

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ



Метод участковых скоростей для диагностики
перевозочного процесса сети железных дорог

стр. 12



- 4 Оптимизация порожних вагонопотоков
в современных условиях
- 30 АСУ «Экспресс» – дорога длиной в 50 лет

О РАЗРАБОТКЕ РЕЗИН ДЛЯ УПЛОТНЕНИЙ ТОРМОЗНЫХ ПРИБОРОВ С УВЕЛИЧЕННЫМ СРОКОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

К.Ю. ЗЕРЩИКОВ,

ООО «Константа-2» (г. Волгоград),
директор, кандидат технических наук

Ю.В. СЕМЕНОВ,

ООО «Константа-2»,
заместитель директора, кандидат технических наук

С.С. СТАРОСТИН,

АО «Транспневматика» (г. Первомайск),
главный конструктор

Н.Н. ШАРИН,

АО «Транспневматика»,
директор по развитию

М.А. ВАНИЕВ,

Волгоградский государственный
технический университет (ВолгТУ), заведующий кафедрой
«Химия и технология переработки эластомеров»,
доцент, доктор технических наук

состоящим, иметь невысокий коэффициент трения скольжения, обладать химической стойкостью, сохранять эластичность и прочность в течение всего срока эксплуатации (рис. 1). При этом необходимо помнить об экономических показателях, накладывающих дополнительные серьезные ограничения на выбор материалов.

Отметим, что усилия по разработке резин, обладающих длительным сроком эксплуатации и морозостойкостью до -60°C , уже предпринимались. Были получены уплотнения, позволяющие эксплуатировать тормозные приборы при заданных внешних условиях в течение шести лет. Однако такой срок эксплуатации уже не отвечает современным требованиям, необходимо его увеличение как минимум в 1,5, а оптимально – в 2 раза.

Это нетривиальная задача, прежде всего из-за сложности подтверждения возможности работы уплотнения столь длительный срок. Однако имеющаяся на настоящий момент нормативная база в виде ГОСТ ИСО 11346–2017 «Резина и термоэластопласты. Оценка срока службы и максимальной температуры применения», позволяет делать объективные научно обоснованные заключения о долговечности на основе ускоренных испытаний после термостарения. Наличие современной экспериментальной базы для проведения всеобъемлющих иссле-

УПЛОТНЕНИЯ являются одной из основных составляющих частей гидравлических и пневматических приборов железнодорожного подвижного состава, во многом определяющей их рабочие характеристики и срок службы. Совершенствование уплотнений и уплотнительных узлов, в частности повышение их долговечности для обеспечения межремонтного периода указанных приборов, идентичного сроку межремонтного пробега инновационных грузовых вагонов (8 лет или 1 млн км) – насущная задача. Ее можно подразделить на две взаимозависимые части: материаловедческую (оптимальный выбор материалов для уплотнений) и конструкторскую (создание уплотнительных узлов, отвечающих заданным характеристикам).

Остановимся на первой части. Рассмотрим методологические принципы, лежащие в основе разработки обладающих повышенной долговечностью и имеющих высокую морозостойкость эластомеров (резин), используемых при производстве уплотнений тормозных цилиндров.

Основное требование к материалу разрабатываемых уплотнений тормозных приборов (тормозных цилиндров, авторежимов) – сохранение работоспособности при температурах окружающего воздуха от -60 до $+80^{\circ}\text{C}$ (в том числе и при резких перепадах температур), а также при воздействии давления до 1,0 МПа в условиях трения и износа в среде смазочных масел. Для сохранения длительной герметичности узла материал уплотнения должен быть изно-

Рис. 1. Основные зависимости между свойствами материала и эксплуатационными характеристиками уплотнения

дований свойств материалов дает возможность выявлять даже минимальные изменения структуры и свойств после внешних воздействий и с максимальной достоверностью оценивать их последствия. Таким образом, имеются условия для разработки эластомерных уплотнений с требуемыми эксплуатационными свойствами и долговечностью. Однако необходима доказательная база, позволяющая делать квалифицированное заключение о долговечности резин по результатам ускоренных испытаний, т.е. наличие экспериментальных данных, подтверждающих эксплуатационную долговечность.

Согласно ГОСТ ИСО 11346–2017 срок службы – это время, за которое при определенной температуре свойства материала достигают заданных пороговых значений. Очень важно правильно определить совокупность свойств, которые являются основополагающими для прогнозирования длительной работоспособности уплотнений. Как уже отмечалось, для материала уплотнения это прочностные, химические и трибологические свойства (см. рис. 1), пороговые значения которых следует найти. Одной из границ диапазона допустимых значений являются значения свойств уплотнения, задаваемые нормативными документами, в том числе ГОСТ 33724.1–2016 «Оборудование тормозное пневматическое железнодорожного подвижного состава. Требования безопасности и методы контроля» и ТУ 2539-170-00152106–97 «Изделия резиновые уплотнительные для тормозных пневматических систем



подвижного состава железных дорог». Очевидно, что в процессе эксплуатации значения изменяются в сторону ухудшения, поэтому другой граничной точкой являются значения свойств, при которых уплотнения еще выполняют свои функции, но на пределе возможностей. Так как изначально эти значения неизвестны, стоит задача их определить и обосновать.

Если говорить о показателях герметичности и морозостойкости, задаваемых относительной остаточной деформацией после старения на воздухе при температуре 100 °С при сжатии на 20 % в течение 24 ч и коэффициентом морозостойкости по эластическому восстановлению после сжатия на 20 % при температуре –60 °С, то понятно, что в процессе ускоренных испытаний они не должны превышать показатели, заданные в государственных стандартах и технических условиях.

При определении пороговых значений деформационно-прочностных свойств руководствуемся информацией, приведенной в [1–3]. В частности, согласно [1] резина сохраняет свои эксплуатационные свойства при $K_c \geq 0,4$, где K_c – коэффициент старения, равный отношению какого-либо физико-механического показателя после теплового старения в

ненапряженном состоянии к его исходному значению. Принимаем $K_c = 0,5$, т.е. полагаем, что возможное изменение значений свойств материала на 50 % от исходных не приведет к потере уплотнением эксплуатационных свойств.

Итак, нам необходимо оценить изменения после термостарения значений ключевых свойств, определяющих работоспособность изделий, а именно:

- физико-механических свойств материала, которые показывают, как будут изменяться при термостарении прочностные и эластические свойства, характеризующие способность выдерживать заданное давление и циклическое воздействие нагрузки;
- трибологических свойств для оценки изменения стойкости при возвратно-поступательных движениях уплотнений;
- характеристик морозостойкости для оценки изменения минимальной температуры применения уплотнений;
- остаточной деформации сжатия при повышенных и пониженных температурах для оценки изменения герметизирующих свойств уплотнений.

Далее следует сравнить найденные значения с пороговыми и на основании этого оценить возможный срок эксплуатации уплотнений в реальных условиях.

Поскольку мы имеем дело со структурно чувствительными материалами, невозможно дать объективное заключение об их долговечности, не исследовав изменения, происходящие в структуре материала в процессе термостарения или эксплуатации. Одним из важнейших показателей, характеризующих структуру материала, является температура стеклования $T_{ст}$. Для ее определения используем динамический механический анализ, руководствуясь ГОСТ 57739–2017 «Композиты полимерные. Определение температуры стеклования методом динамического механического анализа», и динамическую сканирующую калориметрию в соответствии с ГОСТ 55135–2012 «Пластмассы. Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК). Определение температуры стеклования». Помимо испытаний после термостарения необходимо также произвести сравнительные

оценки изменения свойств после эксплуатации или ресурсных испытаний, по завершении которых изделия еще работоспособны. Такие оценки крайне важны, в частности для проверки выводов, сделанных по результатам ускоренных испытаний.

Таким образом, мы обозначили необходимые и достаточные условия для объективного заключения о сроках эксплуатации эластомерных уплотнений, обладающих заданными характеристиками.

Как показала многолетняя эксплуатация уплотнений тормозных приборов, исходные свойства применяемых резин вполне обеспечивают эксплуатационные характеристики этих приборов в плане надежности срабатывания и герметичности, что свидетельствует об адекватности задаваемых государственными стандартами и техническими условиями контрольных показателей. Поэтому необходимо, чтобы показатели

материалов и уплотнений из них соответствовали контрольным, задаваемым ГОСТ и ТУ. Кроме того, исходные показатели резины важны для оценки динамики изменения ее свойств в процессе ускоренных испытаний.

Для проверки адекватности изложенной выше методики был использован метод форсированных испытаний, состоящий в сравнительной оценке показателей работоспособности уплотнений до и после ресурсных испытаний. Испытаниям были подвергнуты манжеты из разработанной ООО «Константа-2» резины К-2-100-13 [4]. Ее исходные показатели, а также контрольные показатели, регламентируемые ГОСТ и ТУ, представлены в таблице. Испытания манжет (рис. 2) в составе тормозных цилиндров и автоматических регуляторов режима торможения (авторежимов) были проведены на стендах АО «Транспневматика». Соот-

Исходные показатели резины К-2-100-13 и манжет

Показатель	Значение показателя	Стандарт испытаний	Требования ТУ
Условная прочность при растяжении, МПа	11,2	ГОСТ 270–75	Не менее 8
Относительное удлинение при разрыве, %	160,5	ГОСТ 270–75	Не менее 140
Твердость, усл. ед. Шор А	75	ГОСТ 263–75	70 ± 5
Плотность, г/см ³	1,234	ГОСТ 15139–69	–
Остаточная деформация сжатия при температуре: –60 °С –25 °С	0 13	ГОСТ 815-2-2017 ГОСТ 815-1-2017	– –
Коэффициент морозостойкости по эластическому восстановлению после сжатия на 20 % при температуре минус 60 °С, не менее	0,16–0,18	ГОСТ 13808	0,15
Относительная остаточная деформация после старения на воздухе при сжатии на 20 % в течение 24 ₂ ч при температуре 100 °С, %, не более	42	ГОСТ 9.029 (метод Б)	60
Изменение массы после воздействия СЖР-3 при температуре 70 ± 2 °С в течение 24 ₂ ч, %	3,2–5,7	ГОСТ 9.030 (Метод А)	От –3 до +8
Температура стеклования по модулю упругости согласно данным ДМА, °С	–65,5	ГОСТ 57739–2017	–
Температура стеклования согласно данным ДСК, °С	–70,5	ГОСТ 55135–2012	–
Температурный предел хрупкости, °С	–58	ГОСТ 7912–74	–
Морозостойкость манжеты тормозных цилиндров диаметром свыше 300 мм из резины К-2-100-13	Соответствует стандарту	ГОСТ 33724.1–2016	Соответствует требованиям



Рис. 2. Манжета тормозного цилиндра из резины К-2-100-13 (основные размеры соответствуют ГОСТ 6678)



Рис. 3. Характерные разрушения манжеты после 360 тыс. циклов

ветствие тормозных цилиндров и авторежимов требованиям, заложенным в технических условиях, проверялось после каждых 30 тыс. циклов срабатываний с одновременным выполнением климатических испытаний при крайних значениях рабочих температур (-60°C и $+60^{\circ}\text{C}$). Было установлено, что авторежимы остались в работоспособном состоянии после 420 тыс. циклов и могли быть подвергнуты дальнейшим испытаниям, а тормозные цилиндры исправно отработали около 360 тыс. циклов (что примерно соответствует девяти годам эксплуатации подвижного состава при усредненном значении 40 тыс. торможений в год), после чего перестали выполнять свои функции в процессе испытания в климатической камере при температуре -60°C .

Тормозные цилиндры разобрали и провели дефектацию. Причиной отказа явилось разрушение кромки манжеты (рис. 3), произошедшее в ходе испытания при отрицательной температуре. При исследовании манжеты под микроскопом с 16-кратным увеличением была обнаружена расходящаяся веером сетка трещин с общей точкой зарождения и роста. Это говорит о хрупком разрушении резины после замораживания. В пользу такого заключения свидетельствует рост в процессе испытаний

определенной с помощью метода ДСК температуры стеклования на $17,5^{\circ}\text{C}$, а именно с $-77,4^{\circ}\text{C}$ у исходного материала до $-59,9^{\circ}\text{C}$ после ресурсных испытаний. С помощью микроскопа были обнаружены также мелкие дефекты — вырывы, размер которых варьировался от 0,05 до 0,1 мм. Наличие таких дефектов может указывать на начало процесса старения резины, что в свою очередь свидетельствует о необходимости повышать усталостную прочность материала.

Проверка морозостойкости манжеты, подвергшейся испытаниям методом изгиба по ТУ 2536-170-00152106-97, показала, что усилие, необходимое для изгиба манжеты на угол 45° при температуре -60°C , составило 17–18 кгс, что является критичной величиной эластичности при замораживании, в то время как до испытаний эта величина составляла 11–12 кгс. Следовательно, за время испытаний материал манжеты претерпел некие изменения, приведшие к снижению его эластичности.

В то же время твердость манжет в процессе испытаний не изменялась, оставаясь равной 70–72 по Шору А. Поскольку твердость прямо пропорциональна степени структурирования (сшивки) резины, то ее неизменность может свидетельствовать об отсутствии

каких-либо процессов старения материала манжет в ходе испытаний. Эту противоречивость полученных данных предстоит разрешить в ходе дальнейших работ по совершенствованию рецептуры резин, предназначенных для длительной эксплуатации в составе тормозных приборов.

Как известно, на эластичность, температуру стеклования и морозостойкость резины существенным образом влияет количество пластификатора в ее составе. Определение содержания пластифицирующих веществ в манжете методом экстракции в толуоле по ГОСТ 9.716-91 «Материалы полимерные. Методы определения содержания пластификатора при старении. Метод 1» позволило выявить их потерю в процессе испытаний в размере 4,5 % от исходного содержания, что могло сказаться на работоспособности манжеты при отрицательных температурах. Чтобы проверить, могло ли снижение такого количества пластификатора привести к уменьшению морозостойкости, были приготовлены резиновые смеси с различным содержанием пластификатора, для каждой из которых был определен коэффициент морозостойкости. Установлено, что при уменьшении содержания пластификатора с 49 до 35 массовых частей (масс. ч.) на 100 масс. ч. каучука коэффициент

морозостойкости по эластическому восстановлению снижается с 0,19 до 0,13.

На основе полученных данных был сделан вывод об уменьшении морозостойкости манжеты в процессе ресурсных испытаний вследствие миграции пластифицирующих веществ на ее поверхность с последующим их удалением из зоны контакта в ходе возвратно-поступательного движения манжеты в цилиндре. У манжет, проходивших испы-

тания в составе авторежимов, миграция пластифицирующих веществ происходила в меньшей степени, что, по мнению авторов статьи, связано с меньшими линейными перемещениями рабочих кромок манжет авторежимов и, соответственно, с меньшим их пробегом за время испытаний, чем у манжет тормозных цилиндров.

Стойкость к старению испытываемого материала на данном этапе можно считать удовлетвори-

тельной и не требующей дальнейшей оптимизации.

Таким образом, методологические принципы разработки материалов для создания уплотнений повышенной долговечности нашли подтверждение при натурных испытаниях. Полученные результаты могут быть положены в основу при разработке тормозных приборов с увеличенным сроком эксплуатации.

ВОЛГОГРАД – ПЕРВОМАЙСК

Литература

1. Аврущенко Б.Х. Резиновые уплотнители / Б.Х.Аврущенко. – Л.: Химия, 1978. – 136 с.
2. Уплотнения и уплотнительная техника: справочник / под общ. ред. А.И.Голубева, Л.А.Кондакова – М.: Машиностроение, 1994. – 448 с.
3. Flitney Robert. Seals and Sealing Handbook / Robert Flitney. – Elsevier, 2007. – 632 p.
4. Зерщиков К.Ю. Инновационные уплотнения гидравлических и пневматических приборов железнодорожного транспорта / К.Ю.Зерщиков, Ю.В.Семенов, С.С.Старостин // Железнодорожный транспорт. – 2019. – № 12. – С. 70–75.



ООО «Константа-2»
Россия, 400120, г. Волгоград,
ул. Елисеева, 3
8(8442) 94-55-56, 97-26-40
www.constanta-2.ru
secret@constanta-2.ruom@constanta-2.ru

ООО «Константа-2» производит по НД, чертежам и образцам заказчика и поставляет для применения в ответственных узлах, в том числе в составе оборудования для ОАО «РЖД»:

- манжеты и воротники,
 - диафрагмы, уплотнения, прокладки,
 - пыльники и чехлы,
 - клапаны,
 - амортизаторы, резинометаллические шарниры,
 - шины массивные резиновые и другие комплектующие.
- Изделия выпускаются из резин на основе каучуков специального назначения (NBR, EPDM, FKM, HNBR и др.) с увеличенными сроками эксплуатации при температурах от -60 °С до +200 °С. Продукция соответствует требованиям ТР ТС 001/2011 «О безопасности железнодорожного подвижного состава».

