

# ИННОВАЦИОННЫЕ УПЛОТНЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

**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

**З**АДАЧИ улучшения рабочих характеристик и снижения стоимости жизненного цикла используемых на железнодорожном транспорте пневмо- и гидроприборов не могут быть решены без повышения надежности и ресурса устанавливаемых в этих приборах уплотнений. Несмотря на то что стоимость уплотнений составляет незначительную часть от общей стоимости прибора, их вклад в надежность конечного изделия колоссален. Как правило, именно состояние уплотнений является определяющим критерием для установления интервалов безремонтного пробега подвижной единицы. Вот почему так важно применение современных материалов и конструкций уплотнительных узлов и входящих в них уплотнений.

Исходя из условий, в которых работают уплотнения в приборах железнодорожного подвижного состава (большой диапазон температур, высокие механические нагрузки статического и динамического характера, интенсивное трение как в присутствии смазки, так и без нее, иногда при воздействии абразивов), идеальным уплотнительным узлом следует счи-

тать максимально технологичный узел, работоспособный при температурах от  $-70$  до  $150$  °С, имеющий нулевую протечку в течение как минимум 10 лет, малые массу и габаритные размеры, и, как результат, обеспечивающий минимальную стоимость жизненного цикла прибора. Проектирование такого узла стало возможно в связи с появлением на рынке новых типов уплотнений, в частности комбинированных уплотнений, свойства которых синергетически объединяют свойства элементов уплотнения и новых композиционных материалов.

Одним из наиболее часто применяемых уплотнений являются кольца круглого сечения. Традиционно они изготавливаются из резины различного состава и назначения (рис. 1, а), реже, когда требуются высокие химическая стойкость и теплостойкость — из фторопласта (рис. 1, б). Примером более прогрессивного решения могут служить комбинированные резинофторопластовые кольца (РФК), представляющие собой резиновый эластичный сердечник, заключенный в тонкую фторопластовую оболочку (рис. 1, в). Такое

уплотнение сочетает в себе высокоэластические свойства эластомера и уникальную агрессивную и теплостойкость фторопластовой оболочки. РФК выдерживают любые коррозионноактивные среды в интервале температур от  $-200$  до  $250$  °С при давлениях до 50 МПа. Использование фторопластовой оболочки для капсулирования резиновых уплотнений различных сечений и конфигурации позволяет расширить области применения их в качестве уплотнений в подвижных соединениях, так как резко снижается коэффициент трения.

Другой разновидностью комбинированных уплотнений, находящих все большее применение в уплотнительной технике, являются манжеты с подпружинивающим элементом (МПЭ). Они с успехом могут заменить традиционно используемые резинометаллические манжеты (рис. 2, а), резиновые манжеты для пневмо- и гидроприборов, шевронные манжеты (см. далее), поскольку обладают универсальной агрессивностойкостью, стойкостью к декомпрессии и способностью длительно поддерживать контактное давление. Эти уплотнения однонаправленного действия состоят из U-образного полимерного кольца и спиралевидной (рис. 2, б) или плоской (рис. 2, в) пружины из нержавеющей стали либо резинового кольца во фторопластовой оболочке (рис. 2, г) как активирующего элемента, поддерживающего постоянное контакт-

ное давление в соединении. МПЭ характеризуются низким коэффициентом трения, минимальной силой страгивания (начала движения), большой износостойкостью и отсутствием залипания после длительных простоев. Они обеспечивают герметичность в соединении и не допускают проникновения газов даже при низких температурах. Благодаря использованию фторопласта они устойчивы в большинстве жидкостей и химикатов. МПЭ применяются для радиальных неподвижных или подвижных соединений при давлениях до 80 МПа, температуре от  $-200$  до  $260$  °С, скорости взаимного перемещения сопрягаемых элементов до 15 м/с.

При уплотнении подвижных соединений всегда присутствует задача обеспечить минимальное сопротивление в узлах трения. Для этого применяют подшипники качения либо полимерные подшипники скольжения. Первые требуют смазки, вторые чувствительны к перепаду температур, оба варианта имеют большие габаритные размеры и невысокую нагрузочную способность. Нанесение слоя полимера с высокой адгезионной прочностью на металлическую подложку из углеродистой или нержавеющей стали позволяет получить подшипники скольжения, сочетающие высокие антифрикционные свойства, коррозионную стойкость, возможность эксплуатации при температурах до  $250$  °С без смазки. Такие подшипники не чувствительны к перепаду температур, так как имеют одинаковый коэффициент линейного расширения со стальной основой. Металлофторопластовые подшипники скольжения (рис. 3) имеют армированную стеклотканью антифрикционный слой, благодаря которому выдерживают высокие статические (давление до 250 МПа) и динамические (до 180 МПа) нагрузки. Подшипники



Рис. 1. Кольца круглого сечения: а – резиновое; б – фторопластовое; в – резинофторопластовое

скольжения могут быть радиальными и упорными как с внутренним, так и с наружным антифрикционным слоем. Их диаметр может достигать до 1500 мм. Коэффициент трения скольжения без смазки высоконагруженных подшипников находится в пределах  $0,03-0,05$ . Скорость скольжения при отсутствии смазки зависит от нагрузки и ограничена 3 м/с. При наличии смазки она существенно возрастает и может достигать 10 м/с. Применение металлофторопластовых подшипников позволяет снизить массогабаритные характеристики узлов трения, существенно повысить их триботехнические и противокоррозионные характеристики и в конечном итоге увеличить ресурс работы оборудования.

В последнее десятилетие появились новые композиционные

материалы на основе полиэфирэфиркетона, полифениленсульфида и фторопласта, используемые в компрессоростроении. Их отличают высокие прочность и износостойкость, низкий (в пределах  $0,1-0,2$ ) коэффициент трения скольжения. Выполненные из них уплотнения традиционного прямоугольного сечения (рис. 4, а) или манжетные уплотнения (рис. 4, б) предназначены для компрессоров, работающих как в условиях сухого трения, так и при контакте с маслами и другими смазывающими жидкостями. Указанные уплотнения могут эксплуатироваться при давлениях до 20 МПа, температуре до  $250$  °С и максимальной скорости скольжения до 10 м/с. Их диаметр может достигать до 1500 мм.

Выбор материала для уплотнения – это всегда поиск компромисса между различными, подчас



Рис. 2. Манжеты для уплотнения подвижных и неподвижных соединений: а – резинометаллическая; б, в – МПЭ соответственно со спиралевидной и плоской пружинами; г – резиновое кольцо во фторопластовой оболочке

Рис. 3. Металлофторопластовые подшипники скольжения: а – упорные; б, в – радиальные соответственно с наружным и внутренним антифрикционными слоями





Рис. 4. Компрессорные кольца для безмасляных компрессоров из высокотермостойких антифрикционных материалов:  
а – прямоугольного сечения;  
б – манжетные

противоречащими друг другу критериями. Так, для более высокого давления необходим более прочный, жесткий материал, тогда как для обеспечения герметичности – более мягкий. Для высоких температур эксплуатации необходима высокая прочность, а для низких – высокая пластичность, что также трудно совместить. На эти требования накладывается необходимость обеспечения физической и химической инертности в эксплуатационных средах. В дополнение требуется соблюсти условия экономичности, что также сужает перечень возможных к применению материалов. Только композиционные материалы на основе полимеров позволяют удовлетворять широкому спектру условий эксплуатации уплотнений. Основные физико-механические свойства материалов, рекомендуемых к использованию в уплотнительных узлах пневмо- и гидроприборов, представлены в **табл. 1**. Рассмотрим возможные области применения вышеперечисленных композитов.

*Констафтор 300* как материал на основе фторопласта (тефлона) сочетает в себе низкий коэффициент трения, присущий фторопласту 4, с высокой несущей способностью и низкой ползучестью при повышенных температурах, которые придает ему армирование модифицированным углеродом. Он может применяться при давлении до 20 МПа и скорости скольжения до 3 м/с (по данным показателям его диапазон шире, чем у фторопласта), сохраняя при этом невысокую твердость, а сле-

довательно, высокие показатели герметичности. Этот материал рекомендуется для термически напряженных подвижных и неподвижных уплотнений.

*Констафтор 1000* оправдано применять при наличии высоких, до 250–300 °С, температур эксплуатации, интенсивном абразивном и коррозионном воздействии. Он может быть использован при изготовлении тяжело нагруженных подшипников скольжения, работающих при линейной скорости вращения до 10 м/с и давлении до 70 МПа, уплотнений пар возвратно-поступательного и вращательного движения. Материал представляет собой композицию на основе полиэфирэфиркетона (ПЭЭК, РЕЕК), армированного различными волокнами. Он имеет более высокие жесткость и механическую прочность, чем матрица, оптимальную износостойкость, умеренный коэффициент трения и высокую и весьма универсальную химическую стойкость. Введение волокон в полимерную матрицу расширяет материал и обеспечивает в 3,5 раза большую его теплопроводность, более быстрое рассеивание теплоты с несущей поверхности. Все это повышает срок службы изготовленных из него подшипников или поршневых колец. Полиэфирэфиркетон обладает хорошими изоляционными свойствами. Дозированным введением волокон той или иной природы можно регулировать диэлектрические свойства материала и его способность накапливать статическое электричество на

поверхности, что является существенным преимуществом для материала, используемого в электроприборах. Низкая ползучесть и высокая ударная вязкость позволяют рекомендовать его для клапанных уплотнений, работающих в тяжелых условиях.

*Констафтор 400* – высоконаполненная фторопластовая композиция, получаемая по инновационной технологии горячего прессования. Этот материал по основным показателям занимает промежуточное положение между материалами двух вышеуказанных марок. Он имеет высокую теплостойкость, сохраняя до максимально возможных рабочих температур прочностные свойства на верхнем пределе и отсутствие ползучести. Поскольку материал обладает низким коэффициентом трения вплоть до максимальных температур, его рекомендуется применять при необходимости найти компромисс между теплостойкостью и антифрикционными характеристиками.

*Констафтор СВМ* – композит на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) с антифрикционными и усиливающими наполнителями. Его отличительными свойствами являются малый удельный вес, низкий коэффициент трения скольжения, уникальная износостойкость, сравнимая с износостойкостью полиуретанов, и агрессивностойкость, сравнимая с агрессивностойкостью фторопласта 4. Он предназначен для работы в коррозионной среде при температуре от –70 до 100 °С и давлении до 50 МПа. Отличные износостойкость и прочность в сочетании с хорошими антифрикционными качествами позволяют использовать этот материал для изготовления уплотнений подвижных соединений, а также нагруженных деталей. Таким образом, его можно применять

Таблица 1

**Некоторые свойства полимерных материалов, рекомендуемых к применению в уплотнительных узлах**

| Материал         | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Прочность при растяжении, МПа | Относительное удлинение, % | Твердость по Шору (шкала D) | Модуль упругости, МПа | Коэффициент трения скольжения | Диапазон рабочих температур, °С |
|------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Констафтор 300   | 2,0–2,17                     | 23,5–25,5                     | 40–100                     | 50–60                       | 1190                  | 0,1–0,14                      | -200–250                        |
| Констафтор 400   | 2,2–2,5                      | 23,4–34,1                     | 100–300                    | 55–65                       | 1650                  | 0,1–0,2                       | -70–200                         |
| Констафтор 1000  | 1,3–1,6                      | 100–200                       | 5–30                       | 80–90                       | 3600                  | 0,15–0,2                      | -100–300                        |
| Констафтор СВМ   | 0,9–0,98                     | 40–45                         | 250–450                    | 60–70                       | 2000                  | 0,1–0,2                       | -70–100                         |
| Констафтор 1000С | 1,35–1,55                    | 75–150                        | 12–25                      | 70–90                       | До 5000               | 0,1–0,2                       | -40–190                         |
| Констафтор ИП    | 1,9–2,0                      | 20–22                         | 200–250                    | 60–65                       | 1200                  | 0,08–0,12                     | -100–200                        |

в нагруженных узлах трения при отсутствии смазки, наличии абразивных воздействий, не принимая во внимание агрессивное влияние рабочей среды.

*Констафтор 1000С* – композит на основе полифениленсульфида (ПФС, PPS) – может применяться в конструкциях, подверженных высоким знакопеременным нагрузкам, при наличии высокоагрессивных сред. Его отличают высокая износостойкость, спо-

собность выдерживать нагрузку и стабильность размеров при воздействии химических реагентов в высокотемпературной среде. Констафтор 1000С используют там, где возможности полиамида, полиоксиметилена и других аналогичных полимеров недостаточны, или где возможности суперпластиков, например композитов на основе ПЭЭК, избыточны и необходимо найти более экономичное решение. Материал может работать в

диапазоне температур от –40 до 190 °С при давлении до 80 МПа. Высокий модуль упругости и низкая ползучесть позволяют использовать его при изготовлении шестерен, звездочек для передачи высоких крутящих моментов в условиях воздействия агрессивных агентов и абразивов.

*Констафтор ИП* – это полимер-полимерная композиция на основе фторопласта 4 с полиэфирными волокнами. Уплот-

Таблица 2

**Физико-механические свойства саженополненных резин серии К-2, разработанных в ООО «Константа-2»**

| Показатель   | К-2-100-13          | К-2-160-14                        | К-2-250-16       | К-2-120-12 | К-2А         |
|--|---------------------|-----------------------------------|------------------|------------|--------------|
| Каучук, служащий основой резиновой смеси   | Бутадиен-нитрильный | Гидрированный бутадиен-нитрильный | Фторсилоксановый | Уретановый | Бутадиеновый |
| Твердость по Шору (шкала А)  | 70–80               | 70–85                             | 55–75            | 65–80      | 70–80        |
| Прочность при растяжении, МПа, не менее  | 8                   | 15                                | 7                | 16         | 14           |
| Относительное удлинение при разрыве, %, не менее   | 140                 | 140                               | 150              | 240        | 200          |
| Остаточная деформация сжатия после старения на воздухе в течение 24 ч и сжатии на 20 % при температуре 100 °С, %, не более | 55                  | 45                                | 30               | 55         | 55           |
| Диапазон рабочих температур, °С  | -60–100             | -60–160                           | -60–250          | -55–120    | -60–80       |
| Коэффициент морозостойкости по эластическому восстановлению после сжатия на 20 % при температуре -60 °С, не менее          | 0,18                | 0,15                              | 0,20             | 0,15       | 0,18         |
| Изменение массы после воздействия смазки СЖР-2, либо ЦИАТИМ 221 при температуре 70 °С в течение 24 ч, %, не более          | 6                   | 8                                 | 2                | 2          | 6            |
| Максимальное давление эксплуатации, МПа  | 10                  | 10                                | 1,2              | 10         | 10           |



Рис. 5. Резинотехнические изделия, изготавливаемые из новых материалов:  
 а – манжета; б – грязесъемник; в – шевронные уплотнения в комплекте с нажимным и опорным кольцом;  
 г, д – мембранные уплотнения для разделения сред и (или) компенсации избыточных воздействий в гидравлических и пневматических устройствах;  
 е, ж – резинометаллические амортизатор и шарнир

нения из этого композита отличаются высокой стабильностью размеров в широком диапазоне температур, отличными антифрикционными характеристиками, хорошей стойкостью к воздействию повышенных давлений, значительной износостойкостью. Перечисленные эксплуатационные особенности позволяют успешно использовать указанный материал для изготовления уплотнений в подвижных соединениях, в том числе работающих при низких температурах.

Применение рассмотренных композиционных материалов позволяет улучшить конструкцию уплотнительных узлов, существенно увеличив тем самым продолжительность безотказной работы приборов железнодорожного подвижного состава.

Несмотря на появление новых видов уплотнений и материалов остаются востребованными и традиционно используемые в приборах резиновые уплотнения. Однако назрела необходимость повышения их рабочих характеристик, в том числе морозостойкости в связи с ускорением освоения северных и арктических территорий. Добиться этого возможно применением но-

вых резиновых смесей, из которых изготавливаются уплотнения.

ООО «Константа-2» разработаны морозостойкие (до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) резины на основе бутадиеннитрильного, гидрированного бутадиеннитрильного, фторсилоксанового каучуков, а также износостойкие резины на основе уретановых каучуков и резины с высокими демпфирующими и амортизирующими свойствами на основе бутадиеновых каучуков. Их характеристики представлены в табл. 2, из которой следует, что указанные резины соответствуют требованиям ТУ 2539-170-00152106-97 «Изделия резиновые уплотнительные для тормозных пневматических систем подвижного состава железных дорог. Технические условия» и ГОСТ 33724.1-2016 «Оборудование тормозное пневматическое железнодорожного подвижного состава. Требования безопасности и методы контроля. Часть 1. Воздухораспределители, краны машиниста, блоки тормозные, изделия резиновые уплотнительные».

Отличительными свойствами резин марки *K-2-100-13* являются удовлетворительные физико-механические показатели в

среде масел и алифатических углеводородов, хорошая гибкость и эластичность при низких температурах; марки *K-2-160-14* – высокие физико-механические показатели при повышенной температуре (до  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) в среде синтетических масел и воздуха, износостойкость, удовлетворительная остаточная деформация сжатия; *K-2-250-16* – стойкость к атмосферным воздействиям, машинным маслам и топливу, сохранность механических, диэлектрических и водоотталкивающих свойств в широком интервале температур; *K-2-120-12* – высокие физико-механические показатели, износо-, вибро-, озоно- и светостойкость, а также радиационная стойкость; *K-2А* – высокие износо- и атмосферостойкость, а также амортизирующая способность. Разрешенные среды эксплуатации всех указанных резин – атмосферный воздух, природный газ, вода, водомасляные эмульсии, алифатические и циклоалифатические углеводороды, масла, нефть и ее производные, пластичная смазка ЖТ-79Л, смазка Пласма-Т5, консистентная смазка ЦИАТИМ-221, гидрожидкости.

В АО «Транспневматика», производящем тормозное и компрессорное оборудование, а также гидравлические гасители колебаний для нужд железнодорожного транспорта, изделия из разработанных резин были подвергнуты стендовым испытаниям в климатических камерах при температуре  $-60$ ,  $60$  и  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а также испытаниям на надежность. Испытания дали хорошие результаты.

На основе перечисленных разработок производится широкий класс резинотехнических изделий: манжеты гидравлических и пневматических приборов (рис. 5, а); грязесъемники (рис. 5, б); шев-

ронные (рис. 5, в) и мембранные (рис. 5, г, д) уплотнения; резинометаллические амортизаторы (рис. 5, е) и шарниры (рис. 5, ж).

Шевронные уплотнения особенно подходят для условий эксплуатации, при которых существует риск загрязнения или повреждения. Они очень прочные, нетребовательны к степени обработки уплотняемой поверхности, работоспособны при давлении до 25 МПа и температуре от -60 до 200 °С.

Мембраны являются идеальным исполнительным механизмом, выполняющим одновременно функцию разделения сред, однако в случае использования традиционных материалов они работоспособны при невысоких давлениях и температурах. Применение инновационных резин и

армирование аппретированными высокопрочными полимерными волокнами позволяют эксплуатировать их при давлении до 5 МПа в диапазоне температур -60–200 °С.

Резинометаллические шарниры и амортизаторы применяются при необходимости обеспечить высокую прочность и упругие свойства узла, возможность взаимного перемещения элементов при сохранении целостности сопряжения и рассеяния кинетической энергии колебаний и соударений в окружающую среду. Для указанных устройств наиболее подходит резиновая смесь К-2А на основе бутадиенового каучука, которая обладает уникальными демпфирующими характеристиками, сохраняя при этом морозостойкость до темпе-

ратуры -50 °С. Совместная работа резинового массива и стальной арматуры обеспечивается за счет применения современных адгезивов. Перечисленные решения позволяют изготавливать высоконагруженные изделия с длительным сроком эксплуатации, выдерживающие низкие температуры и воздействие окружающей среды.

Рассмотренные конструкции уплотнений и инновационные материалы для их изготовления предоставляют новые возможности повышения эффективности, долговечности и снижения стоимости жизненного цикла гидравлических и пневматических приборов железнодорожного транспорта.

ВОЛГОГРАД – ПЕРВОМАЙСК



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

