

УДК 678.4

А.М. Чайкун¹, И.С. Наумов¹, Е.В. Алифанов¹**РЕЗИНОВЫЕ УПЛОТНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ (обзор)**

DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-1-12-12

Обзор посвящен резиновым уплотнительным материалам, нашедшим широкое применение в изделиях авиационной техники. Представлены основные типы уплотнителей, особенности их конструирования и эксплуатации. Описаны как уплотнители массового использования, так и уплотнители со специальными функциями. Даны их основные эксплуатационные характеристики и особенности применения. Показаны основные свойства резин, применяемых для изготовления уплотнителей.

Ключевые слова: уплотнитель, уплотнительные резины.

Creation and application of rubber sealing materials are described. The main types of sealants are shown as well as features of their design and operation. Both sealants of mass use and special functions are described. Their main utilization properties and features of application are given. The main properties of rubbers applied to manufacture of sealants are shown.

Keywords: sealant, sealing rubber.

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

В настоящее время активно разрабатываются новые авиационные материалы с улучшенными техническими характеристиками. Это дает возможность расширить диапазон эксплуатации авиационной техники [1–5], поэтому важно обеспечить стабильную и устойчивую работу всех соответствующих узлов. Резиновые уплотнительные материалы находят широкое применение в авиации. В данной работе описаны основные виды эластомерных уплотнителей и их характеристики, а также типы резин для их изготовления.

Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 15.2. «Эластомерные уплотнительные материалы» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1].

Общие сведения о резиновых уплотнителях

При разделении нескольких сред в машинах, аппаратах и других объектах техники возникает проблема герметизации соединений. Применение неразъемных соединений, получаемых запрессовкой, пайкой, сваркой, часто бывает недопустимо по условиям эксплуатации. В подвижных соединениях кинематических пар и в разъемных неподвижных соединениях герметизация может быть достигнута только в результате применения специальных уплотнительных устройств. Уплотнительное устройство или уплотнение – это устройство для разделения соприкасающихся в процессе эксплуатации изделия рабочих сред, предотвращения или уменьшения до допустимых пределов их утечки через подвижные или разъемные неподвижные соединения [6, 7].

Широкое применение резины в уплотнительных устройствах связано с ее высокоэластическими характеристиками – способностью к большим обратимым деформациям при приложении сравнительно небольших нагрузок, практической

несжимаемостью (коэффициент Пуассона близок к 0,5), небольшой плотностью, большим внутренним трением и энергоемкостью. Следует отметить, что резина легко заполняет пространство между сопрягаемыми деталями, в том числе и по шероховатым поверхностям, вследствие чего не требуется проводить дополнительную тщательную обработку деталей. Такие свойства высокоэластичных материалов позволяют достаточно просто объединить все элементы уплотнительных соединений в одну компактную деталь.

Применение резиновых уплотнителей является эффективным благодаря возможности изготовления деталей малых размеров, сравнительно низкой стоимости, доступности, возможности изготовления на достаточно распространенной производственной базе. Следует отметить, что уплотнения из резин обеспечивают высокую степень герметизации при минимальных затратах. Наиболее эффективно использовать резиновые уплотнители как в машинах массового производства, так и в специальной технике, такой как ракетно-космическая и авиационная, требующей особо надежной герметизации.

Резиновые уплотнения в зависимости от их функционального назначения обычно делят на следующие группы [7, Т. 2, С. 294]:

- уплотнители неподвижных соединений, обеспечивающие герметизацию рабочей среды через зазор, образуемый в стыке неподвижных жестких элементов конструкции;
- уплотнители соединений с возвратно-поступательным или вращательным движением;
- уплотнители, выполняющие функцию командно-регулирующих устройств (клапаны, мембраны, диафрагмы и т. д.).

Основные типы уплотнений, широко применяемых в России, представлены в таблице [7, Т. 2, С. 294].

Стандартизованные типы уплотнений

Наименование уплотнения	ГОСТ
Манжеты резиновые армированные для валов	8752–79
Кольца резиновые уплотнительные круглого сечения	9833–73; 18829–73
Уплотнения шевронные резинотканевые	22704–77
Манжеты уплотнительные	14896–84
Грязеъемники резиновые	24811–81
Манжеты резиновые уплотнительные	6678–78

Резиновые кольца круглого сечения

Наиболее простыми по конструкции и по надежности герметизации рабочей среды являются кольца круглого сечения. Они применяются в уплотнительных устройствах подвижного и неподвижного соединений. В зависимости от конструкции уплотнительных устройств они испытывают радиальную (в направлении радиуса кольца), осевую (вдоль оси кольца), а также сложную (комбинированную) деформацию. В авиации они используются в гидро-, топливных и масляных системах.

Кольца круглого сечения принято разделять на два типа в соответствии с углом разъема пресс-формы для их изготовления: под углом 45 и 180 град соответственно. Кольца первого типа применяют в уплотнительных устройствах с радиальной деформацией для герметизации преимущественно газообразных сред, а второго – с осевой деформацией для герметизации жидких сред.

Эластомер (резину) для уплотнительного кольца выбирают с учетом условий эксплуатации. Резина должна быть стойкой к действию рабочей среды в течение заявленного срока хранения и эксплуатации в интервале температур и давлений рабочей среды и других эксплуатационных характеристик, оказывающих воздействие на уплотнительное устройство. При расчете уплотнительного кольца следует исходить из того, что резина является эластичным и практически несжимаемым конструкционным материалом. Для обеспечения герметичности уплотнительного устройства следует создать напряжение на границе, что достигается за счет деформации резинового кольца в

заданных пределах. Обычно уплотнительные устройства надежно работают, если деформация находится в пределах 20–40%. В случае использования пористой резины деформация может быть увеличена до 50%.

При работе в устройствах высокого давления кольцо под действием рабочей среды со временем может быть выдавлено в зазор и повреждено. Чем меньше зазор и больше твердость резины, тем меньше выдавливание. Для предотвращения выдавливания рекомендуется применять защитные фторопластовые кольца со стороны, противоположной воздействию рабочей среды под давлением.

Монтаж резиновых колец в уплотнительное устройство с осевой деформацией особых трудностей не представляет. Кольцо необходимо очистить от пыли, смазать нейтральной смазкой и поместить в канавку. Кольца с радиальной деформацией монтируют с учетом наличия «заходных» фасок с помощью специальных приспособлений (оправок).

Длинномерные уплотнения

К длинномерным уплотнениям относятся уплотнения, габаритные размеры которых превышают 1 м, а также для изготовления которых на обычных прессах требуется больше чем одна форма или перестыковка. Длинномерные уплотнители служат как для уплотнения неподвижных соединений, так и для разъемных соединений, т. е. для обеспечения возможности открытия и закрытия створок, крышек, дверей и люков в процессе эксплуатации, в том числе и при низких температурах. Поэтому они достаточно широко применяются в авиации.

Заготовки длинномерных уплотнителей обычно производят на червячных машинах. Вулканизацию осуществляют в прессах с использованием пресс-форм, котловым методом или непрерывной вулканизацией – например, токами высокой частоты. На точность профиля сечения влияют такие рецептурно-технологические факторы, как тип каучука, состав резиновой смеси, температура процесса шприцевания, частота вращения червяка и др.

В процессе формования заготовки следует учитывать усадку при шприцевании и величину эластического восстановления резиновой смеси.

Наиболее простым видом длинномерного уплотнителя для неразъемных соединений является плоская прокладка. Герметизация соединения обеспечивается поджатием прокладки на $25 \pm 10\%$. К прокладкам обычно предъявляются два основных требования – обеспечение равномерного сжатия по всей длине, а также жесткости и прочности уплотнительного узла в сборе.

Длинномерные уплотнители для больших зазоров

Такие уплотнители используют в крупногабаритных соединениях (периметр может достигать нескольких десятков метров). Традиционные уплотнители, работающие на сжатие, не обеспечивают высокого качества герметизации, так как требуются большие усилия поджатия и большой расход во многом дефицитного материала. Поэтому в этом случае используются полые уплотнители типа «капля» или уплотнители сложной конфигурации, имеющие уплотняющий «ус».

При изготовлении экструзией полых уплотнителей из силиконовых резин следует учитывать, что, вследствие малой жесткости сырых смесей, могут изменяться габаритные размеры заготовки при укладке на противень, а место стыка профиля по периметру имеет повышенную жесткость.

Резиновые уплотнители подвижных соединений с вращательным движением

Резиновые уплотнители соединений с вращательным движением предназначены для создания герметичности в местах выхода валов и других подвижных соединений из внутренних полостей машин и аппаратов.

Из резиновых уплотнителей подвижных соединений широкое применение получили резиновые армированные манжеты с различными эластомерными материалами. По сравнению с торцевыми механическими уплотнениями или асбестовыми сальниками они отличаются высокой степенью герметизации.

Типичная конструкция резинотканевой манжеты состоит из трех элементов. Каркасный металлический элемент предназначен для фиксации манжеты в корпусе машины и герметизации по месту посадки; упругий элемент (пружина) обеспечивает постоянство контактной нагрузки в уплотняемом зазоре; эластичный элемент из резины обеспечивает герметизацию в контакте с вращающейся деталью.

Резиновые манжеты уплотнителей валов конструктивно изготавливаются преимущественно в двух исполнениях: однокромочные и однокромочные с дополнительной пылезащитной кромкой («пыльником»).

Резинотканевые манжеты на предприятиях России изготавливают методом компрессионного формования на гидравлических прессах, оснащенных кассетными пресс-формами и манипуляторами-перезарядчиками. Подобная технология применяется и за рубежом.

Исходные физико-механические показатели резин для манжет, их термостойкость, стойкость к воздействию рабочих сред, морозостойкость и другие показатели определяют стандартными методами. Однако для резиновых уплотнителей валов необходимо дополнительно определять показатели трения и износа. Эти исследования рекомендуется проводить на машине трения типа П-8, разработанной в ООО «НИИЭМИ» [7, Т. 2, С. 331–332]. Для оценки фрикционных характеристик манжет разработан специальный прибор – трибометр «Днепр».

Кроме того, для получения наиболее объективной и полной информации о качестве манжет следует проводить их стендовые испытания на наработку и герметичность. Рекомендуемые методы стендовых испытаний подробно описаны в стандарте ИСО 6194-4, ОСТ3805-146–78, стандарте SAE, ТУ ФИАТ и др. [7, Т. 2, С. 332].

Уплотнения со специальными функциями

Мембраны представляют собой закрепленную по контуру и жесткому центру гибкую резиновую или резинотканевую перегородку, разделяющую полости с различным давлением и преобразующую изменение давления в перемещение или усилие, или усилие и перемещение в давление. Мембраны различают по функциональному назначению, конструкции и применяемым материалам.

По функциональному признаку можно выделить две основные группы мембран, которые различаются по конструкции чувствительных элементов приборов (гофрированные мембраны) и силовых элементов регуляторов для передачи усилия под действием давления (плоские мембраны).

Мембранное полотно изготавливают на клеепромазочной машине с нанесением нескольких слоев клея на прорезиненную ткань. Вулканизацию проводят в пресс-формах. С целью обеспечения качества чувствительной части мембраны применяют конструкцию мембраны с уплотнительным буртиком диаметром 2–4 мм. Вместе с тем буртик имеет недостаточную прочность на срез. Это проявляется при формовании манжет из силоксановых и фторсилоксановых резин, имеющих низкую прочность, т. е. в случае, когда при формовании необходимо сочетание высоких температур и давлений.

Клапаны представляют собой изделие (устройство) для управления потоком рабочей среды (газа, жидкости, их смеси, пульпы и т. д.) в системах машин и механизмов. Такое название устройство получило по одной из главных подвижных частей – резинотканевому клапану (РМК).

Обычно клапаны состоят из двух основных подвижных частей корпуса, образующего отрезок замкнутого канала и затвора, который перемещается внутрь корпуса, открывая или закрывая проходное сечение. Часть корпуса, на которую опирается

затвор, называется седлом. Поверхности, по которым затвор соединяется с седлом, называются уплотнительными. В последнее время взамен пластмасс в качестве уплотнительного элемента стали применять резину. Резиновый уплотнительный элемент имеет различную форму и привулканизовывается к металлической части в специальной арматуре. Резинометаллические клапаны обычно эксплуатируются в интервале температур от -50 до $+100^{\circ}\text{C}$. При расчете работоспособности необходимо учитывать значительное эрозионное воздействие потока рабочей среды. С понижением температуры его воздействие снижается, однако вследствие повышения жесткости резины возрастает доля ударного разрушения. Поэтому при разработке клапана необходим комплексный подход с учетом рецептурных и технологических факторов, конструктивных и эксплуатационных особенностей узла в целом [7, Т. 2, С. 346–347].

Особенности проведения испытаний уплотнительных резин

Основными эксплуатационными показателями, характеризующими применимость резин при их использовании в качестве уплотнений, являются относительная остаточная деформация сжатия (ОДС) и коэффициент морозостойкости по эластическому восстановлению после сжатия. Относительная остаточная деформация сжатия характеризует способность изделия из резины сохранять эластические свойства после выдержки в сжатом состоянии при заданных условиях, ее определяют в соответствии с ГОСТ 9.029. Обычно степень сжатия для резин составляет 20–25%, что, с одной стороны, моделирует условия монтажа резиновых уплотнений в рабочие зазоры, а с другой – такая деформация является предельной для обеспечения сохранения целостности структуры резин в процессе длительной эксплуатации. Для пористых резин допустимая деформация сжатия составляет 50%. Коэффициент морозостойкости резин по эластическому восстановлению после сжатия (K_v) определяется по ГОСТ 13808. Метод заключается в определении способности образца, сжатого при температуре 23°C , восстанавливать свою высоту при отрицательных температурах после освобождения от нагрузки. Значение коэффициента K_v для уплотнительных резин должно составлять не менее 0,2. Важно учитывать, что знаний только ОДС и K_v для прогнозирования работоспособности резиновых уплотнителей недостаточно. Необходимо проведение физико-механических испытаний резин (для определения прежде всего прочности и относительного удлинения при разрыве) в условиях, близких к условиям эксплуатации уплотнений.

Следует отметить, что для использования резин в качестве уплотнения неподвижных соединений, работающих при высоких температурах, следует выбирать резины с вулканизирующей группой, обеспечивающей в процессе сшивания образование термостойких С–С-связей (если использование соответствующих каучуков допустимо по условиям эксплуатации в контакте с требуемыми рабочими средами). Для уплотнения подвижных соединений, работоспособных при динамических условиях эксплуатации, следует выбирать резины с образующимися при вулканизации лабильными полисульфидными связями (в случае стойкости каучуков к данным рабочим средам).

В авиационной промышленности в последнее время для обеспечения высокой герметичности конструкций все чаще используют пористые резины или их комбинации с монолитными резинами.

Резины, применяемые в уплотнительной технике общего назначения, обычно подразделяют на 10 подгрупп [6, С. 81–83].

1. Мягкие маслостойкие и морозостойкие резины на основе бутадиен–нитрильного каучука СКН-18 (например, резина марки 98-1) предназначены для уплотнений, которые эксплуатируют при ограниченных перепадах давлений и скоростях скольжения на воздухе в интервале температур от -45 до $+100^{\circ}\text{C}$, в среде топлив и масел – от -60 до $+100^{\circ}\text{C}$ [8–14].

2. Мягкие масло-, бензо- и водостойкие резины на основе комбинации бутадиен–нитрильного каучука СКН-18 и хлоропренового каучука наирита (например, резина

марки НО-68-1) предназначены для уплотнений, которые эксплуатируют при ограниченных перепадах давлений и скоростях скольжения в среде топлив и масел, воды, слабых растворов кислот и щелочей в интервале температур от -55 до $+100^{\circ}\text{C}$.

3. Среднетвердые маслостойкие резины на основе бутадиен-нитрильного каучука СКН-18 (например, резины марок В-14 и В-14-1) предназначены для уплотнения гидросистем; прокладочные, кольцевые и комбинированные резиновые уплотнители – при статических перепадах давления <50 МПа; резиновые манжетные уплотнители – при скоростях скольжения $<0,5$ м/с и перепаде давлений <40 МПа; манжеты – при скоростях скольжения <10 м/с. Рабочая среда – нефтяные жидкости и масла при эксплуатации в интервале температур – от -60 до $+100^{\circ}\text{C}$, воздух – от -50 до $+100^{\circ}\text{C}$. Выпускают резины специальных марок для диафрагм (обозначаются буквой Д) [8–14].

4. Среднетвердые маслостойкие резины на основе бутадиен-нитрильного каучука СКН-26 (например, резины марок 8075, ИРП-1078) предназначены для уплотнителей, аналогичных группе 3, эксплуатируемых при тех же режимах, в среде масел, топлив и на их границе с воздухом в интервале температур – от -40 до $+100^{\circ}\text{C}$ (кратковременно – до 150°C). На основе комбинации каучуков СКН-18 и СКН-26 изготавливают и более морозостойкие резины (например, марки ИРП-1078), работоспособные в указанных условиях – до -50°C [8–14].

5. Морозостойкие резины на основе комбинации бутадиен-нитрильного СКН-18 и бутадиен-стирольного СКМС-10 каучуков (например, марки ИРП-1054) предназначены для работы в тех же условиях, что уплотнения группы 3, эксплуатируемые в среде нефтяных рабочих жидкостей в интервале температур – от -60 до $+150^{\circ}\text{C}$.

6. Маслобензостойкие резины на основе бутадиен-нитрильного каучука СКН-40 (например, марки 4004) отличаются значительно меньшим набуханием в среде нефтяных масел, нефти, топлив, бензина, но худшей морозостойкостью, чем резины на основе каучука СКН-18. Резины предназначены для уплотнителей, аналогичных группам 3 и 4, эксплуатируемых в интервале температур – от -30 до $+100^{\circ}\text{C}$ (например, манжеты резиновые армированные для валов по ГОСТ 8572, применяемые до температуры $+120^{\circ}\text{C}$). Более твердые резины (например, марки 3825) применяют для клапанов и мембран [8–14].

7. Термостойкие и стойкие в агрессивных средах резины на основе фторкаучуков отличаются сочетанием термостойкости с исключительно высокой стойкостью в синтетических и нефтяных маслах, топливах, большинстве растворителей, спиртах, щелочах, кислотах, окислителях, однако недостаточно морозостойки и не рекомендуются для работы в среде сложных кетонов [15, 16]. Резины на основе каучука СКФ-32 (например, марки ИРП-1225) предназначены для манжет, работоспособных в условиях, указанных для резин при скоростях скольжения до 20 м/с. Температурный диапазон в средах: масла, топлива – от -20 до $+120^{\circ}\text{C}$ (длительно); воздух с парами – от -20 до $+150^{\circ}\text{C}$; среды химической природы (бензол, толуол, этиленгликоль, хлор, стирол, дихлорэтан, нитробензол, спирты, кислоты, щелочи) – до температуры 200°C . Резины на основе каучука СКФ-32 (например, марки ИРП-1287) отличаются от резин на основе каучука СКФ-26 большей термостойкостью (до 250°C), увеличенной допустимой скоростью скольжения манжет, худшей морозостойкостью, несколько меньшей степенью набухания в рабочих средах. Ресурс уплотнителей из резины марки ИРП-1287 в среде синтетических рабочих жидкостей и масел – до 1000 ч. В авиации для изготовления резинометаллических манжет подвижных соединений массово применяется резина марки ИРП-1316, содержащая карбонизованную углеродную ткань [17].

8. Термоморозостойкие и стойкие в синтетических рабочих жидкостях резины на основе фторсилоксановых каучуков предназначены для уплотнителей, работающих при ограниченных перепадах давления и скоростях скольжения в среде синтетических рабочих жидкостей (в том числе силиконовых) в интервале температур – от -55 до $+150^{\circ}\text{C}$; в среде воздуха с озоном в интервале температур – от -55 до $+200^{\circ}\text{C}$; для

манжет в среде масел и топлив интервале температур – от -70 до $+170^{\circ}\text{C}$. Прочность уплотнений из фторсилоксановых резин значительно снижается при надрезах [18, 19].

9. Термоморозостойкие и стойкие в синтетических негорючих рабочих жидкостях резины на основе этиленпропиленовых каучуков предназначены для прокладочных, кольцевых и комбинированных резиновых уплотнителей и ограниченно подвижных манжет в среде воздуха с повышенным содержанием озона в интервале температур – от -50 до $+150^{\circ}\text{C}$; для диафрагм в среде синтетических масел в интервале температур – от -50 до $+150^{\circ}\text{C}$; для уплотнителей в среде негорючих рабочих жидкостей в интервале температур – от -55 до $+125^{\circ}\text{C}$ [20–22]. Резины марок ИРП-1375 и ИРП-1376 могут быть использованы для уплотнителей дверей и люков вертолетов. Резина марки ИРП-1377, содержащая в качестве наполнителя карбонизованную углеродную ткань, может быть использована для уплотнения подвижных соединений авиационной техники, работающих в гидравлических жидкостях.

10. Термоморозостойкие резины на основе силоксановых каучуков, работоспособные в среде воздуха, воздуха с повышенным содержанием озона, электрических полей, применяют для уплотнителей, эксплуатируемых при ограниченном перепаде давления в интервале температур – от -60 до $+250^{\circ}\text{C}$ ($+300^{\circ}\text{C}$ – временно) [23–26].

В настоящее время во ФГУП «НИИСК» синтезирован новый силоксановый каучук – высокомолекулярный блок-сополимер лестничного строения марки Термосил-УП. На его основе во ФГУП «ВИАМ» разработана резина, работоспособная в интервале температур – от -70 до $+350^{\circ}\text{C}$ ($+500^{\circ}\text{C}$ – временно) [27, 28].

Известно, что силоксановые резины являются сгорающими материалами. В связи с ужесточением авиационных правил по пожарной безопасности, использование таких материалов является нежелательным. Авторами обзора разработаны резины на основе силоксанового каучука с показателями по горючести «самозатухающая» и «трудносгорающая» [28]. Резины могут быть использованы для уплотнителей дверей и люков.

Заключения

Резиновые уплотнители широко применяются практически во всех областях техники, в том числе в изделиях и отраслях специального назначения, таких как авиация и космонавтика. В данной работе представлена классификация уплотнителей из резин и подробно описаны уплотнительные устройства широкого ассортимента и назначения. Кроме того, подробно рассмотрены резины на основе каучуков различных типов и показаны области их применения в изделиях уплотнительного назначения. Показано, что долговечность эластомерных уплотнителей во многом определяется уровнем свойств резин, применяемых для их изготовления. Прогнозирование характеристик уплотнений сложных устройств должно быть основано не только на стандартных испытаниях резин, но и на стендовых испытаниях в условиях, моделирующих воздействие эксплуатационных факторов на изделия из них.

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. 346–348.
5. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.

6. Уплотнения и уплотнительная техника: справочник / под общ. ред. А.И. Голубева, Л.А. Кондакова. М.: Машиностроение, 1986. 464 с.
7. Большой справочник резинщика в 2 ч. М.: Техинформ, 2012. 1385 с.
8. Маскалюнайте О.Е., Морозов Ю.Л., Сухинин Н.С. и др. Влияние способа введения пластификаторов на свойства парафинатных каучуков БНКС и стандартных резин на их основе // Каучук и резина. 2006. №3. С. 14–17.
9. Николаева Ю.К., Захаренко Н.В., Донцов А.А. Особенности оптимальной концентрации дибутилсебагината при создании морозостойких резин // Каучук и резина. 1984. №10. С. 4–7.
10. Николаева Ю.К., Кучерский А.М., Захаренко Н.К., Донцов А.А. Влияние введения пластификаторов набуханием на морозостойкость резин // Производство шин, РТИ и АТИ. 1983. №11. С. 4–7.
11. Петрова В.П., Пашина Н.Р. Оценка морозостойких свойств резин, контактирующих со средами нефтяного происхождения // Производство шин, РТИ и АТИ. 1983. №12. С. 27–29.
12. Хеммер К. Полимерные пластификаторы // Полимерные смеси / под ред. Д. Пола, С. Ньюмена. М.: Мир, 1981. С. 237–260.
13. Резниченко С.В., Лысова Г.А., Морозов Ю.Л. Сырьевые проблемы материаловедения маслостойких резиновых изделий // Каучук и резина. 1997. №6. С. 28–32.
14. Нестерова С.Л. Свойства новых типов бутадиен-нитрильных каучуков, полученных с различными эмульгаторами и особенности их переработки: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МИТХТ им. М.В. Ломоносова, 2004. 15 с.
15. Нудельман З.Н. Фторкаучуки: основы, переработка, применение. М.: РИАС, 2007. 383 с.
16. Нудельман З.Н. К вопросу о морозостойких фторэластомерах // Каучук и резина. 2005. №1. С. 8–10.
17. Нудельман З.Н. Совмещение фторкаучуков с другими полимерами // Каучук и резина. 2006. №4. С. 27–37.
18. Чайкун А.М., Елисеев О.А., Наумов И.С., Венедиктова М.А. Особенности морозостойких резин на основе различных каучуков // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2013. №12. Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 10.08.2016).
19. Кузнецова О.В., Донской А.А., Маркин Э.А. Резины на основе фторсилоксановых эластомеров: состояние и перспективы развития // Каучук и резина. 2007. №3. С. 37–43.
20. Алифанов Е.В., Чайкун А.М., Венедиктова М.А., Наумов И.С. Особенности рецептур резин на основе этиленпропиленовых каучуков и их применение в изделиях специального назначения // Авиационные материалы и технологии. 2015. №2 (35). С. 51–55. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-2-51-55.
21. Говорова О.А. Рецептуростроение и свойства резин на основе этиленпропиленовых каучуков. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1989. Вып. 4. 60 с.
22. Говорова О.А., Фролов А.Е., Сорокин Г.А. Свойства резин на основе этиленпропиленовых каучуков. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1986. Сер.: Производство шин, РТИ и АТИ. 64 с.
23. Handbook of Rubber Bonding / ed. by V. Crowther. Rapra Technology, 2001. 400 p.
24. Jerschow P. Silicone elastomers (Rapra Review Reports). Smithers Rapra Technology, 2001. 172 p.
25. Marciniac B. Hydrosilylation: a comprehensive review on recent advances. Berlin: Springer. 2009. 408 p.
26. Wilks E.S. Industrial polymers: handbook // Syntetic polymers (continued), biopolymers and their derivates. Weinheim: Wiley-VHS, 2001. Vol. 3. 1364 p.
27. Наумов И.С., Петрова А.П., Барботько С.Л., Елисеев О.А. Резины с пониженной горючестью // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2016. №4. С. 27–33.
28. Наумов И.С., Петрова А.П., Барботько С.Л. Повышение пожарной безопасности резины на основе силоксанового каучука // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2015. №3. С. 30–35.