

УДК 629.113

А. В. Юшкевич, И. С. Сазонов, А. С. Мельников, М. Л. Петренко, Н. П. Амельченко

ТОРМОЗНЫЕ СИСТЕМЫ ДВУХКОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

UDC 629.113

A. V. Yushkevich, I. S. Sazonov, A. S. Melnikov, M. L. Petrenko, N. P. Amelchenko

BRAKING SYSTEMS OF TWO-WHEEL VEHICLES

Аннотация

Рассматриваются различные виды тормозных систем, используемых на мотоциклах, а также их история развития. Определены особенности конструкции барабанных и дисковых тормозных механизмов с гидравлическим и механическим приводами, а также проанализированы их преимущества и недостатки. Приведена конструкция разработанного дискового тормоза с осевым нажатием и механическим нажимным устройством.

Ключевые слова:

тормозная система, дисковый тормоз, осевое нажатие, осевой тормоз, транспортное средство, мотоцикл.

Abstract

The paper considers various types of braking systems used in motorcycles, as well as the history of their development. The peculiarities of the design of drum and disc braking mechanisms with hydraulic and mechanical drive are defined, and their advantages and disadvantages are analyzed. The design of the developed disk brake with axial thrust and a mechanical pressure mechanism is given.

Key words:

braking system, disc brake, axial thrust, thrust brake, vehicle, motorcycle.

Тормозная система – важная часть любого современного мотоцикла. По мере развития двухколесных транспортных средств низкоэффективные тормозные устройства подверглись значительному изменению и модернизации. Повышение скоростей движения за счет улучшения дорожного полотна и совершенствования конструкции мотоциклов выдвинули более жесткие требования к тормозным системам. Если раньше в основном старались получить максимальную эффективность холодных тормозов, то тормозные системы современных мотоциклов должны обеспечивать:

– высокую эффективность торможения при ограниченном усилии на педаль или рычаг;

– минимальное падение эффективности после многократного торможения с высокой скорости (горячие тормоза);

– устойчивое сохранение заданного направления движения при резком торможении с различных скоростей;

– требуемую эффективность торможения в случае резкого торможения при различной нагрузке мотоцикла и отсутствии при этом блокировки колес;

– минимальное изменение эффективности мокрых тормозов;

– гарантированную безопасность работы тормозной системы.

Первые мотоциклы не имели тормозных систем, т. е. разогнавшись, мотоциклист замедлялся или останавливался путем трения обуви о поверхность

дороги. Однако в 1902 г. компания «Стэффи Мотосайклс» (Steffey Motorcycles) (Филадельфия) создала первые мотоциклетные тормоза. Принцип действия механизма был предельно прост: полная остановка или замедление мотоцикла достигалась путем трения куска стального листа о переднюю покрышку [1].

В начале XX в. мотоциклы стремительно развивались, в результате чего возникла необходимость в более эффективных тормозах. Решением инженеров стало использование барабанных тормозов – простая и эффективная конструкция, дешевая в производстве.

К 1960-м гг. инженеры добились огромных успехов в развитии барабанных тормозов, называемых так потому, что эффект торможения достигается за счет трения, возникающего между накладками колодок и поверхностью тре-

ния, представляющей собой барабан, который жестко связан со ступицей колеса.

Колодочные барабанные тормозные механизмы можно разделить на два класса по типу привода. Тормозное усилие от рукоятки передается в одном случае на колодки с помощью троса (механический барабанный тормоз), в другом – с помощью тормозной жидкости, идущей внутри гидролинии (гидравлический барабанный тормоз). Также колодочные барабанные тормозные механизмы существенно отличаются друг от друга по конструкции и свойствам. На рис. 1 приведены основные схемы барабанных колодочных тормозов. В основном они различаются по расположению опор колодок и характеру приводных сил, раздвигающих колодки и прижимающих их к барабану изнутри.

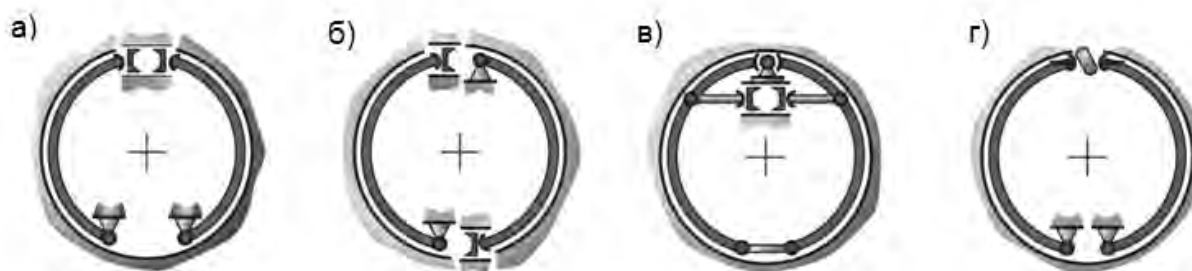


Рис. 1. Колодочные барабанные тормозные механизмы: а – механизм с односторонними опорами; б – механизм с разнесенными опорами; в – механизм с самоусилением; г – механизм с разжимным кулаком

Рассмотрим барабанный тормозной механизм с разжимным кулаком (см. рис. 1, г и 2). Колодки опираются на оси с эксцентричными шейками. Оси установлены и зафиксированы гайками в кронштейнах, приклепанных к опорному диску. Колодки прижимаются к разжимному кулаку стяжной пружиной. К колодкам приклепаны по две фрикционные накладки. Тормозной барабан отлит из алюминиевого сплава с орбрением. Разжимной кулак изготовлен как одно целое с валом и установлен в

кронштейне. На шлицевом конце вала закреплен рычаг. В расторможенном состоянии между колодками и барабаном имеется зазор. При торможении разжимной кулак прижимает колодки к барабану, вызывая торможение колеса. Профиль разжимного кулака выполнен так, чтобы обеспечивать перемещение на одинаковые расстояния концов колодок. Этим достигается уравновешенность тормозного механизма, равные тормозные моменты и износ колодок.

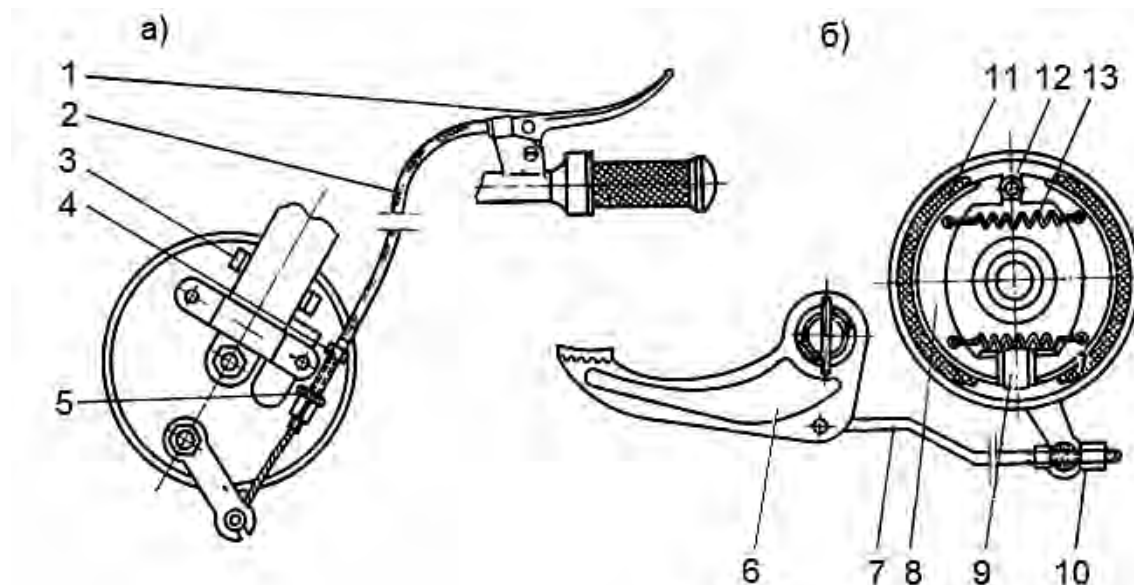


Рис. 2. Барабанный тормоз двухколесного транспортного средства с разжимным кулаком: а – передний тормоз; б – задний тормоз; 1 – рычаг тормоза; 2 – трос; 3 – реактивный упор; 4 – регулировочный винт; 5 – контргайка; 6 – тормозная педаль; 7 – тяга; 8 – тормозная колодка; 9 – кулачок тормоза; 10 – регулировочная гайка; 11 – накладка; 12 – ось колодок; 13 – пружина колодок

Однако барабан, внутри которого находится тормозной механизм, закрыт, следовательно, тепло, возникающее при торможении, не рассеивается. Поэтому при интенсивном использовании они перегреваются, фрикционные свойства колодок и барабана ухудшаются, эффективность тормоза снижается. Инженеры нашли решение: применили вентиляцию барабана, а именно воздухозаборники, направляющие воздух на колодки для их охлаждения. Но вместе с холодным воздухом в механизм попадала вода, грязь, пыль – все это снижало эффективность торможения. Кроме того, даже система с двумя тормозными барабанами, расположенными с каждой стороны колеса (применялась на гоночных мотоциклах до изобретения дискового тормоза), не обеспечивала достаточно сильного и информативного торможения.

Отметим основные недостатки барабанной тормозной системы [7]:

- теряет свою эффективность при интенсивном торможении;
- высокая температура вызывает

расширение барабана, и тормозной колодке приходится преодолевать большее расстояние, а значит, водитель должен прилагать больше усилий к тормозному рычагу;

- эффективность торможения снижают скапливающиеся газы, выделяющиеся от трения между диском и тормозной колодкой;

- барабанные тормоза склонны к «залипанию».

Однако с ростом мощности мотоциклов возрастала и эффективность тормозных систем, которые в процессе работы вырабатывали всё больше тепла. Высокие температуры уменьшали срок службы барабанных тормозов, поэтому инженерам пришлось искать иные решения данной проблемы – были созданы дисковые тормоза.

Первые дисковые тормозные механизмы колесных транспортных средств запатентовал в 1902 г. английский изобретатель Ф. В. Ланчестер. За более чем столетний период конструкция дискового тормозного механизма претерпела ряд существенных измене-

ний, в результате которых появились несколько ее разновидностей [1]. Первые дисковые тормоза появились на самолетах как решение проблемы отвода тепла, вырабатываемого в барабанных тормозах. В связи с тем, что скорость и вес самолетов значительно увеличились, барабанные тормоза совершенно не способны были их остановить. Лучший отвод тепла во время торможения и высокие удельные давления накладок колодки на тормозной диск позволили иметь постоянное значение эффективности в период всего процесса торможения, независимо от начальной скорости. При этом сохраняется пропорциональность усилия на приводе и эффективность. Повторные торможения не вызывают потери эффективности, поскольку диск имеет возможность охладиться.

Мотоциклетная дисковая тормозная система так же, как и барабанная, состоит, как правило, из колесных тормозов и привода к ним. Тормоз состоит из диска и скобы или суппорта с тормозными колодками. Тормозной диск является деталью, связанной с колесом. На тормозной диск с определенным усилием воздействуют колодки (рис. 3), в результате чего кинетическая энергия движущегося мотоцикла в процессе работы трения превращается в тепло и рассеивается в окружающей среде.

Стоит отметить, что впервые передний дисковый тормоз появился на мотоцикле в 1965 г., когда фирма «Хонда» (Honda) выпустила мотоцикл Honda CB750 Four. Однако инженеры фирмы продолжали работать над решением проблем дискового тормоза, которые нужно было устранять: чрезмерный износ колодок, сильный шум в работе. Первые дисковые тормоза фирмы «Хонда» состояли из монолитного стального диска и одно-поршневого суппорта [1].

С 1970-х гг. большинство производителей начали работать над развитием дисковых тормозов, хотя некоторые

продолжали верить, что будущее за барабанными системами. С ростом мощности и требований к эффективности работы тормозных систем производители искали различные пути улучшения технологии дисковых тормозов.

В 1980-х гг. инженеры начали работать над улучшением эффективности дисковых тормозов. Одно из направлений улучшения эффективности дисковых тормозов заключалось в увеличении диаметра диска согласно принципу «рычаг относительно оси»: чем больше расстояние от оси, тем больше усилие, произведенное этим рычагом. Другим направлением было применение в суппорте нескольких поршней меньшего диаметра вместо одного большого (см. рис. 3, а), т. е. фактически создается эффект присутствия диска большего диаметра. Диаметры тормозных дисков передних колес мотоциклов меняются от 280 до 320 мм, задних – от 130 до 285 мм [2]. Однако инженеры столкнулись с рядом других проблем: небольшая несоосность между диском и колодками значительно снижала эффективность торможения и увеличивала износ колодок; высокое тепловыделение могло послужить причиной деформации, приводящей к несоосности из-за жесткого закрепления диска. Оба эти недостатка можно устранить, если отделить диск от кронштейна и позволить ему свободно перемещаться в некоторых пределах. Такая конструкция получила название «плавающего диска». На внутренней кромке диска и внешней кронштейна вырезаны полуокружности. При их совмещении образуются отверстия. Диск прикрепляется к кронштейну втулками, свободно установленными в каждое такое отверстие. При этом он оказывается закрепленным, но все же может перемещаться, расширяться и сокращаться на кронштейне.

Первые дисковые тормоза имели такой существенный недостаток, как плохая работа в условиях повышенной влажности. Это было связано с образо-

ванием водной пленки на диске, которую следовало удалить перед началом торможения. Если применялся неправильный фрикционный материал, проблема усугублялась. Чугун благодаря своему пористому строению является идеальным материалом для диска в мокрых условиях, однако чугунный диск значительно больше подвержен коррозии. С 1980-х гг. инженеры начинают работать над перфорированными дисками, которые должны были улучшить степень отвода воды, но в итоге они только ухудшили эффективность торможения, поскольку вода собиралась на внешних гранях отверстий. В резуль-

тате главным преимуществом перфорированных дисков стало снижение веса, а как следствие, моментов инерции и гироскопических эффектов. Однако проблема оставалась, и только в конце 1980-х гг. путем введения спекаемых металлических колодок она была решена. В составе спекаемых металлических колодок присутствует ограниченное количество металлических частиц, и колодки изнашиваются неравномерно, их волнистая поверхность позволяет выступающим точкам продавить пленку воды намного быстрее обычных колодок.

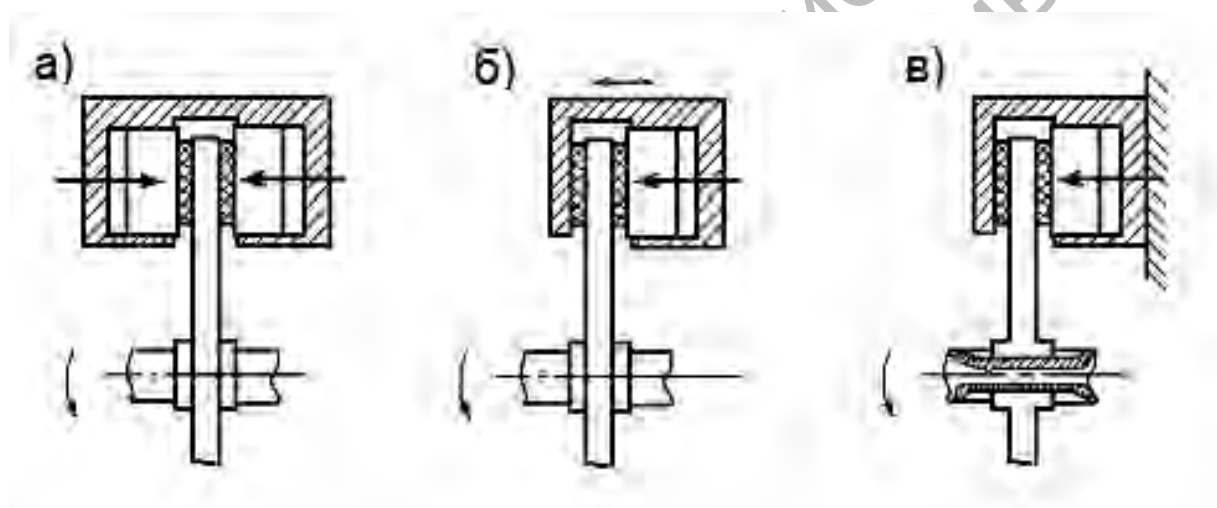


Рис. 3. Схемы дисковых тормозов: а – с неподвижной скобой; б – с плавающей скобой; в – с неподвижной скобой и подвижным диском

Дисковый тормоз с неподвижной скобой (см. рис. 3, а) имеет два рабочих поршня, расположенных в скобе, к которым одновременно подается тормозная жидкость, вследствие чего колодки с накладками с обеих сторон прижимаются поршнями к тормозному диску.

Дисковый тормоз с плавающей скобой (см. рис. 3, б) имеет один поршень, расположенный в скобе, к которой с противоположной стороны крепится вторая колодка. Благодаря тому, что скоба может перемещаться в пазах кронштейна, перемещение поршня при

подаче тормозной жидкости и вместе с ним колодки с накладкой после соприкосновения с тормозным диском вызывает перемещение скобы с закрепленной на ней колодкой в противоположном направлении, вследствие чего обе колодки прижимаются к диску. При плавающей скобе ход поршня в 2 раза больше, чем при неподвижной.

Дисковый тормоз с подвижным диском (см. рис. 3, в) применяется в мотоциклостроении в тех редких случаях, когда неподвижной скобой создается одностороннее нажатие, что вызывает

необходимость перемещения диска для обхвата его колодками с обеих сторон. Недостатки этого тормоза очевидны – неизбежные биения диска, заклинивание в подвижном сопряжении вследствие изгибающих усилий, действующих на диск со стороны скобы, что, в свою очередь, влечет за собой неравномерный интенсивный износ колодок.

На сегодняшний день дисковые

тормоза, используемые на мотоциклах, можно разделить на два класса по типу привода. Первый класс – тормозное усилие от рукоятки передается на колодки с помощью троса (механический дисковый тормоз (рис. 4)) или – второй класс – с помощью тормозной жидкости, идущей внутри гидролинии (гидравлические дисковые тормоза (рис. 5)).

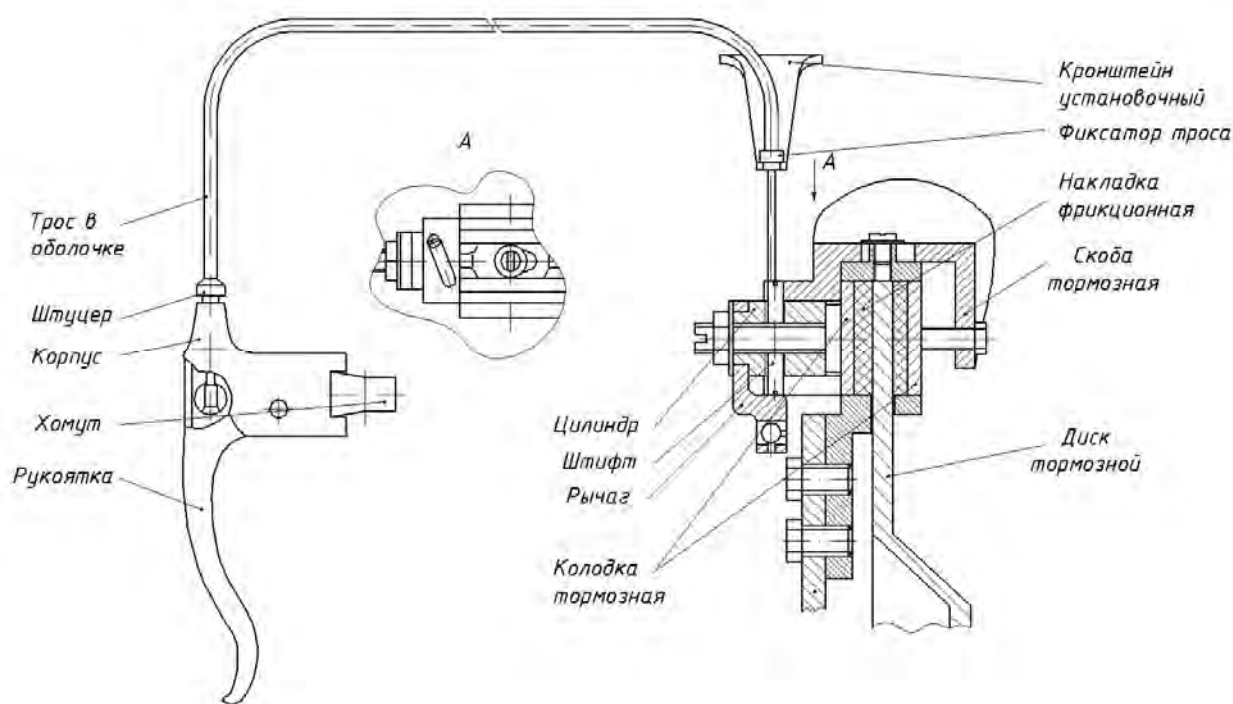


Рис. 4. Механический дисковый тормоз

Гидравлический привод в тормозных системах мотоциклов применяется для обеспечения высокого давления за счет небольших усилий со стороны мотоциклиста. Рассмотрим устройство гидравлической тормозной системы. Главный цилиндр используется для создания тормозного усилия, при помощи поршня воздействующего на жидкость тормозной системы. Жидкость передает усилие суппорту, в котором устанавливается один или несколько поршней. Под действием давления жидкости поршни выдвигаются наружу и давят на тормозные колодки, прижимающиеся к

диску, – мотоцикл замедляется. Очень важный элемент всей тормозной системы – используемые в ней шланги.

Главный цилиндр и суппорты связаны усиленными гидравлическими шлангами, допускающими перемещение подвески. В местах, где отсутствует перемещение, могут быть использованы металлические трубки. Тормозные шланги изготавливают из совместимой с тормозной жидкостью резины, однако резина утрачивает свои свойства со временем и растрескивается. Тормозной суппорт – это исполнительный механизм тормозной системы. При нажатии

на педаль или тормозную ручку поршень выдвигается из цилиндра и прижимает колодку к диску. В отличие от главного цилиндра, диаметр поршня больше, и именно эта разность образует эффект гидравлического усиления. Наиболее распространенный тип суппортов в мотостроении – суппорты неподвижного типа (см. рис. 3, а). С каж-

дой стороны диска присутствует одинаковое количество поршней и цилиндров, расположенных друг напротив друга. Цилиндры сообщаются при помощи внутреннего канала, так что давление жидкости в них одинаково. При торможении все поршни двигаются в направлении диска, прижимая к нему колодки с двух сторон.

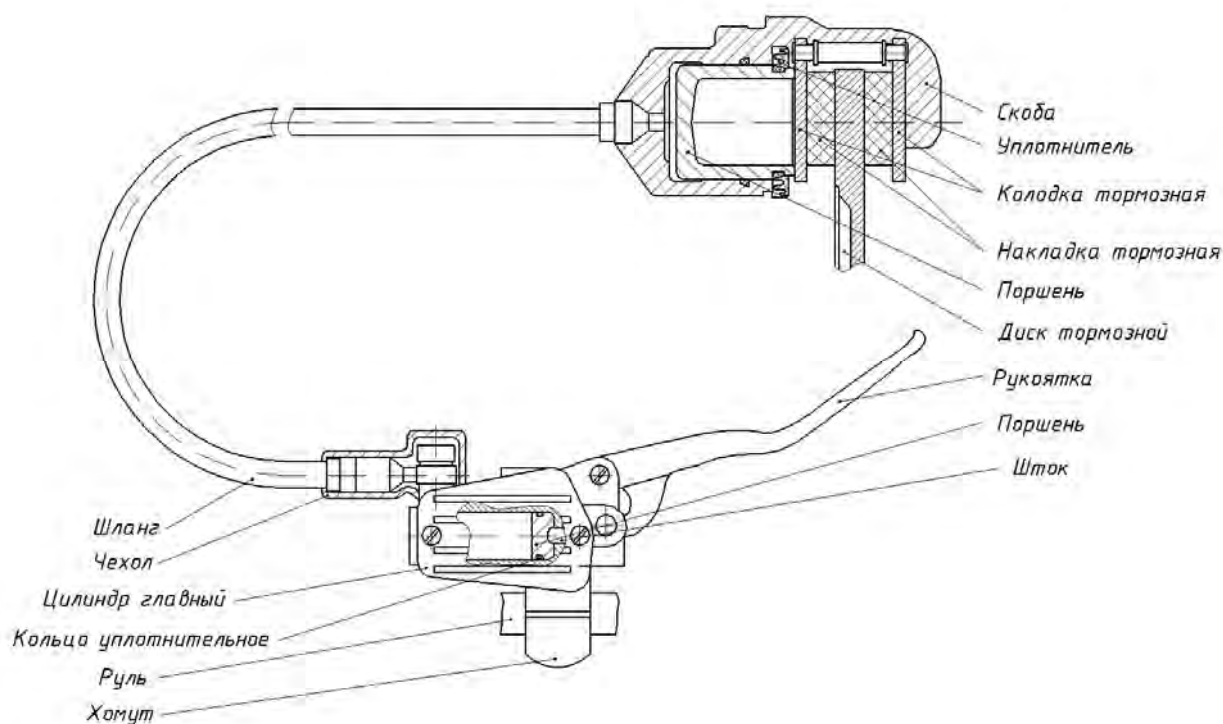


Рис. 5. Гидравлический дисковый тормоз

Большинство суппортов изготавливаются из алюминия и состоят из двух половин, которые скрепляются между собой болтами. Суппорт выглядит как буква С, на концах которой расположены поршни,двигающиеся навстречу друг другу при торможении. Силы, возникающие при этом, стремятся «распахнуть» суппорт, как книгу. Естественно, часть полезной энергии на этом этапе теряется – некоторая часть усилия, генерируемая ручкой тормоза и главным тормозным цилиндром, тратится впустую. Решением явились мо-

ноблочные тормозные суппорты. Они выполнены одним цельным элементом из алюминиевого сплава (литье,ковка – технологии изготовления различны), что уменьшает вес конструкции и препятствует воздействию «распахивающих» сил. Суппорты плавающего типа, в которых поршни расположены лишь с одной стороны, низкоэффективны – их применяют на бюджетных машинах, где уменьшение затрат является главным фактором.

Эволюция суппортов привела к тому, что инженеры решили устанавли-

вать несколько поршней меньшего диаметра и использовать диск меньшего диаметра без снижения производительности, тем самым уменьшив конструкцию и вес тормозного механизма [6].

Выделим основные преимущества дисковых тормозов:

- мощные по сравнению с барабанными;
- лучше охлаждаются и меньше подвержены перегреву;
- позволяют более плавно регулировать тормозное усилие (обладают лучшей модуляцией);
- искривлённая геометрия колеса («восьмёрка») не влияет на работу тормозов;
- сравнительно меньшие вес и размеры.

К недостаткам дисковых тормозов относятся:

- колодки и диски имеют значительно меньший ресурс, чем барабанные;
- высокая стоимость;
- подвержены загрязнению;
- не проявляют эффекта самоусилителя тормозного момента.

Однако, чтобы устранить данные недостатки дисковых тормозов, были разработаны дисковые тормоза с осевым нажатием. Они делятся на две группы: дисковые и грузоупорные. В свою очередь, грузоупорные тормоза разделяются на тормоза с постоянно и периодически замкнутыми поверхностями трения. К первой группе тормозов относятся конические и дисковые тормоза, ко второй – винтовые. Тормоза с осевым нажатием делятся на много- и однодисковые. Многодисковый тормоз состоит из ряда невращающихся дисков, установленных на скользящей шпонке неподвижного корпуса, и вращающихся дисков, посаженных на шпонке вала тормоза. Необходимый момент трения создается прижатием вращающихся дисков к неподвижным дискам. Источником замыкающей силы могут быть пружина, вес груза или усилие человека, прилагаемое непосредственно или с по-

мощью рычажного либо пневматического устройства.

К преимуществам дисковых тормозов с осевым нажатием относятся:

- большая энергоёмкость (известен многодисковый тормоз авиационного колеса с энергией разового торможения 33 МДж) [3];
- большие тормозные моменты при сравнительно небольших размерах самого тормоза (за счет увеличения числа пар поверхностей трения; например, встроенный в авиационное колесо многодисковый тормоз с наружным диаметром дисков 548 мм может создавать тормозной момент, равный 40050 Н·м) [4];
- стабильность работы – практически линейная зависимость тормозного момента от коэффициента трения (только у тормозов без самоусиления);
- большая суммарная площадь поверхности трения;
- уравновешенность тормоза – осевые силы могут быть замкнуты внутри тормоза и не воспринимаются валом и подшипниками машины;
- трение по плоскости, обеспечивающее равномерное распределение давления по всей поверхности трения, а следовательно, и более равномерное изнашивание, чем при трении по цилиндрической поверхности [5];
- незначительное изменение площади фактического контакта тормозной накладкой при увеличении размеров элементов трения (в основном в осевом направлении) вследствие нагрева в процессе работы;
- независимость тормозного момента от направления вращения тормозного вала.

Анализ недостатков дисковых и барабанных тормозов с гидравлическим и механическим приводом свидетельствует о том, что требуются новые, более совершенные тормозные механизмы, а именно: колесный дисковый тормозной механизм с осевым нажатием. На рис. 6 представлен разработанный дисковый

тормоз с осевым нажатием и механическим приводом.

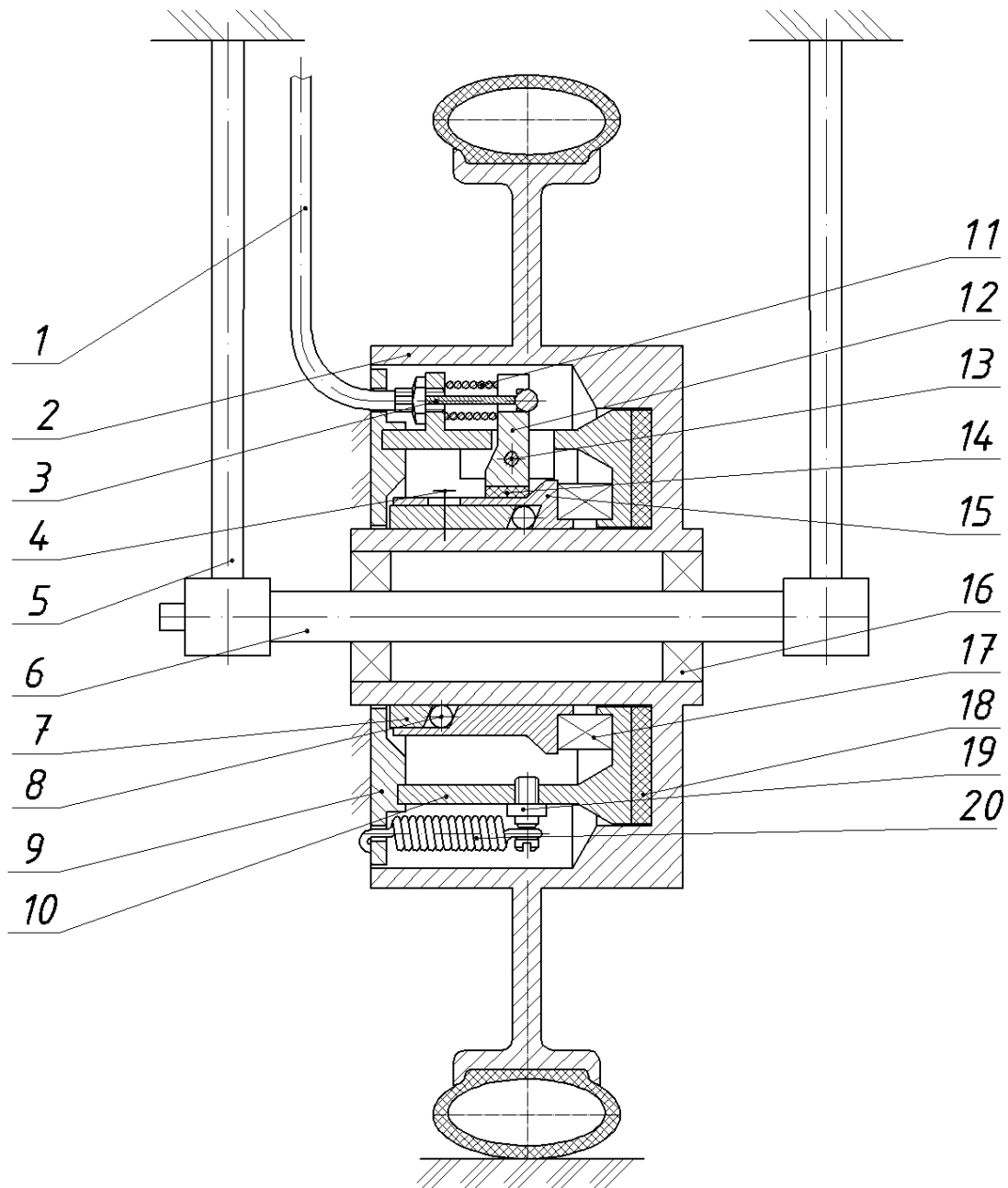


Рис. 6. Дисковый тормозной механизм с осевым нажатием и механическим приводом

Дисковый тормозной механизм с осевым нажатием работает следующим образом. При повороте рычага 12 относительно стержня 13 под действием тросового привода, состоящего из тросика 3 и оболочки тросика с механизмом натяжения 1, происходит притор-

маживание внешнего кулачка 15. В результате угловая скорость внешнего кулачка 15 становится меньше угловой скорости внутреннего кулачка 7, вращающегося вместе с вращающимся колесом мобильной машины. Вследствие этого происходит взаимное скольжение

кулачков относительно друг друга, а т. к. кулачки контактируют по наклонным поверхностям, происходит их осевое перемещение во взаимно противоположных направлениях. Для уменьшения трения между наклонными поверхностями кулачков установлены шарики 8. Осевое перемещение внешнего кулачка 15 передается на упорный подшипник 17 и далее через него на невращающийся тормозной цилиндр 10, который прижимается к вращающемуся корпусу 2 вращающегося колеса мобильной машины. При этом внутренний кулачок 7, вращающийся вместе с вращающимся корпусом 2, не может перемещаться в осевом направлении относительно вращающегося корпуса 2, т. к. зафиксирован на вращающемся корпусе с помощью винта 4 и вследствие этого служит опорой для внешнего кулачка 15, который, перемещаясь в осевом направлении в противоположном внутреннему кулачку 7, создает осевое усилие, прижимающее невращающийся тормозной цилиндр 10 к вращающемуся корпусу 2. При снятии управляющего воздействия с органов управления тормозной системы рычаг 12 при помощи пружины сжатия 11 возвращается в нейтральное положение, в результате чего угловые скорости внешнего кулачка 15 и внутреннего кулачка 7 становятся равными и при помощи трех пружин растяжения 20 весь механизм возвращается в начальное положение.

В данном случае повышение эффективности тормозной системы при использовании предлагаемого дискового тормоза с осевым нажатием достигается тем, что для привода одного из взаимодействующих кулачков используется не гидравлический, пневматический или иной привод, а вращающееся колесо двухколесного транспортного средства. Это означает, что источником энергии, необходимой для создания усилий, прижимающих невращающийся тормозной цилиндр с фрикционной накладкой к поверхности на ступице вращающегося колеса, является само вращающееся колесо, которое требуется затормозить. Это позволяет создать высокие значения усилий, отказавшись от сложных и дорогих гидравлических, пневматических и иных приводов.

Усилие, требуемое для управления (в данном случае это усилие прижатия рычага с фрикционной накладкой на торце к боковой поверхности внешнего кулачка), значительно меньше усилия, нужного для создания силы, прижимающей невращающийся диск к кольцевой поверхности на ступице колеса, а также меньше приводных усилий, необходимых для срабатывания тормозных механизмов с механическим приводом и тормозов с гидравлическим или пневматическим приводом без усилителей, т. е. эффективность разработанной тормозной системы повышается.

Заключение

По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что дисковые тормозные системы значительно превосходят по эффективности барабанные тормозные системы. Однако дисковые тормозные системы с гидравлическим и механическим приводами имеют значительные недостатки, а именно: гидропривод отличается высокой сложностью и стоимостью, механический привод требует значительных приводных усилий. Таким образом, существует необходимость создания надежных и высокоэффективных недорогих тормозных систем.

С учетом проблемы повышения безопасности движения и создания высокоэффективных тормозных систем были разработаны методика и конструктивное решение колесного дискового тормозного механизма с осевым нажатием.

Использование разработанной методики проектирования колесного дискового тормоза с осевым нажатием позволяет решить основные проблемы на

начальных стадиях проектирования, тем самым упростить сложность тормозной системы, а также снизить материалоемкость тормозного механизма и избежать ошибок проектирования, приводящих к отказу тормозного механизма в работе, повысить эффективность торможения и безопасность движения, уменьшить количество дорожно-транспортных происшествий и повысить конкурентоспособность двухколесных транспортных средств, производимых в Республике Беларусь.

Экономический эффект от ис-

пользования разработанной методики проектирования колесного дискового тормоза с осевым нажатием достигается при увеличении доходов от продажи двухколесной техники, производимой в Республике Беларусь, вследствие повышения её конкурентоспособности, срока эксплуатации тормозных механизмов, сокращения затрат, связанных с обслуживанием и заменой фрикционных элементов, исключения закупок импортных тормозных систем для мотоциклов ОАО «Мотовело».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нарбут, А. Н. Мотоциклы / А. Н. Нарбут. – М. : Академия, 2008. – 179 с.
2. Демьянушко, И. В. Расчет на прочность вращающихся дисков / И. В. Демьянушко, И. А. Биргер. – М. : Машиностроение, 1978. – 248 с.
3. Андреев, А. В. Передача трением / А. В. Андреев. – М. : Машиностроение, 1978. – 176 с.
4. Балакин, В. А. Тепловые расчеты тормозов и узлов трения / В. А. Балакин, В. П. Сергеенко. – Гомель : ИММС НАНБ, 1999. – 220 с.
5. Алексеев, Г. Ф. О трении и износе фрикционных пар при вибрационных нагрузках / Г. Ф. Алексеев // Теоретические и прикладные задачи трения износа и смазки машин. – 1982. – № 25. – С. 46–48.
6. Мельников, А. С. Проектирование тормозной скобы дискового тормоза с механическим приводом / А. С. Мельников, И. С. Сазонов, В. А. Ким // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 4. – С. 39–42.
7. Теоретический метод анализа эффективности и быстродействия барабанного тормоза / И. С. Сазонов [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2011. – № 3. – С. 121–126.

Статья сдана в редакцию 24 апреля 2014 года

Александр Владимирович Юшкевич, аспирант, Белорусско-Российский университет.

Игорь Сергеевич Сазонов, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет.
E-mail: f_av@bru.mogilev.by.

Александр Сергеевич Мельников, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.
E-mail: f_av@bru.mogilev.by.

Михаил Леонидович Петренко, аспирант, Белорусско-Российский университет.

Наталья Петровна Амелеченко, ст. преподаватель, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники.

Aleksandr Vladimirovich Yushkevich, PhD student, Belarusian-Russian University.

Igor Sergeevich Sazonov, DSc (Engineering), Prof., Belarusian-Russian University.
E-mail: f_av@bru.mogilev.by.

Aleksandr Sergeevich Melnikov, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University.
E-mail: f_av@bru.mogilev.by.

Mikhail Leonidovich Petrenko, PhD student, Belarusian-Russian University.

Natalia Petrovna Amelchenko, senior lecturer, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.