

УДК 620.1:621.792

А.М. Чайкун<sup>1</sup>, М.А. Венедиктова<sup>1</sup>, Д.Н. Смирнов<sup>1</sup>, Д.М. Герасимов<sup>1</sup>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ФАКТОРОВ НА ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ АВИАЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-2-58-67

*Исследовано влияние атмосферных факторов на свойства различных типов герметизирующих материалов после старения в различных климатических зонах. Проведена оценка физико-механических характеристик герметизирующих материалов после старения в условиях МЦКИ, ГЦКИ, штатов США – Флорида и Аризона, климатических площадок Вьетнама. Рассмотрены основные особенности климатического старения различных типов герметизирующих материалов. Проведена оценка структурных изменений герметизирующих материалов в результате климатического воздействия.*

**Ключевые слова:** герметизирующие материалы, тиоколовые герметики, фторсилоксановые герметики, силоксановые герметики, климатическое старение, атмосферостойкость, физико-механические характеристики.

A.M. Chaykun<sup>1</sup>, M.A. Venediktova<sup>1</sup>, D.N. Smirnov<sup>1</sup>, D.M. Gerasimov<sup>1</sup>

## FEATURES OF THE INFLUENCE OF ATMOSPHERIC FACTORS ON THE MAIN TECHNICAL CHARACTERISTICS OF SEALING MATERIALS OF VARIOUS TYPES OF AVIATION PURPOSES

*The paper research the influence of atmospheric factors on the properties of various types of sealing materials after aging in various climatic zones. The evaluation of the physic mechanical characteristics of the sealing materials after aging under the conditions of the MSCI, GCCI, states of USA – Florida and Arizona, climatic sites of Vietnam. The main features of climatic aging of sealing materials of various types are considered. An assessment of structural changes in sealing materials as a result of climate exposure has been carried out.*

**Keywords:** sealing materials, thiokol sealants, fluorsiloxane sealants, siloxane sealants, climatic aging, weather resistance, physic mechanical characteristics.

---

<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

### Введение

Исследование процессов старения материалов при комплексном воздействии внешних факторов является сложной научной и практической задачей, от решения которой зависит безопасность эксплуатации технических изделий и сложных технических систем в авиации, космонавтике, на транспорте и объектах энергетической инфраструктуры [1–2]. При интенсификации процесса эксплуатации авиационной техники предъявляются не только особые требования к материалам, но и ставится задача обеспечения надежности и предсказуемости работы не только изделия в целом, но и его агрегатов и составных частей. Для этого необходимо знать не только свойства материалов,

но и прогнозировать их изменение в условиях, максимально приближенных к многофакторному комплексному воздействию реальных эксплуатационных факторов [3–7].

Герметизирующие материалы (герметики) применяются в самых различных областях техники, во многом обеспечивая работоспособность конструктивных элементов и узлов самолетов, вертолетов, космической техники, топливных отсеков и кессонов, водонепроницаемых перегородок, трубопроводов, химических аппаратов и т. п. [8–11]. В отличие от других классов полимерных уплотнительных материалов герметики применяются не только в качестве полностью готовых к применению изделий, но и в виде жидкотекучих и пастообразных масс, распределяемых при помощи достаточно простых технологических операций в зонах швов или в зазорах, которые после технологической выдержки переходят в резиноподобное состояние. Они обеспечивают герметичность в условиях воздействия перепадов давлений, переменных температур, нагрузок и т. д. От устойчивости герметиков зависит стабильность работы и долговечность ответственных узлов авиационной техники. Поэтому исследование поведения герметиков после старения в естественных условиях в различных климатических зонах представляется актуальным.

В работе исследовано влияние атмосферных факторов на свойства герметиков после старения в различных климатических зонах. Проведена оценка физико-механических характеристик после старения в условиях умеренного климата МЦКИ, умеренного теплого климата приморской зоны ГЦКИ, пустынного (Аризона), субтропического (Флорида) климата США и тропического климата (климатические зоны Вьетнама).

Работа выполнена в рамках реализации комплексной научной проблемы 15.2. «Эластомерные и уплотнительные материалы» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [12–14].

### Материалы и методы

Объектами исследования в данной работе являлись герметики различного химического строения: полисульфидные герметики ВИТЭФ-1Б (ТУ1-595-53-633–2001) и ВГМ-Л (ТУ1-595-28-934–2009), силоксановый герметик ВИКСИНТ У-20-99 (ТУ1-595-53-614–2000) и топливостойкий фторсилоксановый герметик ВГФ-2М (ТУ1-595-28-1099–2009) [15–18]. Выбор герметиков объясняется их массовым применением в изделиях авиационной техники.

Для проведения испытаний изготавливали стандартные образцы в виде пластин по режиму отверждения согласно нормативной документации на соответствующий материал.

Образцы герметизирующих материалов испытывали на старение в свободном состоянии при воздействии естественных климатических факторов в соответствии с требованиями ASTM G7/G7M–11, ISO 877 и ISO 2810. Испытания проводили в различных климатических зонах: умеренного климата МЦКИ, умеренного теплого климата приморской зоны ГЦКИ, пустынного (Аризона), субтропического (Флорида) климата США и тропического климата (климатические станции Вьетнама).

Стойкость к климатическому старению оценивали по изменению физико-механических показателей герметиков. Упруго-прочностные характеристики определяли по ГОСТ 21751–76, твердость по Шору А – по ГОСТ 263–75.

### Результаты и обсуждение

Результаты исследования свойств герметиков после их выдержки на открытой площадке в течение 36 мес в зоне умеренного климата МЦКИ представлены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства герметиков различных типов после климатических испытаний в МЦКИ

Герметик	Свойства	Значения свойств для образцов	
		в исходном состоянии	после климатических испытаний*
ВИТЭФ-1Б	Условная прочность при растяжении, МПа	2,0	<u>1,9–2,3</u> 2,1
	Относительное удлинение при разрыве, %	180	<u>65–95</u> 82
	Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	0	0
	Твердость по Шору А, усл. ед.	55	70
ВГМ-Л	Условная прочность при растяжении, МПа	3,5	<u>2,5–3,1</u> 2,9
	Относительное удлинение при разрыве, %	190	<u>111–120</u> 116
	Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	6	0
	Твердость по Шору А, усл. ед.	61	80
ВИКСИНТ У-20-99	Условная прочность при растяжении, МПа	2,8	<u>2,3–4,2</u> 3,2
	Относительное удлинение при разрыве, %	225	<u>140–168</u> 153
	Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	1	0
	Твердость по Шору А, усл. ед.	42	57
ВГФ-2М	Условная прочность при растяжении, МПа	2,8	<u>2,0–2,5</u> 2,2
	Относительное удлинение при разрыве, %	110	<u>110–121</u> 116
	Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	1	0
	Твердость по Шору А, усл. ед.	53	61

\* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

Из данных табл. 1 видно, что выдержка герметика ВИТЭФ-1Б в климатической зоне МЦКИ практически не приводит к изменению прочности. Вместе с тем происходит существенное снижение относительного удлинения при разрыве. Одновременно наблюдается рост показателя твердости по Шору А. Описанные явления свидетельствуют о процессах старения полисульфидного герметика ВИТЭФ-1Б. Аналогичные тенденции наблюдаются при экспозиции герметика одинаковой химической природы ВГМ-Л.

Климатическое воздействие на силиконовый герметик ВИКСИНТ У-20-99 приводит к росту показателей прочности и твердости с одновременным снижением относительного удлинения. Это свидетельствует о протекании процессов деструкции, проявляющихся в меньшей степени по сравнению с тиоколовыми герметиками, что можно объяснить различием в структуре и химической природой полимерной матрицы.

После экспозиции герметика ВГФ-2М происходит падение прочности на 20% при сохранении относительного удлинения. При этом твердость по Шору А незначительно возрастает. Это подтверждает наличие в герметике деструктивных процессов средней интенсивности.

Результаты изменения свойств герметиков после климатического воздействия условий ГЦКИ на открытой площадке в течение 36 мес представлены в табл. 2.

Таблица 2

## Свойства герметиков различных типов после климатических испытаний в ГЦКИ

Герметик	Свойства	Значения свойств для образцов	
		в исходном состоянии	после климатических испытаний*
ВИГЭФ-1Б	Условная прочность при растяжении, МПа	2,0	<u>2,2–2,5</u> 2,4
	Относительное удлинение при разрыве, %	180	<u>70–85</u> 77
	Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	0	0
	Твердость по Шору А, усл. ед.	55	70
ВГМ-Л	Условная прочность при растяжении, МПа	3,5	<u>3,4–3,9</u> 3,6
	Относительное удлинение при разрыве, %	190	<u>120–125</u> 122
	Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	6	0
	Твердость по Шору А, усл. ед.	61	75
ВИКСИНТ У-20-99	Условная прочность при растяжении, МПа	2,8	<u>2,6–4,1</u> 3,3
	Относительное удлинение при разрыве, %	225	<u>140–180</u> 158
	Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	1	0
	Твердость по Шору А, усл. ед.	42	47
ВГФ-2М	Условная прочность при растяжении, МПа	2,8	<u>2,1–2,5</u> 2,3
	Относительное удлинение при разрыве, %	110	<u>110–116</u> 112
	Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	1	0
	Твердость по Шору А, усл. ед.	53	63

\* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

Из данных табл. 2 следует, что выдержка герметика ВИГЭФ-1Б в условиях ГЦКИ приводит к повышению прочности на 20%, сопровождающемуся значительным повышением показателя твердости по Шору А. Это свидетельствует о ярко выраженном старении, т. е. о дополнительном структурировании материала. Подобная тенденция наблюдается при испытаниях герметика аналогичной химической природы – полисульфидного материала ВГМ-Л. Сопоставление результатов табл. 1 и 2 показывает, что старение в условиях ГЦКИ в большей степени проявляется в дополнительном сшивании исследуемых герметиков. Причина наблюдаемого снижения эластичности и увеличения твердости заключается в увеличении плотности сшивки материала под действием УФ-излучения солнца, доза которого в Геленджике в 1,5 раза больше, чем в Москве. При этом наблюдается снижение показателя относительного остаточного удлинения, что также свидетельствует о дополнительном сшивании материала. Наблюдаемое при климатическом воздействии структурирование тиоколовых олигомеров может происходить как за счет образования сополимерных структур, так и новых связей по активным SH-группам [15].

Выдержка герметиков марок ВИКСИНТ У-20-99 и ВГФ-2М в условиях ГЦКИ приводит к результатам, аналогичным данным, приведенным в табл. 1.

Свойства герметиков после выдержки в климатической зоне штата Флорида (США) на открытой площадке в течение 36 мес представлены в табл. 3.

Свойства герметиков различных типов после климатических испытаний во Флориде

Герметик	Свойства	Значения свойств для образцов	
		в исходном состоянии	после климатических испытаний*
ВИТЭФ-1Б	Условная прочность при растяжении, МПа	2,0	<u>1,4–2,1</u> 1,8
	Относительное удлинение при разрыве, %	180	<u>41–68</u> 56
	Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	0	0
	Твердость по Шору А, усл. ед.	55	68
ВГМ-Л	Условная прочность при растяжении, МПа	3,5	<u>3,8–4,4</u> 4,1
	Относительное удлинение при разрыве, %	190	<u>92–103</u> 98
	Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	6	<u>3–4</u> 4
	Твердость по Шору А, усл. ед.	61	65
ВИКСИНТ У-20-99	Условная прочность при растяжении, МПа	2,8	<u>2,2–2,3</u> 2,3
	Относительное удлинение при разрыве, %	225	<u>80–100</u> 95
	Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	1	4
	Твердость по Шору А, усл. ед.	42	73
ВГФ-2М	Условная прочность при растяжении, МПа	2,8	<u>2,4–3,6</u> 2,9
	Относительное удлинение при разрыве, %	110	<u>120–140</u> 130
	Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	1	4
	Твердость по Шору А, усл. ед.	53	55

\* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

Из данных табл. 3 видно, что выдержка герметика ВИТЭФ-1Б в климатической зоне Флориды приводит к значительному снижению относительного удлинения с одновременным ростом показателя твердости по Шору А. Характер старения герметика ВИТЭФ-1Б в условиях воздействия субтропического климата отличается от изменения показателей после аналогичных испытаний в условиях МЦКИ и ГЦКИ. Это объясняется дополнительной деградацией полимерной матрицы в условиях влажного субтропического климата Флориды вследствие комплексного воздействия сорбированной влаги и температуры [3, 7, 19]. Подобные явления наблюдаются при климатических испытаниях в указанных условиях полимеров других типов [3]. Комплексное воздействие УФ-излучения и влаги для герметиков на основе полимеров различных типов сопровождается некоторым ростом показателя прочности. Это может быть связано с протеканием вторичных реакций, аналогичных полимеризации или поликонденсации [8]. Аналогичная картина наблюдается и при испытаниях полисульфидного герметика ВГМ-Л.

Воздействие условий климата Флориды на силиконовый герметик ВИКСИНТ У-20-99 приводит к падению прочности. Значительно уменьшается и относительное удлинение. Уровень твердости по сравнению с выдержкой в условиях МЦКИ и ГЦКИ также значительно выше. Это свидетельствует о возрастании степени деструкции под воздействием влажного субтропического климата Флориды.

При выдержке фторсилоксанового герметика ВГФ-2М во влажной климатической зоне Флориды наблюдается рост относительного удлинения при сохранении уровня показателей прочности и твердости по Шору А. Это свидетельствует об относительной устойчивости герметика ВГФ-2М после экспозиции в условиях влажного субтропического климата.

Свойства герметиков различных типов после климатических испытаний в штате Аризона (США) на открытой площадке в течение 36 мес представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Свойства герметиков различных типов после климатических испытаний в Аризоне**

Герметик	Свойства	Значения свойств для образцов	
		в исходном состоянии	после климатических испытаний*
ВИТЭФ-1Б	Условная прочность при растяжении, МПа	2,0	<u>2,0–2,2</u> 2,1
	Относительное удлинение при разрыве, %	180	<u>75–95</u> 83
	Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	0	4
	Твердость по Шору А, усл. ед.	55	71
ВГМ-Л	Условная прочность при растяжении, МПа	3,5	<u>3,6–3,9</u> 3,7
	Относительное удлинение при разрыве, %	190	<u>111–120</u> 116
	Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	6	4
	Твердость по Шору А, усл. ед.	61	68
ВИКСИНТ У-20-99	Условная прочность при растяжении, МПа	2,8	<u>2,3–2,6</u> 2,5
	Относительное удлинение при разрыве, %	225	<u>80–100</u> 95
	Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	1	3
	Твердость по Шору А, усл. ед.	42	73
ВГФ-2М	Условная прочность при растяжении, МПа	2,8	<u>1,6–2,3</u> 1,9
	Относительное удлинение при разрыве, %	110	<u>140–160</u> 145
	Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	1	4
	Твердость по Шору А, усл. ед.	53	48

\* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

Из данных табл. 4 следует, что прочность тиоколового герметика ВИТЭФ-1Б после испытаний в климатической зоне Аризоны практически не изменяется. При этом наблюдается существенное падение относительного удлинения. Одновременно значительно увеличиваются значения твердости по Шору А и относительного остаточного удлинения после разрыва. Это свидетельствует о протекании процессов старения за счет дополнительного структурирования материала. В случае старения герметика ВГМ-Л аналогичной природы подобные явления проявляются в несколько меньшей степени.

В случае воздействия климатических условий Аризоны на силоксановый герметик ВИКСИНТ У-20-99 наблюдается падение показателя относительного удлинения при одновременном росте твердости. Это свидетельствует о выраженных процессах

старения. Наблюдаемый характер изменения показателей близок к результатам климатических испытаний герметика ВИКСИНТ У-20-99 в условиях Флориды.

Испытания фторсилоксанового герметика ВГФ-2М в климатической зоне Аризоны показали некоторое снижение прочности и твердости по Шору А, а также рост относительного остаточного удлинения после разрыва и относительного удлинения при разрыве. Характер процессов старения фторсилоксанового герметика ВГФ-2М в условиях воздействия климатических условий Флориды и Аризоны идентичен.

В табл. 5 приведены свойства герметиков после их выдержки на открытой площадке в течение 12 и 20 мес в различных климатических зонах Вьетнама.

Таблица 5

**Свойства герметиков после экспозиции в условиях климатических площадок Вьетнама**

Герметик	Свойства	Значения свойств* для образцов						
		в исходном состоянии	после испытаний в климатической зоне в течение, мес					
			Дам Бай		Кон Зо		Хоа Лак	
			12	20	12	20	12	20
ВИТЭФ-1Б	Условная прочность при растяжении, МПа	2,0	<u>2,3–2,5</u> 2,4	<u>1,8–2,2</u> 2,0	<u>2,3–2,7</u> 2,5	<u>2,2–2,5</u> 2,3	<u>2,1–2,5</u> 2,3	<u>2,0–2,6</u> 2,3
	Относительное удлинение при разрыве, %	180	<u>70–80</u> 76	<u>60–65</u> 62	<u>80–85</u> 82	<u>65–75</u> 69	<u>60–70</u> 65	<u>64–70</u> 67
	Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	0	0	0	0	0	0	0
	Твердость по Шору А, усл. ед.	55	72	70	73	69	75	72
ВГМ-Л	Условная прочность при растяжении, МПа	3,5	<u>4,5–5,8</u> 5,0	<u>3,7–5,1</u> 4,8	<u>4,0–5,5</u> 4,9	<u>3,7–5,7</u> 4,4	<u>4,5–6,2</u> 4,8	<u>4,5–5,5</u> 4,4
	Относительное удлинение при разрыве, %	190	<u>123–145</u> 138	<u>120–138</u> 127	<u>133–127</u> 141	<u>110–125</u> 116	<u>127–139</u> 130	<u>105–115</u> 109
	Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	6	3	3	3	3	4	3
	Твердость по Шору А, усл. ед.	61	72	70	74	71	70	71
ВИКСИНТ У-20-99	Условная прочность при растяжении, МПа	2,8	<u>2,8–3,7</u> 3,4	<u>3,3–3,7</u> 3,5	<u>3,4–3,6</u> 3,5	<u>3,0–3,9</u> 3,3	<u>2,8–3,4</u> 3,1	<u>3,7–3,9</u> 3,8
	Относительное удлинение при разрыве, %	225	<u>147–168</u> 155	<u>148–152</u> 151	<u>140–160</u> 154	<u>140–152</u> 147	<u>137–142</u> 140	<u>152–160</u> 157
	Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	1	3	3	4	3	3	3
	Твердость по Шору А, усл. ед.	42	60	60	57	60	61	61
ВГФ-2М	Условная прочность при растяжении, МПа	2,8	<u>2,0–2,6</u> 2,2	<u>2,5–3,1</u> 2,7	<u>1,6–2,0</u> 1,8	<u>2,7–3,0</u> 2,8	<u>3,0–3,3</u> 3,1	<u>2,3–2,5</u> 2,4
	Относительное удлинение при разрыве, %	110	<u>50–70</u> 60	<u>50–70</u> 60	<u>50–70</u> 60	<u>50–70</u> 60	<u>50–70</u> 60	<u>80–90</u> 85
	Относительное остаточное удлинение после разрыва, %	1	1	1	1	1	1	1
	Твердость по Шору А, усл. ед.	53	75	75	76	72	76	62

\* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

Из данных табл. 5 следует, что после 12 мес экспозиции во всех климатических зонах Вьетнама наблюдается увеличение условной прочности при растяжении для герметиков ВГМ-Л, ВИКСИНТ У-20-99, ВИТЭФ-1Б, условная прочность герметика ВГФ-2М увеличивается только после 12 мес экспозиции в зоне Хоа Лак. Наибольшее повышение условной прочности при растяжении наблюдается при испытаниях герметика ВГМ-Л после экспозиции в зоне Дам Бай и достигает 43% от исходного значения. Увеличение срока экспозиции до 20 мес во всех климатических зонах Вьетнама приводит к некоторому снижению условной прочности при растяжении на величину до 17% от значения при выдержке в течение 12 мес.

Для герметика ВИКСИНТ У-20-99 после экспозиции в зонах Дам Бай и Хоа Лак условная прочность при растяжении продолжает расти при увеличении продолжительности экспозиции до 20 мес и превышает исходное значение на 32%. Для герметика ВГФ-2М в условиях зон Дам Бай и Кон Зо наблюдается падение условной прочности при растяжении на 23 и 34% соответственно после экспозиции в течение 12 мес. Увеличение срока экспозиции до 20 мес приводит к увеличению условной прочности при растяжении до уровня исходных значений.

После 20 мес экспозиции в условиях зоны Кон Зо условная прочность при растяжении герметика ВГМ-Л повышается на 26%, для ВИТЭФ-1 – на 15%, для ВИКСИНТ У-20-99 – на 17%, для ВГФ-2М – остается на уровне исходных значений. После 20 мес экспозиции в условиях зоны Хоа Лак условная прочность при растяжении герметика ВГМ-Л повышается на 26% от исходного значения, герметика ВИТЭФ-1Б – на 15%, герметика ВИКСИНТ У-20-99 – на 32%, а герметика ВГФ-2М – понижается на 14%.

После 12 мес экспозиции во всех исследуемых зонах для герметика ВГМ-Л относительное удлинение при разрыве снижается в среднем на 30%, после 20 мес – на 40% от исходного значения. Для герметика ВИТЭФ-1Б после 12 и 20 мес выдержки относительное удлинение при разрыве снижается на 66% от исходного значения. Для герметика ВИКСИНТ У-20-99 после 12 и 20 мес экспозиции относительное удлинение при разрыве снижается на 30–35%. Для герметика ВГФ-2М после 12 и 20 мес экспозиции относительное удлинение при разрыве снижается на 45%.

Относительное остаточное удлинение после разрыва для герметика ВГМ-Л в процессе экспозиции уменьшилось в среднем на 50%. Для прошедшего экспозицию герметика ВИТЭФ-1Б остаточное удлинение после разрыва отсутствует. Для герметика ВИКСИНТ У-20-99, наоборот, относительное остаточное удлинение после разрыва становится значимой величиной и в среднем становится равным 3%.

Для герметика ВГФ-2М после выдержки во всех климатических станциях Вьетнама относительное остаточное удлинение после разрыва осталось на уровне исходных значений.

Твердость по Шору А после 12 и 20 мес экспозиции увеличилась в среднем на 18% – для герметика ВГМ-Л, на 30% – для герметика ВИТЭФ-1Б, на 40% – для герметика ВИКСИНТ У-20-99, на 39% – для герметика ВГФ-2М. При испытаниях герметика ВГФ-2М после 20 мес экспозиции в условиях зоны Хоа Лак твердость по Шору А увеличилась на 17%, после 12 и 20 мес экспозиции в условиях зоны Дам Бай – на 42%.

### Заключения

На основании анализа полученных данных по естественному атмосферному старению в условиях умеренного теплого климата приморской зоны ГЦКИ, пустынного (Аризона) и субтропического (Флорида) климата США, тропического климата (климатические зоны Вьетнама) можно сделать следующие выводы:

- герметизирующие материалы различных типов подвергаются старению во всех исследуемых климатических зонах;
- характер изменения свойств герметиков после экспозиции в климатической зоне МЦКИ и ГЦКИ идентичен. Некоторое различие связано с увеличением плотности сшивки герметиков под действием УФ-излучения солнца, доза которого в Геленджике в 1,5 раза больше, чем в Москве;
- характер старения герметиков после выдержки в климатических зонах США совпадает для материалов близкого химического строения;
- после выдержки герметизирующих материалов в климатических зонах Вьетнама наблюдается увеличение твердости поверхности до 42% от исходной величины;

прочность при растяжении возрастает до 43% для герметика ВГМ-Л и снижается до 36% для герметика ВГФ-2М; относительное удлинение при разрыве герметика ВИТЭФ-1Б снижается на 30% от исходных показателей. Таким образом, все исследованные герметизирующие материалы проявили значительное ухудшение свойств после старения в условиях тропического климата на открытой площадке;

– наибольшее ухудшение физико-механических характеристик герметиков различного химического строения после выдержки на открытой площадке в различных климатических зонах наблюдается после экспозиции указанных материалов в тропическом климате Вьетнама;

– несмотря на выявленные после климатического старения деструктивные изменения структуры герметизирующих материалов различных типов, следует отметить, что в традиционных условиях эксплуатации герметики подвергаются воздействию солнечного излучения в значительно меньшей степени, чем в проведенных экспериментах [19].

### Благодарности

Авторы выражают благодарность за помощь в проведении данной работы сотрудникам ФГУП «ВИАМ» – к.т.н. Е.В. Николаеву, к.т.н. М.Р. Павлову, к.т.н. Н.П. Андреевой, А.А. Скирте.

### 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. Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // *Интеллект и технология*. 2016. №2 (14) С. 16–21.
3. Николаев Е.В., Павлов М.Р., Андреева Н.П., Славин А.В., Скирта А.А. Исследование процессов старения полимерных композиционных материалов в натуральных условиях тропического климата Северной Америки // *Новости материаловедения. Наука и техника: электрон. науч.-технич. журн.* 2018. №3–4 (30). Ст. 08. URL: <http://www.materialsnews.ru> (дата обращения: 12.12.2018).
4. Валева Е.О., Андреева Н.П., Павлов М.Р. Комплексный подход к исследованию процессов полимерных композиционных материалов при воздействии климатических факторов // *Проблемы оценки климатической стойкости материалов и сложных технических систем: сб. докл. II Всерос. науч.-техн. конф. «Климат-2017»* (Геленджик, 3–4 августа 2017). М.: ВИАМ, 2017. С. 8–20 (CD).
5. Андреева Н.П., Павлов М.Р., Николаев Е.В., Славин А.В. Влияние климатических факторов тропического и умеренного климата на свойства лакокрасочных покрытий на уретановой основе // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2018. №4. С. 24–28.
6. Филатов И.С. Прогнозирование климатической устойчивости полимерных и композиционных материалов на их основе: дис. ... д-ра техн. наук. Якутск, 1984. 489 с.
7. Николаев Е.В., Павлов М.Р., Лаптев А.Б., Пономаренко С.А. К вопросу определения сорбированной влаги в полимерных композиционных материалах // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2017. №8 (56). Ст. 07. URL: <http://www.viam.ru> (дата обращения: 12.12.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-8-7-7.
8. Большой справочник резинщика в 2 ч. М.: Техинформ, 2012. 1385 с.
9. Уплотнения и уплотнительная техника: справочник / под общ. ред. А.И. Голубева, Л.А. Кондакова. М.: Машиностроение, 1986. 464 с.
10. 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.

11. Мулров О.А., Савченко И.М., Шитов В.С. Справочник по эластомерным покрытиям и герметикам в судостроении. Л.: Судостроение, 1982. 184 с.
12. 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.
13. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // *Вестник Российской академии наук*. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
14. Каблов Е.Н. Роль химии в создании материалов нового поколения для сложных технических систем // Тез. докл. «XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии». УрО РАН, 2016. С. 25–26.
15. Хакимулин Ю.Н., Минкин В.С., Палютин Ф.М., Дербедеев Т.Р. Герметики на основе полисульфидных олигомеров: синтез, свойства, применение. М.: Наука, 2007. 301 с.
16. Luke H. *Aliphatic Polysulfide's: Monograph of an elastomer*. Htidelberg, New York: Publisher Huthig & Wepf Basel, 1994. 191 p.
17. Никитина А.А., Соловей В.В. Топливостойкие герметики // *Авиационные материалы на рубеже XX–XXI веков*. М.: ВИАМ, 1994. С. 374–378.
18. Савенкова А.А., Тихонова И.В., Требукова Е.А. Тепломорозостойкие герметики // *Авиационные материалы на рубеже XX–XXI веков*. М.: ВИАМ, 1994. С. 432–439.
19. Лаптев А.Б., Николаев Е.В., Колпачков Е.Д. Термодинамические характеристики старения полимерных композиционных материалов в условиях реальной эксплуатации // *Авиационные материалы и технологии*. 2018. №3 (52). С. 80–88. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-03-80-88.