве окислителей применяют различные доноры кислорода, способные взаимодействовать с подвижным атомом водорода группы SH [14]. В качестве вулканизирующих агентов могут быть использованы неорганические перекиси или диоксиды, оксиды металлов, бихроматы, хлораты, нитраты щелочных металлов, органические перекиси,

диизоцианаты, диэпоксиды и др. Наиболее распространенные вулканизирующие агенты – это неорганические перекиси и диоксиды, в частности диоксиды марганца и свинца. Активаторами вулканизации с диоксидом свинца являются сера, ацетат магния, дифенилгуанидин и о-толуолгуанидин.

Вулканизация жидких тиоколов протекает при комнатной и более низких температурах и, как правило, сопровождается выделением воды. В щелочной среде, а также в условиях высоких влажности и температуры вулканизация ускоряется.

Вулканизаты жидкого тиокола как наполненные, так и ненаполненные, плохо крепятся к металлам, стеклу, пластмассам и другим субстратам. Поэтому их применяют либо с клевыми подслоями, либо с целью повышения адгезии в их состав вводят фенольные и эпоксидные смолы, а также винилиденхлорид, хлорированные каучуки и аминосиланы.

Герметики ВИТЭФ-1НТ и ВИТЭФ-2НТ имеют схожие составы, различаясь, главным образом, количественным содержанием бихромата натрия, который, как известно, является также ингибитором коррозии [15].

В герметике ВИТЭФ-1НТ содержится в 6 раз меньше бихромата натрия, чем в герметике ВИТЭФ-2НТ. Приготовили промежуточный вариант герметика, с индексом ВИТЭФ-1-2, расчетное содержание бихромата натрия в котором в 3 раза меньше, чем в герметике ВИТЭФ-2НТ.

С учетом близости состава этих герметиков допускаем, что влияние ингибиторов коррозии на их свойства также будет одинаковым. Поэтому представлялось целесообразным изучить влияние ингибиторов на свойства герметиков типа ВИТЭФ на примере материала ВИТЭФ-1НТ, содержащего наименьшее количество бихромата натрия.

Ранее установлено, что введение фосфатов в состав герметика У-30МЭС-5М ухудшает его защитные свойства, поэтому в данной работе фосфаты не исследовали. В качестве ингибиторов коррозии изучали следующие хроматы:

- хромат стронция (SrCrO_4) с растворимостью в воде 0,8 г/л;
- основной хромат цинка ($\text{ZnCrO}_4 \cdot 3\text{Zn}(\text{OH})_2$) с растворимостью в воде 0,4–0,6 г/л;
- хромат бария (BaCrO_4) с растворимостью в воде 0,005 г/л.

Указанные хроматы вводили по отдельности в герметизирующую пасту ТФ-1 (основу герметиков типа ВИТЭФ) в количестве 4 мас. ч. на 100 мас. ч. пасты. Следует отметить, что необходимо было обеспечить их равномерное распределение по всей массе герметизирующей пасты.

В данной работе изучали:

- возможность длительного хранения ингибиторов в составе герметизирующей пасты;
- влияние ингибиторов на технологические (жизнеспособность, вулканизуемость), физико-

механические и адгезионные свойства, а также на водостойкость и тропикостойкость герметика.

С целью исследования защитных свойств герметиков и эффективности введения в герметик ВИТЭФ-1НТ ингибиторов коррозии проведены сравнительные коррозионные испытания образцов из неплакированного сплава Д16-Т с нанесенными герметиками.

Специальным резаком слои герметика крестообразно надрезали до металла; ширина надрезов составляла 0,7–1 мм. Образцы испытывали в камере с разбрызгиванием 3,5%-ного раствора хлористого натрия при влажности 98% и температуре $35 \pm 2^\circ\text{C}$. Изменения вида поверхности в надresaх отмечали через 20–35 сут экспозиции. Через 60 сут образцы осматривали с помощью микроскопа при увеличении $\times 10$. Затем продукты коррозии удаляли в растворе, содержащем 200 г/л фосфорной кислоты и 80 г/л хромового ангидрида.

Кроме того, для оценки защитных свойств герметиков с добавками ингибиторов проводили электрохимические исследования с использованием потенциостата. Определяли стационарный потенциал и снимали анодные поляризационные кривые сплава Д16-Т в различных растворах. Исследуемые растворы можно разделить на две группы. К *первой группе* относятся растворы, приготовленные путем выдержки образцов герметика, нарезанного тонкими полосками, в дистиллированной воде при постоянной температуре 60°C в течение 60 сут. После этого раствор отделяли от герметика и при необходимости доводили его объем до 100 мл. Таким образом получили водные вытяжки из следующих герметиков: ВИТЭФ-2НТ, ВИТЭФ-1-2, ВИТЭФ-1НТ, а также ВИТЭФ-1НТ с различными ингибиторами коррозии – $\text{ZnCrO}_4 \cdot 3\text{Zn}(\text{OH})_2$, SrCrO_4 и BaCrO_4 .

Необходимо отметить, что герметики ВИТЭФ-2НТ и ВИТЭФ-1-2 значительно набухли при приготовлении водных вытяжек, тогда как герметик ВИТЭФ-1НТ не изменился в объеме.

Вторую группу растворов приготавливали путем добавления хромовых солей в дистиллированную воду с использованием в качестве фона 0,02%-ного NaCl:

- фон+2,5% $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$;
- фон+2,5% $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{ZnCrO}_4$;

– фон+ ZnCrO_4 .

Испытания физико-механических и технологических свойств образцов вулканизатов проводили в соответствии с ГОСТ 21751–76, ГОСТ 263–75 и ГОСТ 21981–76.

Результаты

В табл. 1 показаны жизнеспособность, механические характеристики и адгезия к анодированному сплаву Д16 после вулканизации в течение 7 сут при комнатной температуре герметика ВИТЭФ-1НТ без дополнительного ингибитора и с добавлением различных хроматов, а также для сравнения – свойства герметиков ВИТЭФ-2НТ и ВИТЭФ-1-2.

Из полученных данных видно, что все исследованные хроматы практически не влияют на технологические свойства герметика ВИТЭФ-1НТ и несколько увеличивают его прочность, снижая при этом относительное удлинение.

В табл. 2 и 3 приведены сравнительные свойства герметика ВИТЭФ-1НТ без ингибитора и с различными хроматами после длительной выдержки в воде и камере тропиков.

Данные, представленные в табл. 2 и 3, свидетельствуют о том, что хроматы не оказывают существенного влияния на герметик ВИТЭФ-1НТ при длительном воздействии воды и условий камеры тропиков.

В табл. 4 показано водопоглощение различных герметизирующих композиций, исследованных в данной работе.

В табл. 5 представлены жизнеспособность, физико-механические свойства и адгезия к алюминевому анодированному сплаву Д16 герметика ВИТЭФ-1НТ и его модификаций с различными ингибиторами коррозии после 3 и 7 мес хранения герметизирующих паст.

Полученные данные свидетельствуют о том, что при длительном хранении герметизирующей пасты, содержащей хроматы стронция и бария, вулканизуемость герметика ухудшается, на поверхности герметика несколько суток сохраняется липкость. Хромат цинка не оказывает отрицательного влияния на конечные свойства герметика.

С целью исследования защитных свойств герметиков и эффективности введения в герметик

Таблица 1

Свойства герметиков

Герметик	Ингибитор	Жизнеспособность, ч	Прочность, МПа	Относительное удлинение, %	Твердость по Шору А, усл. ед.	Адгезия, кгс/см
ВИТЭФ-1НТ	Без ингибитора	5	3,15	153	60	3,0
	BaCrO_4	5,2	3,85	146	60	2,8
	SrCrO_4	5,5	3,28	130	61	2,9
	$\text{ZnCrO}_4 \cdot 3\text{Zn}(\text{OH})_2$	4,5	3,50	145	65	3,1
ВИТЭФ-2НТ	Без ингибитора	4	2,88	200	64	3,6
ВИТЭФ-1-2	То же	2	3,45	110	76	3,8

Таблица 2

**Влияние ингибиторов коррозии на свойства герметика ВИТЭФ-1НТ
при длительной выдержке в воде**

Свойства	Значения свойств герметика с ингибитором			
	без ингибитора	SrCrO ₄	BaCrO ₄	ZnCrO ₄ ·3Zn(OH) ₂
В исходном состоянии				
Прочность, МПа	3,15	3,28	3,85	3,5
Относительное удлинение, %	153	130	146	145
Твердость по Шору А, усл. ед.	60	61	60	65
После воздействия воды в течение 2 мес				
Прочность, МПа	2,24	1,89	1,91	1,86
Относительное удлинение, %	170	120	130	100
Твердость по Шору А, усл. ед.	63	62	63	63
После воздействия воды в течение 3 мес				
Прочность, МПа	2,23	2,0	2,05	1,95
Относительное удлинение, %	130	120	130	120
Твердость по Шору А, усл. ед.	63	63	62	60

Таблица 3

Влияние ингибиторов коррозии на свойства герметика ВИТЭФ-1НТ в камере тропиков

Свойства	Значения свойств герметика с ингибитором			
	без ингибитора	SrCrO ₄	BaCrO ₄	ZnCrO ₄ ·3Zn(OH) ₂
В исходном состоянии				
Условная прочность, МПа	3,15	3,28	3,85	3,5
Относительное удлинение, %	153	130	146	145
Твердость по Шору А, усл. ед.	60	61	60	65
Адгезия, кгс/см	3,0	2,9	2,9	3,1
После выдержки в течение 2 мес в камере тропиков				
Условная прочность, МПа	2,94	2,75	2,73	2,98
Относительное удлинение, %	150	120	130	110
Твердость по Шору А, усл. ед.	66	66	67	69
Адгезия, кгс/см	2,8	2,9	2,9	3,2
После выдержки в течение 3 мес в камере тропиков				
Условная прочность, МПа	2,67	2,78	2,67	2,96
Относительное удлинение, %	130	140	120	110
Твердость по Шору А, усл. ед.	67	65	67	67
Адгезия, кгс/см	2,9	2,6	3,2	3,1

Таблица 4

Водопоглощение герметизирующих композиций

Герметик	Ингибитор	Изменение массы, %, в течение, сут							
		2	3	4	6	8	11	15	60
ВИТЭФ-1НТ	Без ингибитора	2,2	3,2	–	5,0	8,2	10,7	11,6	–
	BaCrO ₄	2,7	3,9	–	6,2	–	9,2	–	16,6
	SrCrO ₄	1,8	2,7	–	4,6	–	7,2	–	13,9
	ZnCrO ₄ ·3Zn(OH) ₂	2,5	3,5	–	5,6	–	8,2	–	15,2
ВИТЭФ-2НТ	Без ингибитора	11,9	–	26,4	–	48	–	78	220
ВИТЭФ-1-2	То же	7,3	–	14,3	–	22,7	–	33	75

Таблица 5

Водопоглощение герметизирующих композиций

Свойства	Значения свойств герметика с ингибитором			
	без ингибитора	SrCrO ₄	BaCrO ₄	ZnCrO ₄ ·3Zn(OH) ₂
В исходном состоянии				
Жизнеспособность, ч	5	5	5	4
Условная прочность, МПа	3,15	3,85	3,28	3,50
Относительное удлинение, %	133	146	130	145
Твердость по Шору А, усл. ед.	60	60	62	65
Адгезия, кгс/см	3,0	2,9	2,9	3,1
После 3 мес хранения				
Жизнеспособность, ч	5	5	5	5
Условная прочность, МПа	3,55	3,75	3,60	3,51
Относительное удлинение, %	170	150	140	138
Твердость по Шору А, усл. ед.	70	71	71	70
Адгезия, кгс/см	2,9	2,9	2,8	2,9
После 7 мес хранения				
Жизнеспособность, ч	5	5	5	5
Условная прочность, МПа	1,31	6,2	8,4	22,4
Относительное удлинение, %	300	346	267	200
Твердость по Шору А, усл. ед.	50	25	42	57
Адгезия, кгс/см	3,0	2,9	3,1	3,1

Таблица 6

Состояние поверхности сплава Д16-Т в надрезе по герметикам после выдержки в камере солевого тумана

Герметик	Слой	Время до появления коррозии, сут	Вид поверхности после 60 сут	
			до снятия продуктов коррозии	после снятия продуктов коррозии
У-30МЭС-5М	Толстый	35	Вся поверхность покрыта продуктами коррозии	Язвенная коррозия
	Тонкий	35	Вся поверхность покрыта более толстым слоем продуктов коррозии	Отдельные язвы, питтинги
ВИТЭФ-2НТ	Толстый	35	Продукты коррозии на отдельных участках	Питтинг
	Тонкий	35		
ВИТЭФ-1-2	Толстый	35	Незначительное количество продуктов коррозии	Отдельные неглубокие язвы
	Тонкий	35		
ВИТЭФ-1НТ	Толстый	35	Значительное количество продуктов коррозии	Питтинг
	Тонкий	20–24		
ВИТЭФ-1НТ с ингибитором ZnCrO ₄ ·3Zn(OH) ₂	Толстый	35	Продукты коррозии на отдельных участках	Сильная равномерная коррозия
	Тонкий	35		Язвенная коррозия
ВИТЭФ-1НТ с ингибитором SrCrO ₄	Толстый	35	Незначительное количество продуктов коррозии	Язвы, питтинги
	Тонкий	35		
ВИТЭФ-1НТ с ингибитором BaCrO ₄	Толстый	35	Незначительное количество продуктов коррозии	Язвы, питтинги
	Тонкий	20		

ВИТЭФ-1НТ ингибиторов коррозии проведены сравнительные коррозионные испытания образцов из неплакированного сплава Д16-Т с нанесенными на него герметиками. Результаты осмотра образцов приведены в табл. 6.

На свободной от герметика поверхности образцов очень сильная коррозия наблюдалась через 10 сут. Проведенные испытания показали, что все испытанные герметики обладают защитными свойствами. Наиболее высокими защитными свойствами обладают герметики ВИТЭФ-2НТ и ВИТЭФ-1-2. Введение хроматных ингибиторов коррозии в герметик ВИТЭФ-1НТ не повысило его защитных свойств.

Путем проведенного исследования с использованием потенциостата установлено, что стационарный потенциал сплава Д16-Т в фоновом растворе и в растворе, содержащем $ZnCrO_4$, находится в области пробы. В растворах, содержащих хорошо растворимую соль $Na_2Cr_2O_7$, стационарный потенциал находится в области пассивности. Стационарный потенциал водных вытяжек герметиков ВИТЭФ-2НТ, ВИТЭФ-1-2 и ВИТЭФ-1НТ с ингибитором $SrCrO_4$ находится в переходной области, а стационарный потенциал водных вытяжек из герметиков ВИТЭФ-1НТ и ВИТЭФ-1НТ с ингибитором $BaCrO_4$ находится в области пробы.

Электрохимические измерения подтвердили эффективность применения растворимого ингибитора коррозии – бихромата натрия и малую эффективность (при непродолжительных сроках эксплуатации) малорастворимых хроматных ингибиторов коррозии.

Обсуждение и заключения

Исследована возможность введения в состав герметика ВИТЭФ-1НТ в качестве ингибиторов коррозии хроматов стронция, цинка и бария. Изучено влияние указанных ингибиторов на технологические, физико-механические и адгезионные свойства герметика ВИТЭФ-1НТ. Показано, что они практически не ухудшают исходных характеристик герметика ВИТЭФ-1НТ.

Исследовано влияние ингибиторов коррозии на устойчивость герметика ВИТЭФ-1 при длительной выдержке в воде и камере тропиков. Установлено, что все исследованные ингибиторы не оказывают существенного влияния на водостойкость и тропикостойкость герметика ВИТЭФ-1НТ.

Изучено влияние длительного хранения хроматов стронция, бария и цинка в составе герметизирующей пасты ТФ-1 на технологические и физико-механические свойства герметика ВИТЭФ-1НТ. Показано, что содержание хроматов в герметизирующей пасте приводит к некоторому замедлению вулканизации герметика.

Изучены защитные свойства герметиков У-30МЭС-5М, ВИТЭФ-2НТ, ВИТЭФ-1-2 и ВИТЭФ-1НТ, содержащих ингибиторы и без них. Исследована эффективность дополнительного введения ингибиторов коррозии в герметик ВИТЭФ-1НТ. Установлено, что все герметики обладают защитными свойствами. Лучший защитный эффект достигнут при использовании герметиков ВИТЭФ-2НТ и ВИТЭФ-1-2.

Добавки малорастворимых хроматов при испытаниях выбранным методом не дали положительного результата.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении // *Российский химический журнал*. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
3. Каблов Е.Н. Шестой технологический уклад // *Наука и жизнь*. 2010. №4. С. 2–7.
4. История авиационного материаловедения. ВИАМ – 80 лет: годы и люди / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2012. С. 146–148.
5. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №S. С. 231–242.
6. 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. №S. С. 309–314.
7. Минкин В.С., Хакимуллин Ю.Н., Дебердеев Т.Р., Берлин Ал. Ал. Влияние ионов Fe (III) в составе MnO_2 на кинетику вулканизации жидких тиоколов // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2009. №4. С. 28–30.
8. Зайцева Е.И., Чурсова Л.В. Исследование микробиологической стойкости полисульфидного герметика с новыми антисептическими добавками // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2012. №1. С. 16–20.
9. Zaitseva E.I., Donskoi A.A. Sealants Based on Polysulfide Elastomers // *Polymer Science. Ser. C*. 2008. Vol. 1. P. 15–25.
10. Зайцева Е.И., Донской А.А. Герметики на основе полисульфидных эластомеров // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2008. №6–7. С. 15–25.

-
11. Зайцева Е.И., Донской А.А. Новые полисульфидные герметики для авиационной промышленности // Клеи. Герметики. Технологии. 2009. №3. С. 18–23.
 12. Петрова А.П., Донской А.А. Клеящие материалы. Герметики: справочник. СПб.: Профессионал, 2008. С. 503–567.
 13. Зайцева Е.И., Чурсова Л.В., Смирнов Д.Н. Перспективы снижения плотности полисульфидных герметиков // Клеи. Герметики. Технологии. 2012. №5. С. 10–14.
 14. Мудров О.А., Савченко И.М., Шитов В.С. Герметики на основе жидких тиоколов: справочник по эластомерным покрытиям и герметикам в судостроении. Л.: Судостроение, 1982. С. 112–124.
 15. Каримова С.А., Павловская Т.Г. Разработка способов защиты от коррозии конструкций, работающих в условиях космоса // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2013. №4. Ст. 02. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.08.2016).