

УДК 678.4

DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-s3-35-41

А.М. Чайкун¹, М.А. Венедиктова¹, О.А. Елисейев¹, И.С. Наумов¹**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ СЕРИЙНЫХ РЕЗИН НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ КАУЧУКОВ В СТАНДАРТИЗОВАННЫХ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЯХ**

Представлены результаты исследования изменения свойств серийных резин на основе различных каучуков в стандартизованных рабочих жидкостях. В настоящее время в связи с возрастанием интенсивности эксплуатации изделий авиационной техники к резинам предъявляются дополнительные требования по топливостойкости. Кроме того, расширяется ассортимент агрессивных рабочих жидкостей. Это требует проведения дополнительных испытаний резин в серийных рабочих средах. Использование для определения топливостойкости стандартных рабочих жидкостей (СЖР), представляющих собой смесь углеводородов различной химической природы постоянного состава, позволяет оценить в одинаковых условиях воздействия агрессивных сред как стойкость резин в них, так и влияние сред на резины. Такие испытания позволяют достигнуть достоверных результатов и спрогнозировать работоспособность резин при изменении внешних условий воздействия, таких как температура и продолжительность. Выявленные в работе закономерности позволяют с максимальной степенью точности прогнозировать свойства резин на основе каучуков различных типов при их эксплуатации в жидких агрессивных средах.

Ключевые слова: резины, каучуки, рабочие жидкости, топливостойкость.

Investigation of properties changing of serial rubber compounds on the base of different rubbers in standardized working fluids is hereby presented. Currently due to operational intensity increase of the aviation articles the additional requirements on fuel-resistance are claimed to the rubber compounds. Moreover, the variety of aggressive technical fluids is expanding. This requires additional testing of rubbers in serial working environments. Usage of standard working fluids (SWF), being the constant composition mixture of different chemical nature hydrocarbons, allows to evaluate both the rubber compounds resistance in them and the impact of the environments on the rubber compounds in the same aggressive conditions. Those tests will ensure reliable results and predictable rubbers workability in changing environment conditions, such as a temperature and duration. The regularities identified hereby allow to predict the properties of the rubber compounds based on different types of rubbers during their operation in aggressive liquids with the maximum degree of accuracy.

Keywords: rubber, rubber compounds, working fluids, fuel resistance.

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

Значительное ужесточение условий эксплуатации и повышение требований к изделиям авиационной техники выдвигают дополнительные требования к резиновым смесям, применяемым для их изготовления [1–9]. Повышение надежности работы техники часто решается путем улучшения качества контроля уплотнительных резиновых материалов, комплектующих изделия и контактирующих с ними масел, топлив и других агрессивных жидкостей [10–22]. Применяемые в авиационной технике рабочие среды не имеют постоянного химического состава. Сравнительные испытания резин в серийных жидких рабочих средах не всегда дают достоверные и сопоставимые результаты. Стандартные рабочие жидкости (СЖР), представляющие собой смесь углеводородов различного гомологического ряда в определенном и постоянном соотношении, позволяют оценить в оди-

наковых условиях воздействия агрессивных сред как стойкость резин в них, так и влияние сред на резины. Данные испытания позволяют достичь достоверных результатов и спрогнозировать работоспособность резин при изменении внешних условий воздействия – температуры и продолжительности. Такой подход представляется актуальным и соответствующим современным тенденциям.

В данной работе проведены сравнительные лабораторные исследования теплоагрессивостойкости резин в жидкости СЖР-3, а также в серийных маслах и жидкостях для гидросистем, применяемых в настоящее время в отрасли. Жидкость СЖР-3 выбрана как аналог по химическому составу и физическим характеристикам таким широко используемым в авиационной технике жидким агрессивным средам, как масло АМГ-10 и гидравлическая жидкость НГЖ-5У.

Материалы и методы

Исследования проводили на резинах на основе каучуков различной химической природы – бутадиен-нитрильных СКН-18 и СКН-26, этиленпропиленовом СКЭП-60 и фторкаучуке СКФ-26.

В качестве стандартизированной рабочей жидкости выбрана жидкость СЖР-3, свойства которой приведены в табл. 1.

Изменение массы после воздействия жидких агрессивных сред определяли по ГОСТ 9.030–74. Сущность метода заключается в том, что недеформированные стандартные образцы резин в виде пластин подвергали воздействию жидких агрессивных сред при заданной температуре и времени выдержки. Затем определяли их стойкость по изменению величины одного или нескольких показателей, таких как исходная масса образца.

Относительную остаточную деформацию сжатия (ОДС) на воздухе определяли по ГОСТ 9.029–74. Образцы в виде цилиндров подвергали воздействию статической деформации сжатия, и по величине относительной остаточной деформации определяли способность резин сохранять эластические свойства в сжатом состоянии при заданных условиях.

Коэффициент старения по напряжению сжатия определяли по ГОСТ 9982. Образцы в виде цилиндров помещали в струбицы и выдерживали в рабочих средах при заданных температуре и продолжительности. Определяли силу сжатия до и после воздействия среды, а по соотношению между этими значениями – коэффициент старения.

Физико-механические показатели резин определяли по ГОСТ 270–75 на образцах в виде двухсторонних лопаток.

Теплоагрессивостойкость резин оценивали по «Методу комплексных испытаний уплотнительных резин в агрессивных средах». Сущность метода заключается в том, что образцы цилиндрической формы высотой и диаметром $10 \pm 0,2$ мм подвергали сжатию в струбине на 20%. Затем образцы выдерживали в указанных выше средах при заданных температуре и продолжительности. Далее определяли их агрессивностойкость по изменению массы, объема, относительной остаточной деформации, напряжения и твердости. Выдержку в средах проводили в герметически закрытых контейнерах.

Долговечность резинотехнических изделий в большинстве случаев лимитирует надежность работы деталей и агрегатов, поэтому очень важен

правильный выбор резиновых материалов и условий их эксплуатации, а также качественное определение совместимости их с агрессивными рабочими жидкостями.

Стойкость резиновых материалов зависит от агрессивности рабочих сред (масел, жидкостей для гидросистем и т. д.), которая характеризуется соотношением углеводородов различных классов (прежде всего, содержанием ароматических углеводородов).

В настоящее время оценка стойкости резиновых материалов к воздействию агрессивных жидкостей, таких как горючесмазочные материалы (ГСМ), и контроль качества резин проводятся непосредственно в применяемых рабочих средах, и поэтому приходится использовать большой ассортимент ГСМ.

С другой стороны, качество масел также оценивается по совместимости с резинами и оценка проводится в сравнении с серийными маслами при параллельных испытаниях на одной и той же партии резины. Используемые для контроля среды не имеют постоянного химического состава, и поэтому не позволяют правильно судить о качестве резин и совместимости их с ГСМ.

За рубежом широко применяются стандартные жидкости, представляющие собой индивидуальные углеводороды и их смеси. Стандартные жидкости, имеющие постоянный состав и свойства, обеспечивают воспроизводимые результаты при испытании резин. К таким жидкостям относится масло АСТМ №3, отечественным аналогом которого является жидкость СЖР-3.

В данной работе тепловое старение резин проводили наряду с жидкостью СЖР-3 в масле АМГ-10, жидкости 7-50с-3 и в гидрожидкостях НГЖ-4 и НГЖ-5, а также в других маслах в интервале температур от 100 до 200°C. Испытывали резины марок ИРИ-1353, 51-1668, В-14-1, ИРП-1287, ИРП-1375, ИРП-1377, 51-1698 на основе различных типов каучуков. Выбор серийных рабочих сред обусловлен эксплуатацией в них резин из каучуков различной химической природы. Так, детали из резин марок ИРП-1375 и ИРП-1377 на основе этиленпропиленового каучука СКЭП-60 работоспособны в гидравлической жидкости НГЖ-5У. Изделия из резины 51-1668 на основе бутадиен-нитрильного каучука АМГ-10 эксплуатируются в масле АМГ-10, детали из резины ИРП-1287 на основе фторкаучука СКФ-26 – в жидкости 7-50с-3.

Таблица 1

Свойства стандартизированной жидкости СЖР-3

Показатель	Значения показателя
Анилиновая точка, °С	71–75
Кинематическая вязкость, сСт, при 100°C	4,5–5,0
Температура вспышки в закрытом тигле, °С (не менее)	160

Основными направлениями исследования являлись определение возможности применения жидкости СЖР-3 в качестве стандартной среды для испытаний и использование этой жидкости при определении агрессивности масел и жидкостей для гидросистем при проведении квалификационной оценки топлив, масел и других горючесмазочных материалов.

Результаты

Исследование поведения резиновых материалов при старении в жидкости СЖР-3 при температуре 100°C

Для проведения данной части работы выбрали резины марок ИРП-1353, В-14-1, 51-1668, наиболее широко используемые для изготовления резинотехнических деталей, применяемых для уплотнений узлов гидросистем.

При выборе температуры выдержки образцов руководствовались значениями, при которых эксплуатируются резиновые уплотнительные детали гидросистем.

Основным маслом для гидросистем, работающих при температурах до 100°C, является масло АМГ-10, поэтому результаты исследований в жидкости СЖР-3 сравнивались с результатами, полученными после воздействия на резины указанного масла.

На рис. 1, а представлено изменение свойств после старения резины В-14-1 в жидкости СЖР-3 и масле АМГ-10 при температуре 100°C.

Анализируя полученные результаты, следует обратить внимание на показатели относительной остаточной деформации сжатия и коэффициента старения по напряжению, которые отличаются по скорости их изменения. Так, при длительной выдержке (>100 ч) в указанных рабочих средах эти показатели заметно лучше после воздействия жидкости СЖР-3 по сравнению с маслом АМГ-10, что указывает на способность резины лучше сохранять упругие свойства при контакте со стандартной жидкостью, а также на то, что жидкость СЖР-3 менее агрессивна в отношении резины В-14-1, чем масло АМГ-10.

За период испытания обнаружено почти пропорциональное изменение массы, объема и твердости, если не считать небольшое увеличение объема резины в жидкости СЖР-3 за начальное время испытаний (72 ч), которое нивелируется в последующие сроки выдержки.

На рис. 1, б представлено изменение показателей, определенных при термическом старении резины ИРП-1353 в жидкости СЖР-3 и масле АМГ-10. Следует отметить, что в начальные сроки выдержки (до 100 ч) изменение массы, объема и твердости у данной резины после воздействия жидкости СЖР-3 меньше, чем в масле АМГ-10, приблизительно на 5, 8 и 7% соответственно. После 100 ч выдержки кривые изменения этих показателей приближаются к равновесному значению.

Накопление относительной остаточной деформации и падение напряжения в среде жидкости СЖР-3 характеризуется более ровной кривой по сравнению с кривой для масла АМГ-10, т. е. протекает с меньшей скоростью, чем под действием масла АМГ-10, в котором процесс старения проходит с достаточно высокой скоростью.

Анализируя кривые, изображенные на рис. 1, в, где показана кинетика изменения свойств резины 51-1668 после выдержки в жидкости СЖР-3 и масле АМГ-10 при температуре 100°C, можно наблюдать ту же тенденцию изменения параметров, что и на рис. 1, б, с той лишь разницей, что показатели S и K_{σ} для этой резины больше по абсолютной величине, что показывает лучшую работоспособность резины 51-1668 в данных условиях.

Исследование термического старения резин в жидкости СЖР-3 при температуре 150°C проводили в сравнении со старением в жидкости 7-50с-3, применяемой в гидросистемах изделий авиационной отрасли.

Испытанию подвергали резины, работоспособные в жидкости 7-50с-3, марок ИРП-1353, 51-1668, ИРП-1287. Кривые, изображающие изменение свойств резин, представлены на рис. 2.

Анализ полученных результатов показал, что в целом характер изменения свойств указанных выше резин в промышленной и стандартной среде практически одинаков. Некоторое различие наблюдается на кривых изменения твердости. Так, твердость резины ИРП-1353 под воздействием жидкости СЖР-3 при температуре 150°C изменилась в зависимости от продолжительности выдержки с 78 до 62 усл. ед., а в жидкости 7-50с-3 составляет от 82 до 74 усл. ед. по Шору А. Изменение параметров S и K_{σ} протекает с большей скоростью в жидкости 7-50с-3.

Представленные на рис. 2, б кривые изменения показателей по массе, объему, твердости, относительной остаточной деформации и напряжению у резины 51-1668 при указанных выше условиях характеризуются достаточно близкими результатами по первым трем показателям в стандартной и рабочей жидкостях. При этом наблюдается некоторое расхождение по показателям S и K_{σ} , значения которых выше по своей абсолютной величине после воздействия жидкости СЖР-3.

По агрессивности в отношении резины ИРП-1287 обе жидкости аналогичны, что хорошо видно на рис. 2, в. Это, по-видимому, можно объяснить хорошей агрессивностью резин на основе фторорганических каучуков.

Резюмируя данные, представленные на рис. 1 и 2, следует отметить, что наиболее близкие результаты получены по показателям изменения массы, объема и твердости. По этим показателям можно проводить сравнительную оценку совместности резин с рабочими средами, выбрав жидкость СЖР-3 в качестве стандартной.

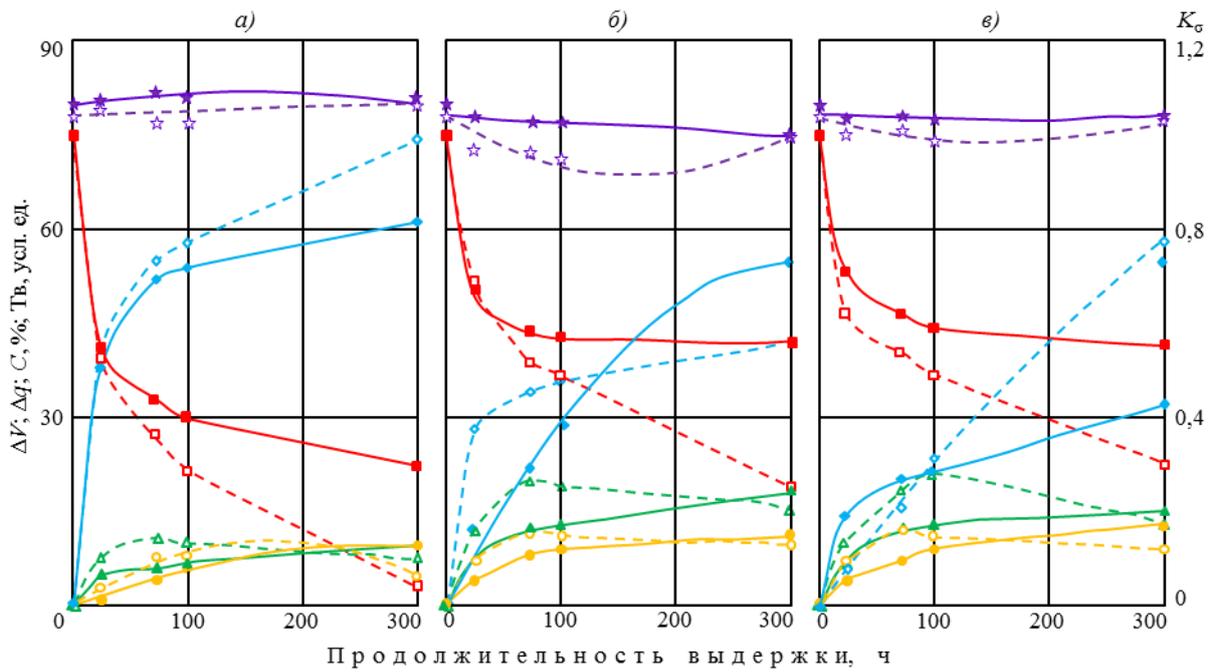


Рис. 1. Кинетика изменения свойств резин В-14-1 (а), ИРП-1353 (б) и 51-1668 (в) после воздействия жидкости СЖР-3 (—) и масла АМГ-10 (- -) при температуре 100°С: ΔV – изменение объема ($\blacktriangle, \triangle$); Δq – изменение массы (\bullet, \circ); C – относительная остаточная деформация сжатия (\diamond, \blacklozenge); T_v – твердость по Шору А (\star, \blackstar); K_σ – коэффициент старения по напряжению (\blacksquare, \square)

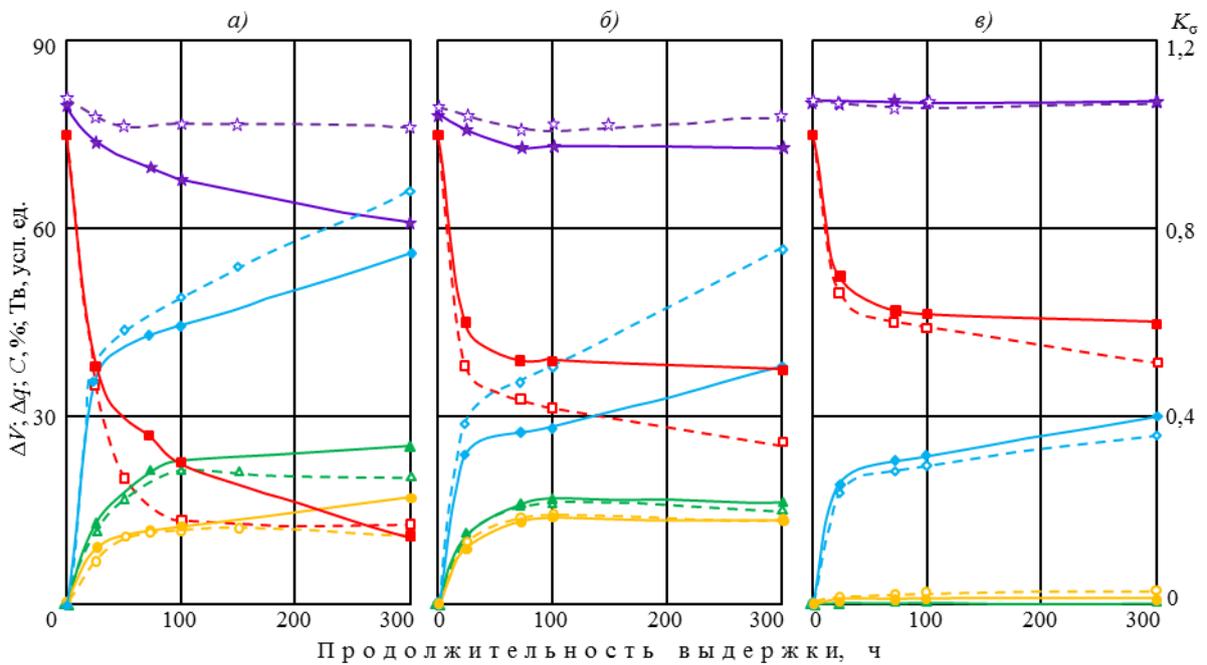


Рис. 2. Кинетика изменения свойств резин ИРП-1353 (а), 51-1668 (б) и ИРП-1287 (в) под воздействием жидкостей СЖР-3 (—) и 7-50с-3 (- -) при температуре 150°С: ΔV – изменение объема ($\blacktriangle, \triangle$); Δq – изменение массы (\bullet, \circ); C – относительная остаточная деформация сжатия (\diamond, \blacklozenge); T_v – твердость по Шору А (\star, \blackstar); K_σ – коэффициент старения по напряжению (\blacksquare, \square)

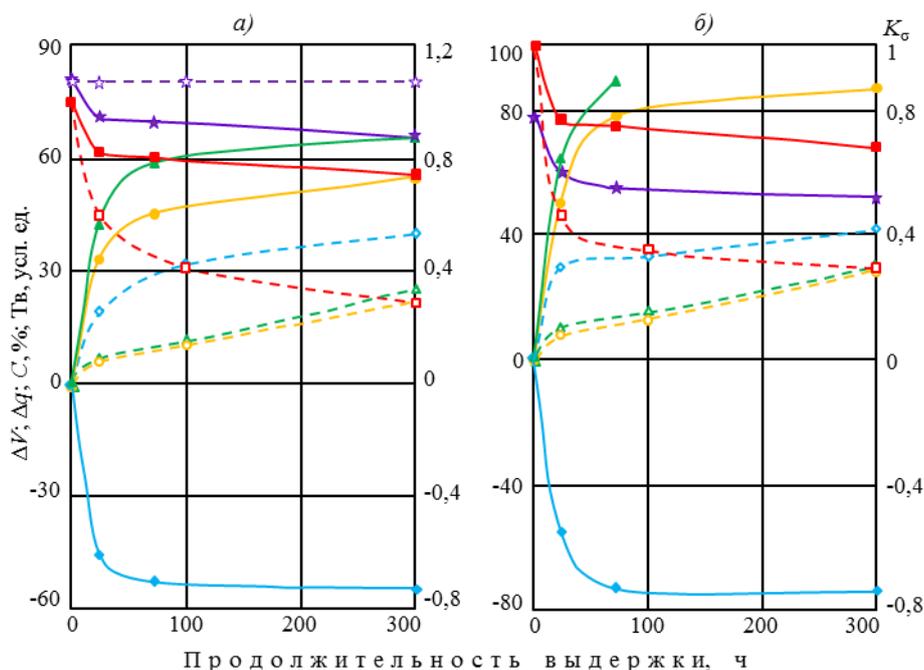


Рис. 3. Кинетика изменения свойств резин ИРП-1377 (а) и ИРП-1375 (б) после выдержки в агрессивных средах СЖР-3 (—) и НГЖ-4 (- - -): ΔV – изменение объема (\blacktriangle , \triangle); Δq – изменение массы (\bullet , \circ); C – относительная остаточная деформация сжатия (\diamond , \blacklozenge); T_v – твердость по Шору А (\star , \blackstar); K_σ – коэффициент старения по напряжению (\blacksquare , \square)

Однако для оценки уплотнительной способности резин более ответственными характеристиками являются относительная остаточная деформация и напряжение при сжатии. Эти характеристики у всех испытанных в данной работе резин, за исключением резины ИРП-1287, имеют худшие показатели после действия агрессивных рабочих сред. Поэтому для сравнительной оценки после набора дополнительных данных по различным партиям резин и жидких агрессивных сред можно ввести поправочный коэффициент для показателей C и K_σ на принятую в данном эксперименте продолжительность воздействия сред и температур.

Можно сделать однозначный вывод о том, что жидкость СЖР-3 существенно менее агрессивна, чем испытанные в данной работе жидкости и масла, применяемые в отрасли. При выдаче рекомендаций о работоспособности резин для других сред по показателям, полученным после воздействия жидкости СЖР-3, необходимо дополнительно вводить поправочные коэффициенты.

Исследование свойств резин на основе СКЭП после воздействия жидкости СЖР-3 при температурах 125 и 150°C

Резины марок ИРП-1377 и ИРП-1375 на основе этиленпропиленового каучука СКЭП-60 подвергали воздействию жидкости СЖР-3 при температурах 125 и 150°C. Параллельно при температуре 125°C выдерживали резины в жидкости НГЖ-4, а при температуре 150°C – в жидкости НГЖ-5.

При температуре 125°C показатели свойств данных резин сравнивали с показателями, полученными после действия жидкости НГЖ-4 (рис. 3), а при температуре 150°C после действия жидкости НГЖ-5 (табл. 2).

При анализе полученных результатов установлено, что характер воздействия на указанные резины жидкости СЖР-3 при указанных температурах резко отличается от характера воздействия жидкостей НГЖ-5 и НГЖ-4.

Изменение массы и объема резин ИРП-1377 и ИРП-1375 уже за 24 ч воздействия жидкости СЖР-3 превышают более чем в 3 раза показатели, полученные при контакте с жидкостями НГЖ-4 или НГЖ-5. Твердость под воздействием жидкости СЖР-3 уменьшается на 15 усл. ед., тогда как после жидкости НГЖ-4 – всего на 2 усл. ед. Относительная остаточная деформация вследствие набухания улучшается, получены даже отрицательные показатели по этому параметру. Поэтому в соответствии с ГОСТ 9.070–76, при изменении массы >10% после выдержки в средах, необходимо вместо ОДС определять другие показатели.

Исследование стойкости резиновых материалов в жидкости СЖР-3 при температурах 150–200°C

Образцы из резин марок ИРП-1287 и 51-1698 на основе фторорганических каучуков подвергали термическому старению в жидкости СЖР-3 при температурах по режиму: при 150 (10% общего времени выдержки)+175 (80%)+200°C (10%).

Таблица 2

**Изменение свойств резин на основе каучука СКЭП-60 после старения
в среде жидкостей СЖР-3 и НГЖ-5 при температуре 150°C в течение 72 ч**

Резина	Показатель	Значения показателя после выдержки в жидкости	
		НГЖ-5	СЖР-3
ИРП-1377	Изменение массы, %	14,18	49,00
	Изменение объема, %	15,62	61,43
	Относительная остаточная деформация, %	33	-50
	Коэффициент старения по напряжению	0,37	0,72
	Твердость по Шору А, усл. ед.	82	66
ИРП-1375	Изменение массы, %	20,47	62
	Изменение объема, %	24	97,59
	Относительная остаточная деформация, %	51	-70
	Коэффициент старения по напряжению	0,25	0,71
	Твердость по Шору А, усл. ед.	73	53

Таблица 3

**Изменение свойств резин на основе фторорганических каучуков под воздействием жидкости СЖР-3
при температурах по режиму: 150 (10%)+175 (80%)+200°C (10% времени) в течение 100 ч**

Резина	Показатель	Значения показателя после выдержки в жидкости		
		СЖР-3	ИПМ-10	ВНИИ НП 50-1-4ф
ИРП-1287	Изменение массы, %	0,49	0,74	2,70
	Изменение объема, %	0,33	1,96	6,2
	Относительная остаточная деформация, %	37	34	29
	Коэффициент старения по напряжению	0,54	0,49	0,51
	Твердость по Шору А, усл. ед.	78	78	77
51-1698	Изменение массы, %	0,77	–	3,46
	Изменение объема, %	0,35	–	6,53
	Относительная остаточная деформация, %	33	–	22
	Коэффициент старения по напряжению	0,77	–	0,54
	Твердость по Шору А, усл. ед.	78	–	76

Выдержку проводили в течение 100 ч. Для сравнения взяты результаты испытаний этих резин в маслах ИПМ-10 и ВНИИ НП 50-1-4ф (табл. 3).

Обсуждение и заключения

Результаты исследования, представленные в табл. 3, показывают, что по степени воздействия на резину ИРП-1287 ближе всего к жидкости СЖР-3 находится масло ИПМ-10. Воздействие масла ВНИИ НП 50-1-4ф приводит к несколько большему набуханию резин и, как следствие, снижению относительной остаточной деформации. Так, объемное набухание резин ИРП-1287 и ВНИИ НП 50-1-4ф в жидкости СЖР-3 составило 1,96 и 6,2% соответственно, а относительная остаточная деформация – соответственно 37 и 29%. Важно отметить, что при определении ОДС в агрессивных средах, следует учитывать требование ГОСТ 9.070–76 по уровню набухания резин. Показатели твердости и напряжения находятся приблизительно на одном уровне после воздействия как серийной, так и модельной рабочей жидкости. Таким образом, все указанные показатели вполне сопоставимы, и можно считать, что по агрессивности в отношении резин на основе

фторорганических каучуков данные рабочие среды близки.

Испытания резин на основе этиленпропиленовых каучуков при температурах >150°C не проводились, так как верхний температурный диапазон эксплуатации резин из каучука СКЭП-60 не превышает указанного значения.

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Жидкость СЖР-3 может быть рекомендована как стандартная при контроле качества резин на основе бутадиен-нитрильных и фторорганических каучуков. При этом целесообразно установить срок испытаний, равный 24 ч, – для резин марок ИРП-1353 и 51-1668 при температуре 150°C, а для резины В-14-1 – при температуре 100°C.

2. Для контроля качества резин на основе этиленпропиленового каучука СКЭП-60 (резины ИРП-1377, ИРП-1375) применение жидкости СЖР-3 нецелесообразно вследствие нестойкости этих резин в жидкости СЖР-3.

3. Жидкость СЖР-3 по отношению к резинам на основе бутадиен-нитрильных каучуков менее агрессивна, чем жидкость 7-50с-3 и масла АМГ-10, ИПМ-10 и ВНИИ НП 50-1-4ф.

4. Жидкость СЖР-3 может быть использована также как контрольная при квалификационной оценке жидких агрессивных рабочих сред, однако при этом требуется провести статистический набор данных по резинам на основе различных каучуков.

5. Считаю целесообразным продолжать работы по поиску и исследованию новых жидкостей, которые могут быть предложены в качестве стандартных при испытании резин, с целью получения более достоверных результатов при одновременном сокращении использования для этих целей промышленных жидких агрессивных сред.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большой справочник резинщика. В 2 ч. М.: Техинформ. 2012. 1385 с.
2. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 7–17.
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. №S. С. 309–314.
4. Махлис Ф.А., Федюкин Д.Л. Терминологический справочник по резине. М.: Химия. 1989. 400 с.
5. Технология резины: Рецептуростроение и испытания: Пер. с англ. /Под ред. Дж.С. Дика. СПб.: Научные основы и технологии. 2010. 620 с.
6. Швейцер Ф.А. Коррозия пластмасс и резин. СПб.: Научные основы и технологии. 2010. 637 с.
7. Мартин Дж. М., Смит У.К. Производство и применение резинотехнических изделий: Пер. с англ. /Под ред. С.Ч. Бхати. СПб.: Профессия. 2006. 480 с.
8. Чайкун А.М., Елисеев О.А., Наумов И.С., Венедиктова М.А. Особенности морозостойких резин на основе различных каучуков //Труды ВИАМ. 2013. №12. Ст. 04 (viam-works.ru).
9. Ерасов В.С., Котова Е.А. Эрозионная стойкость авиационных материалов к воздействию твердых (пылевых) частиц //Авиационные материалы и технологии. 2011. №3. С. 30–36.
10. Ушмарин Н.Ф., Петрова Н.П., Кольцов Н.И. Исследование маслобензостойких резин с применением композиционных стабилизаторов на основе ковантокса 8 ПФДА //Вестник Казанского технологического института. 2011. №2. С. 67–76.
11. Соколова Л.В., Матухина Е.В. Фазовое состояние стеарата кальция в каучуках БНКС //Каучук и резина. 2012. №1. С. 14–17.
12. Ковалева Л.А., Ливанова Н.М., Овсянников Н.Я. Исследование набухания резин из бутадиен-нитрильных каучуков в неполярном растворителе н-гептане /В сб. трудов XVIII Международной науч.-практич. конф. «Резиновая промышленность. Сырье. Материалы. Технологии». 2012. С. 63–66.
13. Маскулюинате О.Е., Морозов Ю.Л., Сухинин Н.С. и др. Влияние способа введения пластификатора на свойства парафинатных каучуков БНКС и стандартные резины на их основе //Каучук и резина. 2006. №3. С. 14–17.
14. Анисимов Б.Ю., Дыбман А.С., Имянитов Л.С., Поляков С.А. Гидрирование бутадиен-нитрильных каучуков //Каучук и резина. 2007. №2. С. 32–38.
15. Шуваева А.В. Резино-тканевые мембранные материалы на основе гидрированных бутадиен-нитрильных каучуков: Автореф. дис. к.т.н. М. 2011. 23 с.
16. Котова С.В., Михайлов С.И., Фомина А.А. Особенности современного рынка бутадиен-нитрильных каучуков //Каучук и резина. 2012. №6. С. 33–35.
17. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
18. Чайкун А.М., Елисеев О.А., Наумов И.С., Венедиктова М.А. Особенности построения рецептур для морозостойких резин //Авиационные материалы и технологии. 2013. №3. С. 53–55.
19. Авиационные правила. Гл. 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. 3-е изд. ОАО Авиаиздат. 2009. 274 с.
20. Ефимов В.А., Шведкова А.К., Коренькова Т.Г., Кириллов В.Н. Исследование полимерных конструкционных материалов при воздействии климатических факторов и нагрузок в лабораторных и натуральных условиях //Труды ВИАМ. 2013. №1. Ст. 05 (viam-works.ru).
21. Земский Д.Н., Чиркова Ю.Н. Новые ингредиенты резиновых смесей //Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. №12. С.143–145.
22. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.