

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ КОЛЕСНЫХ ТОРМОЗНЫХ ЦИЛИНДРОВ
АВТОМОБИЛЕЙ**

INCREASE OF THE RELIABILITY OF VEHICLE WHEEL BRAKE CYLINDERS

В.С. Нагорских, к.т.н., доцент, **Л.А. Новопашин**, к.т.н., доцент,

С.В. Балаба, аспирант Уральского государственного аграрного университета
(Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42),

А.В. Филиппов, к.с-х.н., доцент Уральского института ГПС МЧС России
(Екатеринбург, ул. Мира, 22).

Рецензент: В.А. Тимкин, к.т.н., доцент

Уральского государственного аграрного университета

Аннотация

Конструкция и принцип работы тормозных систем у различных автомобилей во многом похожи. Основным рабочим элементом тормозных механизмов является рабочий тормозной цилиндр, устройство, которое включает в себя уплотнительные резиновые манжеты. Суровые условия эксплуатации и высокая агрессивность рабочей среды негативно влияют на состояние стандартных манжет тормозных цилиндров. Длительный контакт с тормозной жидкостью приводит к размягчению и повышенному износу уплотнений, вследствие чего происходит выход узла из строя. Для устранения данной проблемы было принято решение исследовать полиамидные и полиуретановые материалы, которые могут быть использованы в качестве уплотнений в рабочих цилиндрах тормозных механизмов. Эти материалы хорошо себя зарекомендовали в качестве уплотнительных элементов силовых гидроцилиндров грузоподъемных машин и механизмов. Сравнительные испытания, проводимые расчетным и экспериментальным способом, показали, что они имеют лучшие физические и эксплуатационные свойства, по сравнению с резиной. Исследование свойств уплотнительного элемента проводилось в двух режимах: статическом и динамическом. При статическом нагружении создавалось постоянное давление, при динамическом – переменное. В результате при динамических испытаниях значения падения давления незначительно отличались друг от друга, а при статических испытаниях полиамидные и полиуретановые уплотнения показали лучшие результаты по сравнению с серийными. Далее проводилось исследование влияния сил трения, возникающих в сопрягаемых элементах, со смазкой и без нее, и различными значениями натяга, которое пока-

зало, что сила трения увеличивается прямо пропорционально величине натяга, модулю упругости, и уменьшается прямо пропорционально величине коэффициента трения. При анализе полученных результатов был сделан вывод о возможности применения полиамидных и полиуретановых материалов, так как по своим свойствам они ничем не уступают резиновым элементам, а срок службы увеличивается в 4-5 раз. Это положительно скажется на надежности и долговечности данного узла.

Ключевые слова: тормозные цилиндры, надежность, резиновые и полиуретановые кольца.

Abstract

Design and operational principle of the brake systems are similar for various vehicles. The main working element of the brake mechanisms is a working brake cylinder with sealing rubber cuffs. Both operating conditions and application severity have a negative influence on the condition of the standard brake cylinder cuffs. Their long-term contact with brake fluid leads to the softening and increased wear of the seals followed by the component failure. To solve this problem polyamide and polyurethane materials are examined as the seals in the working cylinders of brake mechanisms. These materials are well-proven as the sealing elements of power hydraulic cylinders of lifting machines and mechanisms. Comparative tests carried out by both calculation and experimental methods showed that they have better physical and operational properties than rubber. The properties of the sealing element were examined in two modes: static and dynamic. At static loading pressure was constant, while at dynamic mode it was alternating. Thus, during dynamic test the values of pressure drop were not significantly different from each other. But at static test polyamide and polyurethane seals showed better results compared to generally available ones. Then the study of the influence of friction forces arising in the mating elements, with and without lubrication, and with different values of the tension was made. This showed that the friction force increases in direct proportion to the value of the tension, the modulus of elasticity and decreases in direct proportion to the value of the friction coefficient. The analysis of the results showed that polyamide and polyurethane materials can be successfully used as their properties are the same as of rubber elements, and the service life is increased by 4-5 times. This will have a positive impact on the reliability and durability of this unit.

Keywords: brake cylinders, reliability, rubber and polyurethane rings.

Колесный тормозной цилиндр. Давление, создаваемое в главном тормозном цилиндре, прижимает манжеты в колесных цилиндрах, чтобы таким образом привести в действие тормозные колодки. На большинстве автомобилей применяют двойной колесный цилиндр, т.е. в корпусе цилиндра устанавливают два поршня с манжетами, закрывающи-

ми цилиндр с двух сторон. Каждый поршень с манжетой оказывает одинаковое воздействие на соответствующую тормозную колодку.

В моделях тормозов с двумя набегающими колодками, двумя сбегающими колодками и тормозах с одним усилителем используются одиночные колесные цилиндры. Корпус цилиндра выполнен в виде стакана, где имеется один поршень и одна манжета. Эта модель колесного цилиндра с одним поршнем способна оказывать давление только на одну тормозную колодку. Такая модель используется в тормозах с двумя бегающими колодками или тормозах с одним усилителем. В тормозах без усилителей используется плавающий колесный цилиндр, крепящийся к тормозному щиту таким образом, что колесный цилиндр плавает под воздействием гидравлического давления и оказывает воздействие на одну колодку, тогда как сам поршень оказывает воздействие на другую. Иногда используются колесные цилиндры со ступенчатым внутренним диаметром. Цилиндр имеет два различных диаметра для двух поршней и манжет разной величины.

Обычный колесный цилиндр состоит из корпуса цилиндра, двух поршней, двух манжет поршней, двух пальцев центральной пружины, центральной пружины (обычно оснащенной расширителями и винтом стравливания давления). Корпус цилиндра обычно изготавливается из чугуна или алюминия. Точно так же, как и в главном тормозном цилиндре, внутренняя поверхность колесного цилиндра должна быть ровной, гладкой и строго определенного размера.

Корпус колесного цилиндра обычно делают таким образом, чтобы на нем был специальный выступ, который проходит сквозь тормозной щит. При работе тормоза возникает поперечная сила между колесным цилиндром и тормозным щитом, а этот выступ не дает колесному цилиндру двигаться относительно тормозного щита. Большинство моделей колесных цилиндров крепятся к тормозному щиту парой крепежных винтов или болтов, а иногда для этой цели используются специальные зажимы. Поршни колесных цилиндров изготавливают из анодированного алюминия, закаленной стали и пластмассы. На теле поршня обязательно имеется посадочное место для звена тормозной колодки, толкателя или выступа тормозной колодки. Внутренняя сторона поршня ровная и гладкая, поскольку манжета должна к ней плотно прилегать. В некоторых моделях колесных цилиндров поршень имеет желобок, предназначенный для кольцевой манжеты [1,2].

Влияние тормозной жидкости на резиновые уплотнения. Рабочее давление в гидроприводе тормозов достигает 10 МПа и более. Развиваемое давление передается на поршни колесных цилиндров, которые прижимают тормозные накладки к тормозным дискам или барабанам. При торможении кинетическая энергия при трении превращается в тепловую. При этом освобождается большое количество теплоты, которое зависит от мас-

сы и скорости автомобиля. При экстренных торможениях автомобиля температура тормозных колодок может достигнуть 600°C , а тормозная жидкость нагревается до 150°C и выше. Высокие температуры в тормозах и гигроскопичность жидкости приводят к её обводнению и преждевременному старению. В этих условиях жидкость может отрицательно влиять на резиновые манжеты уплотнения тормозных цилиндров, вызывая коррозию металлических деталей.

Совместимость с резиновыми уплотнениями. Для обеспечения герметичности гидравлической системы на поршни и цилиндры ставят резиновые уплотнительные манжеты. Необходимое уплотнение обеспечивается, когда под воздействием тормозной жидкости манжеты несколько набухают, и их уплотнительные кромки плотно прилегают к стенкам цилиндра. При этом недопустимо как слишком сильное набухание манжет, так и усадка манжет, чтобы не допустить утечки жидкости из системы. Уплотнители из синтетической резины быстро приходят в негодность: если манжету неправильно установить или если внутренняя поверхность цилиндра будет неровной, кромка манжеты может порваться или быть порезанной. При экстренном торможении просвет между цилиндрами и поршнем увеличивается до критической отметки. Чрезмерный просвет создает камеру, достаточную для создания гидравлического давления, способного затолкнуть материал манжеты между поршнем и пазом. Поскольку поршень не вернется в прежнее положение, а край манжеты будет изнашиваться или даже может оторваться, это состояние называется "прихватыванием" пяты.

Технические характеристики резиновых колец согласно ГОСТ. Величины допустимого рабочего давления для резиновых уплотнительных колец зависят от типа соединения и особенностей среды:

- до 50 МПа, предназначены для фиксированных соединений, работающих в среде минерального масла, жидкого топлива, эмульсии, смазки, соленой и пресной воды;
- до 32 МПа, используемые в соединениях подвижного типа, находящихся в среде минерального масла, жидкого топлива, эмульсии, смазки, соленой и пресной воды;
- до 40 МПа, используемые в неподвижных соединениях, находящихся в среде под давлением воздуха;
- до 10 МПа, применяемые в соединениях подвижного типа в среде сжатого воздуха, тормозной жидкости.

Рабочая температура составляет от -60 до $+300^{\circ}\text{C}$ и зависит от группы применяемой резиновой смеси.

В зависимости от точности изготовления различают две группы изделий – только для подвижных соединений и для соединения подвижного и неподвижного типа (см. таблицу 1).

Таблица 1

Технические характеристики применяемых резин согласно ГОСТ

| Группа резин | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------------------------------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|
| Тип эластомера | Бутадиен-нитрильный каучук | | | | Фторкаучук | | | Силиконовый | БНКС |
| Марка резиновой смеси | КР-360-3 | 7-9831 | 7-В-14 | 7-В-14-1 | 7ИРП-1078А | ИРП-1314 | ИРП-1287 | ИРП-1401 | 51-3029 |
| Нижний и верхний предел t, °С | -15...+130 | -30...+130 | -50...+130 | -60...+130 | -30...+120 | -20...+150 | -20...+200 | -50...+200 | -40...+100 |

Результаты сравнительных исследований изменения рабочего давления УПС из различных материалов. После обработки диаграмм, полученных на стенде, и путем расчетов на компьютере были получены графики зависимости давления масла в гидроцилиндре с использованием уплотнительных узлов с разными манжетами в статическом и динамическом режимах смотри рисунок 1 а, б.

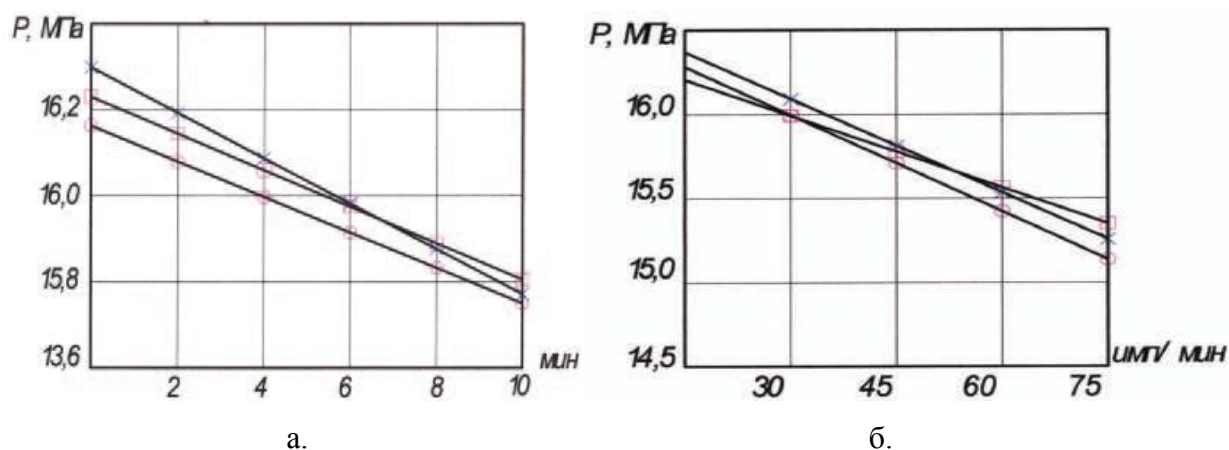


Рисунок 1. Снижение давления масла в зависимости от времени при статическом (а) и динамическом (б) нагружении у резиновых (X), полиуретановых (□) и полиамидных манжет (о).

Резиновые кольца были изготовлены из эластомера ИРП 106/5493 первой группы (таблица 1), полиуретановые манжеты были изготовлены из полиуретана марки СКУ ПФЛ-100, полиамидные манжеты изготовлены из полиамида марки П610Л. Характеристики исследуемых материалов приведены в таблице 2 [3, 4].

Таблица 2

Характеристики исследуемых материалов

| Наименование показателя | Наименование материала | | |
|---------------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------|
| | Резина ИРП 106/5493 | Полиуретан СКУ-ПФЛ-100 | Полиамид П610Л |
| Ширина манжеты у основания, мм | 5,0 | 5,0 | 10 |
| Высота манжеты, мм | 9,0 | 9,0 | 18 |
| Средний радиус манжеты, мм | 34 | 34 | 38 |
| Величина деформации, мм | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| Коэффициент трения: | | | |
| | без смазки | 0,4 | 0,32 |
| со смазкой | 0,15 | 0,06 | 0,045 |
| Номинальный диаметр манжеты, мм | 80 | 80 | 80 |
| Расчетный натяг, мм | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| Модуль упругости полимеров, МПа | 15 | 700 | 1700 |
| Коэффициент Пуассона полимеров | 0,5 | 0,4 | 0,35 |

В статическом режиме давление масла в гидроцилиндре с серийными резиновыми манжетами снизилось на 7,1%, а с опытными полиуретановыми – на 2,5% и полиамидными уплотнительными манжетами – на 0,6%.

В динамическом режиме давление масла в гидроцилиндре с серийными резиновыми манжетами снизилось на 6,4%, с опытными полиуретановыми на 5,2% и полиамидными на 6,7%. Из сказанного можно сделать вывод, что при статических и динамических испытаниях опытные полиуретановые и полиамидные манжеты по показателям технических проверок в соответствии с ГОСТом не уступают серийным резиновым манжетам. Здесь надо учесть то, что при длительных испытаниях полиамидные манжеты служат дольше от 4 до 5 раз, чем серийные резиновые манжеты, это доказано длительными испытаниями, проводимыми ранее. Результаты опытов, представленные в таблице 3, показали, что сила трения увеличивается прямо пропорционально величине натяга, модулю упругости и уменьшается прямо пропорционально величине коэффициента трения. Наибольшая сила

трения без смазки и со смазкой зафиксирована при движении полиамидных манжет. Однако этот же материал обеспечивает наибольшее снижение силы трения со смазкой.

Здесь главным требованием, предъявляемым к уплотнениям гидроцилиндров, является обеспечение надежной герметичности сопряженных поверхностей при незначительном увеличении силы трения. Результаты экспериментальных исследований подтвердили теоретические расчеты силы трения в уплотнениях из различных материалов. Таким образом, точность совпадения теоретических и экспериментальных исследований для полиуретановых манжет находится для первого способа расчета в пределах 1,3...6%, для второго способа расчета – в пределах 2...9%. Результаты экспериментальных исследований силы трения уплотнительных манжет в гидроцилиндре представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты испытаний

| Наименование материала | Условия смазки | Натяг, мм. | Сила трения, Н | | | Средняя величина, Н |
|------------------------|----------------|------------|----------------|--------|--------|---------------------|
| | | | 1 опыт | 2 опыт | 3 опыт | |
| Резина | Без смазки | 0.5 | 30 | 31 | 32 | 31 |
| | Со смазкой | 0.5 | 13 | 11 | 12 | 12 |
| Полиуретан | Без смазки | 0.5 | 575 | 525 | 550 | 550 |
| | Со смазкой | 0.5 | 82 | 84 | 80 | 83 |
| Полиамид | Без смазки | 0.5 | 1740 | 1759 | 1751 | 1750 |
| | Со смазкой | 0.5 | 270 | 271 | 265 | 269 |
| Резина | Без смазки | 1,0 | 55 | 62 | 60 | 59 |
| | Со смазкой | 1,0 | 20 | 21 | 19 | 20 |
| Полиуретан | Без смазки | 1,0 | 945 | 950 | 955 | 950 |
| | Со смазкой | 1,0 | 150 | 168 | 160 | 159 |
| Полиамид | Без смазки | 1,0 | 3000 | 3250 | 3500 | 3250 |
| | Со смазкой | 1,0 | 500 | 541 | 520 | 520 |
| Резина | Без смазки | 1,5 | 90 | 93 | 94 | 92 |
| | Со смазкой | 1,5 | 30 | 32 | 29 | 30 |
| Полиуретан | Без смазки | 1,5 | 1300 | 1333 | 1290 | 1308 |
| | Со смазкой | 1,5 | 250 | 252 | 245 | 249 |
| Полиамид | Без смазки | 1,5 | 5010 | 4995 | 4995 | 5000 |
| | Со смазкой | 1,5 | 790 | 812 | 815 | 807 |

Исходя из практики эксплуатации автомобилей и ремонта тормозной системы, можно сделать вывод, что применение резиновых манжет в качестве уплотнений не обеспечивает достаточной надежности и долговечности гидропривода тормозов автомобилей.

Таким образом, для повышения эффективности работы тормозной системы легковых автомобилей рекомендуется применять полиамидные или полиуретановые уплотнители тормозных цилиндров, использование которых обеспечит надежность и долговечность элементов тормозной системы.

Библиографический список

1. *Башкирцев В. И.* Все о колесах и герметиках для автомобилиста: учебник / В. И. Башкирцев, Ю. В. Башкирцев. М.: Эксмо, 2008. 208 с.
2. *Грибут И. Э.* Автосервис: станции технического обслуживания автомобилей: учебник / И.Э. Грибут и др. Под ред. В. Шуплякова, Ю.П. Свириденко. М.: Альфа-М: ИНФРА-М, 2008. 480 с.
3. *Бобович Б.Б.* Неметаллические конструкционные материалы: учебное пособие для вузов / Б.Б. Бобович. Москва: Изд-во МГИУ, 2009.
4. *Блюхер В. В., Орлов В. Н.* Совершенствование уплотнительных узлов из полимерных материалов гидропривода машин // Межрегиональный Совет по науке и технологии: Международной конференции Миасс, 2005.
5. *Rao V. Govinda, Bharadwaz Y. Datta, Virajitha Chukka et al.* Effect of injection parameters on the performance and emission characteristics of a variable compression ratio diesel engine with plastic oil blends – An experimental study // ENERGY & ENVIRONMENT. Volume: 29. Issue: 4. Pages: 492-510. Published: JUN 2018.