

УДК 629.33

DOI 10.46960/1816-210X_2025_3_125
EDN USGVFK

ОБЗОР И АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ И АВТОБУСОВ С НАГРУЗКОЙ НА ОСЬ БОЛЕЕ 10 Т

М.А. Тур

ORCID: 0009-0001-5872-6352 e-mail: turma@student.bmstu.ru

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
*Москва, Россия***Р.Л. Газизулин**

ORCID: 0000-0002-4022-9286 e-mail: rlgazizullin@bmstu.ru

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
Москва, Россия

Исследованы актуальные конструкции тормозных механизмов для крупногабаритных грузовых автомобилей и автобусов, рассматриваются их конструктивные особенности, проанализированы преимущества и ограничения каждого из них. Приводится описание принципов действия рабочих тормозных механизмов с пневматическим и электромеханическим приводом. Обозначены тенденции развития конструкции тормозных механизмов с пневматическим приводом, выявлены наиболее распространенные общие конструктивные решения, применяемые в рабочих тормозах различных производителей.

Ключевые слова: тормозной механизм, плавающая скоба, пневматический привод, электромеханический привод, автобус, грузовой автомобиль, колесный транспорт, дисковый тормоз.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Тур, М.А. Обзор и анализ конструкций тормозных механизмов грузовых автомобилей и автобусов с нагрузкой на ось более 10 т / М.А. Тур, Р.Л. Газизулин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2025. № 3. С. 125-136. DOI 10.46960/1816-210X_2025_3_125 EDN: USGVFK

REVIEW AND ANALYSIS OF BRAKING MECHANISMS DESIGNS FOR TRUCKS AND BUSES WITH AXLE LOAD OF MORE THAN 10 T

M.A. Tur

ORCID: 0009-0001-5872-6352 e-mail: turma@student.bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University
*Moscow, Russia***R.L. Gazizulin**

ORCID: 0000-0002-4022-9286 e-mail: rlgazizullin@bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University
Moscow, Russia

Abstract. The article presents current designs of brake mechanisms for large-sized trucks and buses, examines their design features, and analyzes their advantages and limitations. The operating principles of service brake mechanisms with pneumatic and electromechanical drives are described. The trends in the design of brake mechanisms with pneumatic drive are outlined, and the most common general design solutions used in service brakes of various manufacturers are identified.

Key words: brake mechanism, floating caliper, pneumatic drive, electromechanical drive, bus, truck, wheeled transport, disc brake.

FOR CITATION: M.A. Tur, R.L. Gazizulin. Review and analysis of braking mechanisms designs for trucks and buses with axle load of more than 10 T. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2025. № 3. Pp. 125-136. DOI 10.46960/1816-210X_2025_3_125EDN: USGVFK

Введение

Одной из наиболее распространенных разновидностей тормозных механизмов, используемых на грузовых транспортных средствах и автобусах, является дисковый тормозной механизм с плавающей скобой и пневматическим приводом, отличающийся высокой стабильностью характеристик (под которой в данном случае понимается характер статической характеристики тормозного механизма или кривой зависимости коэффициента тормозной эффективности от коэффициента трения) и, как следствие, удобством его использования с антиблокировочной системой, малой инерционностью, возможностью эффективного теплоотвода от трущихся поверхностей [1].

Общий вид конструкции данной разновидности тормозного механизма аналогичен у различных производителей, однако существуют специфические конструктивные особенности, направленные на решение тех или иных проблем и задач. Ниже приведен сравнительный анализ дисковых тормозных механизмов различных производителей. По результатам анализа сделан вывод о тенденциях развития конструкции тормозных механизмов с пневматическим приводом и выявлены наиболее распространенные общие конструктивные решения, применяемые в рабочих тормозах различных производителей.

1. Описание конструкции и принципа работы дискового тормозного механизма с плавающей скобой и пневматическим приводом

Схема конструкции дискового тормозного механизма с пневматическим приводом представлена на рис. 1.

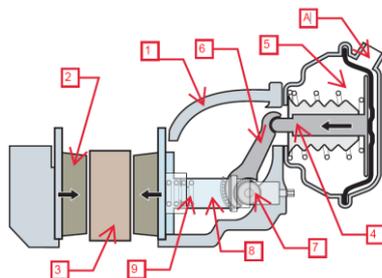


Рис. 1. Схематичное изображение тормозного механизма с пневматическим приводом:

- 1 – подвижная скоба; 2 – тормозные колодки; 3 – тормозной диск;
4 – шток пневматической камеры; 5 – пневматическая камера; 6 – рычаг;
7 – вращательная опора рычага; 8 – толкатель; 9 – возвратная пружина

Fig. 1. Schematic representation of the brake mechanism with pneumatic drive:

- 1 – movable bracket; 2 – brake shoes; 3 – brake disc; 4 – pneumatic chamber rod; 5 – pneumatic chamber;
6 – lever; 7 – lever rotation support; 8 – pusher; 9 – return spring

Тормозной механизм имеет следующий принцип действия. При повышении давления в полости А тормозной камеры (5) и преодолении усилия, создаваемого пружиной внутри пневматической камеры, шток (4) начинает выдвигаться. Рычаг (6) под давлением со стороны штока (4) начинает совершать вращательное движение относительно опоры (7). В силу смещения оси опоры рычага (7) относительно вращательной пары 8-6 рычаг (6) начинает воздействовать на толкатель (8), который после преодоления усилия со стороны пружины (9) начинает перемещаться влево. После выборки зазора между правой колодкой и диском (3) реакция со стороны колодки передается на толкатель (8) и через вращательную пару (7) на подвижную скобу (1), свободно скользящую по направляющим, связанным с ведущим мо-

стом. При перемещении скобы вправо левая колодка (2) начинает прижиматься к диску (3). Таким образом, после обжатия колодками диска возникает тормозной момент на колесе.

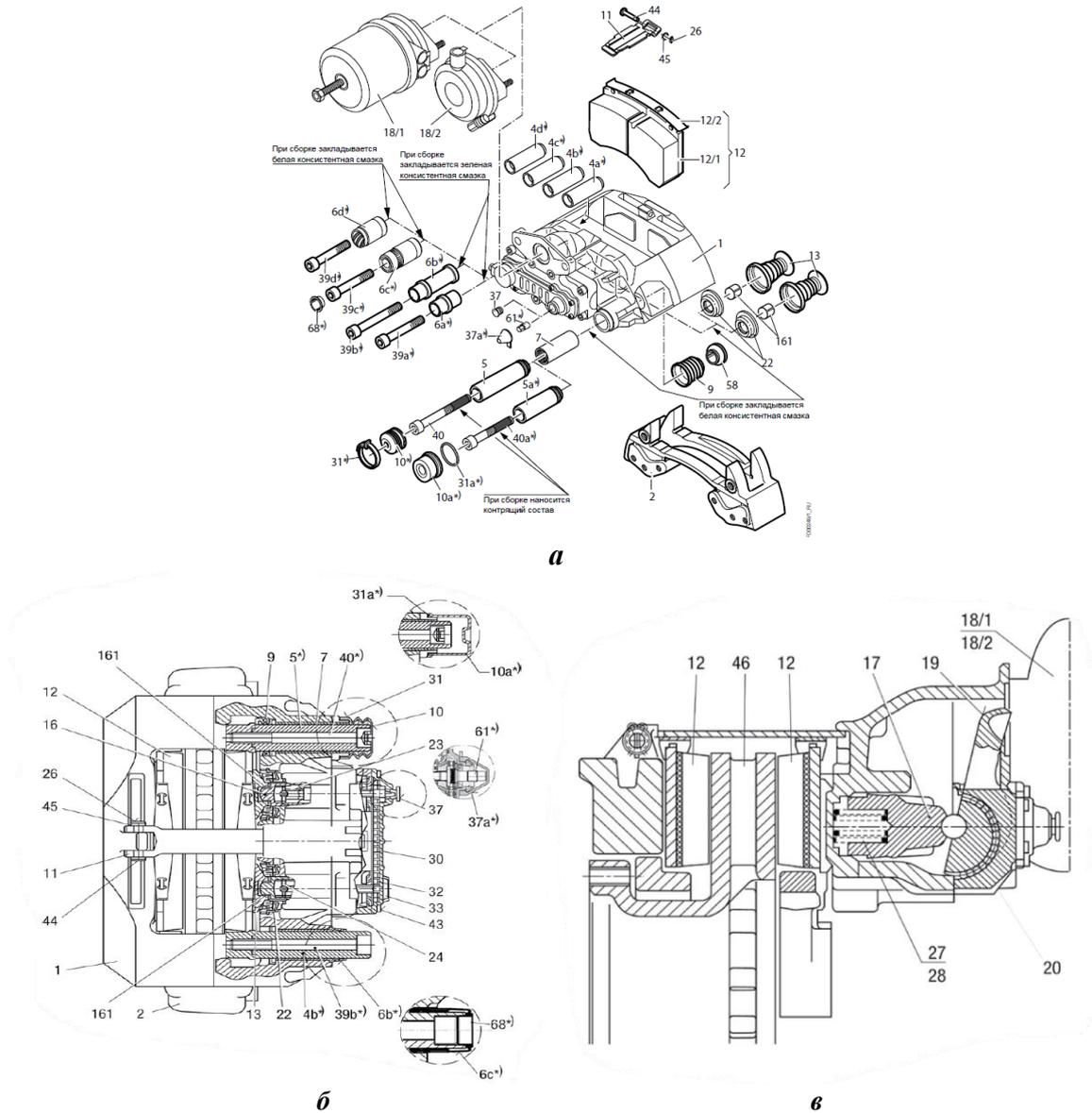
При растормаживании давление в полости А пневматической камеры (5) падает. Шток (4) возвращается в исходное положение под действием пружины, расположенной внутри тормозной камеры. Возвратная пружина (9) действует на толкатель (8), возвращая его и рычаг (6) в исходное положение, а отводится за счет некоторого торцевого биения диска.

2. Обзор и анализ конструкций агрегатов ведущих мировых производителей

2.1 *KNORR-BREMSE SN6*. На рис. 2 представлен общий вид тормозного механизма Knorr-Bremse SN6 [2]. Его основной особенностью является наличие двух упоров для воздействия на тормозную колодку, расположенных друг от друга на относительно большом расстоянии. Такая конструкция позволяет получить более равномерное распределение давления по рабочей поверхности тормозной колодки. Однако наличие двух упоров усложняет конструкцию механизма регулировки зазора, так как, помимо регулятора (23), необходимо использование механической передачи для привода поводка (24) второй втулки. Большое расстояние между упорами не позволяет использовать зубчатые колеса для передачи вращательного движения от регулятора к поводку, что приводит к необходимости использования цепной передачи. Ведущая звездочка цепной передачи воспринимает крутящий момент от регулятора через шлицевое соединение. Данное решение позволяет использовать одинаковые звездочки при различных реализациях механизма регулировки зазора. Процесс отвода колодок осуществляется извне через специальный переходник (61*), разрушающийся при превышении допустимого момента, возникающего при отводе колодок вследствие каких-либо неисправностей, и препятствующий выходу из строя автоматического регулятора (23). Для изоляции внутренних деталей механизма от внешней среды используется два ряда уплотнений: гофрированный пыльник (13) и внутреннее уплотнение (22). Подобное решение позволяет получить лучшую герметизацию внутренней полости в сравнении с аналогами. Вопросу герметизации в данной конструкции уделено особое внимание, так как разгерметизация внутренней полости является одной из основных причин выхода механизма из строя.

Конфигурация направляющих скобы различается. Воспринимающая наибольшую нагрузку верхняя направляющая (5*) имеет большую длину, чем нижняя направляющая (4b*), за счет чего увеличивается площадь ее контакта со скобой, снижая контактные давления и износ. Между верхней направляющей (5*) и подвижной скобой (2) расположена латунная втулка (7), выполняющая роль подшипника скольжения. Между нижней направляющей (4b*) и подвижной скобой (2) установлена резиновая втулка (6b*). Использование такой опоры позволяет компенсировать любые вероятные взаимные смещения скобы (2) и суппорта (1), будь то тепловое расширение, коррозия, неравномерность выдвигания резьбовых втулок, предотвращая заклинивание подвижной скобы. На внутренней части резиновой втулки выполнены винтовые канавки. Данное конструктивное мероприятие, предположительно, обеспечивает более равномерное распределение смазки по поверхности контакта. Значительным недостатком подобной конструкции является слабая защищенность нижней направляющей втулки (4b*) от внешних факторов среды, из-за чего происходит быстрый выход ее из строя. Помимо прочего, конструкция резиновой втулки (6b) является сравнительно сложной.

Скоба (2) выполнена неразборной, что позволяет упростить конструкцию и повысить ее жесткость, а также избежать применения дополнительного высоконагруженного болтового соединения. Однако, при использовании данной конструкции усложняется обработка отливки, а также затрудняется доступ к пыльникам (13) и (22) при их замене.



1 – подвижная скоба; 2 – суппорт; 4a*), 4b*), 4c*), 4d*) – направляющая втулка;
 5 – направляющая втулка; 5a*) – направляющая втулка; 6a*), 6b*), 6c*), 6d*) – резиновая втулка;
 7 – латунная втулка; 9 – гофрированный пыльник; 10 – резиновая наружная крышка;
 10a*) – стальная наружная крышка; 11 – зажимная скоба тормозных колодок;
 11a*) – зажимная скоба тормозных колодок (усиленная); 12 – тормозная колодка (в сборе);
 12/1 – фрикционная накладка тормозной колодки; 12/2 – удерживающая пружина тормозной колодки;
 13 – упор с гофрированным пыльником; 16 – резьбовая втулка; 17 – толкатель;
 18/1 – тормозная камера с энергоаккумулятором; 18/2 – тормозная камера; 19 – рычаг;
 20 – подшипник качения; 22 – внутреннее уплотнение; 23 – регулятор зазора; 24 – поводок;
 26 – пружинный шплинт; 27 – пружина; 28 – пружина; 30 – цепь; 31 – ленточный хомут;
 31a*) – уплотнительное кольцо; 37 – заглушка; 37a*) – заглушка; 39a*) – винт с цилиндрической головкой;
 39b*) – винт с цилиндрической головкой; 39c*) – винт с цилиндрической головкой;
 39d*) – винт с цилиндрической головкой; 40 – винт с цилиндрической головкой;
 40a*) – винт с цилиндрической головкой; 43 – винт; 44 – палец; 45 – шайба; 46 – тормозной диск;
 58 – обойма; 61*) – переходник; 68*) – крышка; 161 – втулка, работающая без смазки

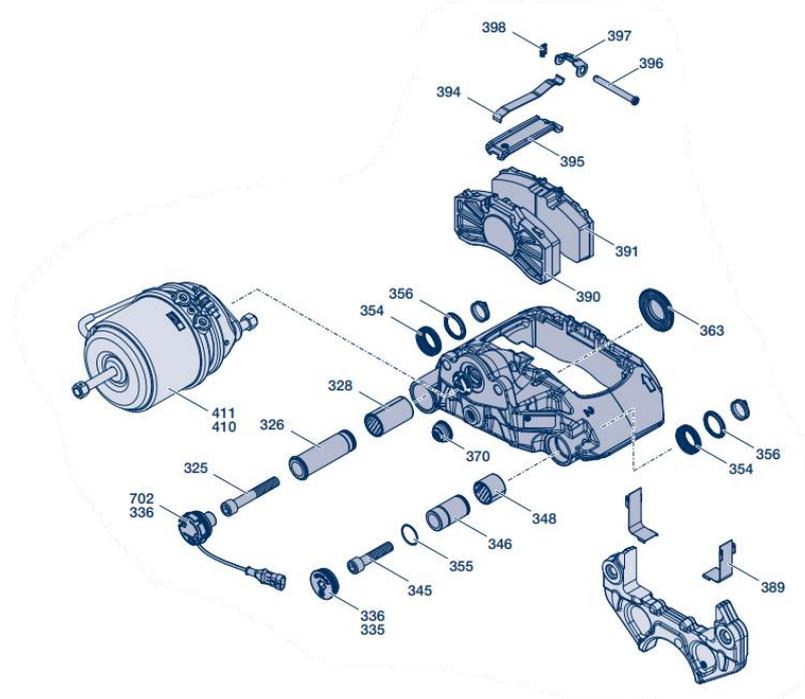
Рис. 2. Общий вид тормозного механизма Knorr-Bremse SN6 [3]:

a – взрыв-схема, *b* – разрез на виде сверху, *c* – разрез на виде сбоку

Fig. 2. General view of the Knorr-Bremse SN6 brake mechanism:

a – exploded view, *b* – section on the top view, *c* – section on the side view

2.2. *BPW TS2*. Общий вид тормозного механизма *BPW TS2* приведен на рис. 3 [4].

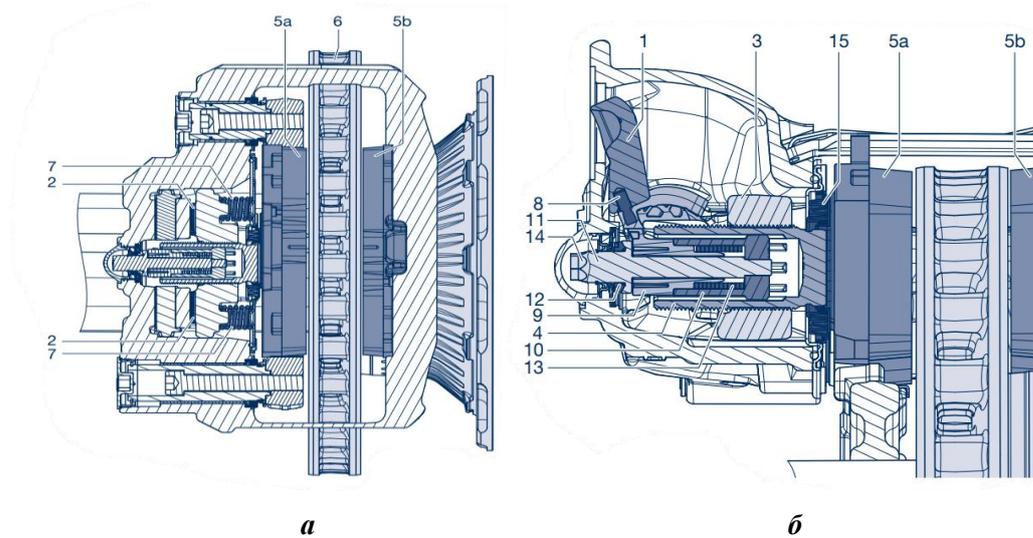


325 – винт с цилиндрической головкой; 326 – опорная втулка, длинная (неподвижная опора); 328 – направляющая втулка (неподвижная опора); 335 – резьбовая заглушка; 336 – кольцо круглого сечения; 345 – винт с цилиндрической головкой; 346 – опорная втулка, короткая (подвижная опора); 348 – направляющая втулка (подвижная опора); 354 – гофрированный чехол; 355 – кольцо круглого сечения; 356 – кольцо; 363 – гофрированный чехол с прижимной пластиной; 370 – заглушка; 389 – защитная подкладка; 390 – тормозная колодка активная (несущая пластина с фрикционной накладкой); 391 – тормозная колодка пассивная (несущая пластина с фрикционной накладкой); 394 – натяжная пружина; 395 – поддерживающая скоба для тормозных колодок; 396 – палец; 397 – скоба; 398 – шплинт; 410 – тормозная камера; 411 – тормозная камера; 702 – датчик износа

Рис. 3. Общий вид тормозного механизма *BPW TS2* [5]

Fig. 3. General view of the *BPW TS2* brake mechanism [5]

Разрез дискового тормозного механизма представлен на рис. 4. Он имеет один упор для воздействия на тормозную колодку, смещенный относительно оси симметрии по направлению вращения колеса на некоторое расстояние (рис. 5). Данное решение, по заявлению производителя, позволяет получить более равномерное распределение давления по рабочей поверхности тормозной колодки. Также наличие лишь одного упора позволяет упростить конструкцию механизма регулировки зазора. На торце упора, непосредственно взаимодействующего с колодкой (390), выполнены круговые проточки. Проточки позволяют получить меньшую площадь контакта колодки и упора и, следовательно, меньшую теплопередачу от колодки к упору. На обратной стороне активной колодки (390) выполнены ребра, позволяющие увеличить площадь теплообмена с окружающей средой. Кроме того, ребра позволяют увеличить жесткость колодки, что положительно влияет на равномерность прижатия колодки к диску. Данная особенность является актуальной при наличии в конструкции лишь одного толкателя. Конфигурация направляющих скобы различается. Нижняя направляющая (326), воспринимающая наибольшую нагрузку, имеет большую длину, чем верхняя направляющая (346), за счет чего увеличивается площадь ее контакта со скобой, снижая контактные давления и износ. Суппорт данного тормозного механизма полностью располагается по одну сторону от диска, являясь направляющей только для одной из колодок (390).



1 – рычаг тормозного механизма; 2 – игольчатый подшипник; 3 – траверса;
 4 – резьбовая втулка; 5a – внутренняя тормозная колодка; 5b – внешняя тормозная колодка;
 6 – тормозной диск; 7 – нажимные пружины; 8 – установочный штифт;
 9 – регулировочная ступица; 10 – включающая втулка; 11 – возвратный вал;
 12 – зубчатая шайба; 13 – петлевая пружина; 14 – шестигранник;
 15 – гофрированный чехол с прижимной пластиной

Рис. 4. Разрез тормозного механизма BPW TS2 [5]:

a – вид сверху, б – вид сбоку

Fig. 4. Sectional view of the BPW TS2 brake mechanism [5]:

a – top view, b – side view

Вторая колодка закреплена непосредственно на подвижной скобе. Такой механизм, по заявлению производителя, позволил облегчить конструкцию примерно на 4 кг [4]. Помимо этого, данное решение позволяет производить замену тормозного диска, не демонтируя тормозной механизм. Однако при таком способе фиксации пассивной колодки (391) увеличивается площадь контакта колодки со скобой, повышая теплопередачу от колодки к скобе, что, вероятно, ограничивает выбор материала скобы. Кроме того, подобное решение приводит к повышению нагрузки на подвижную скобу и уменьшению жесткости конструкции.

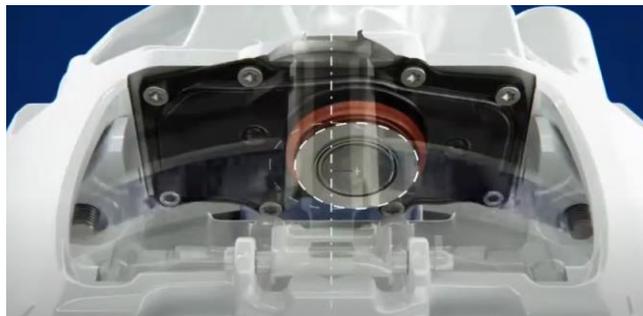
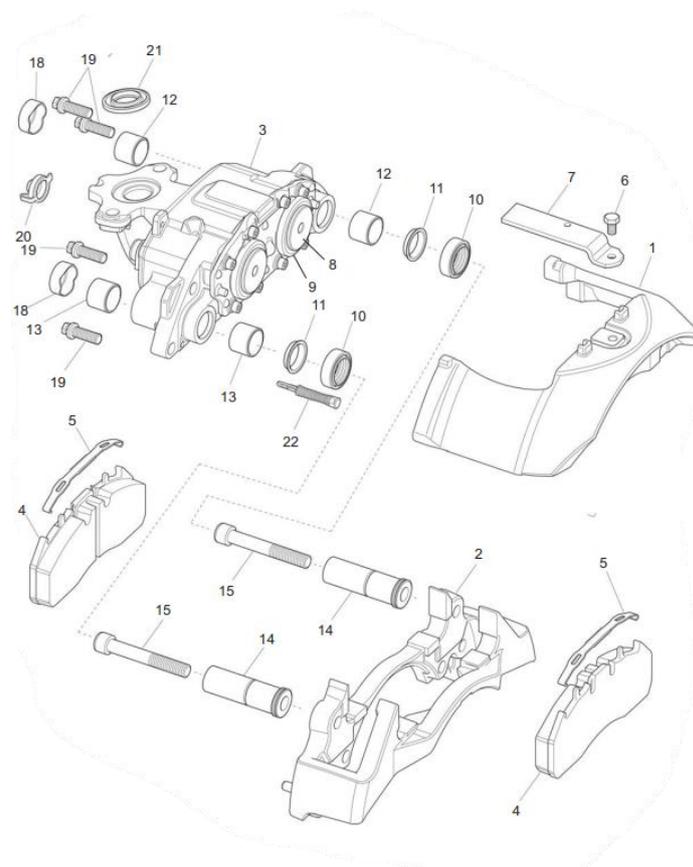


Рис. 5. Смещение толкателя относительно центральной оси

Fig. 5. Pusher displacement relative to the central axis

Конструкция скобы неразборная. Данное решение позволяет упростить конструкцию и повысить ее жесткость, а также избежать применения дополнительного высоконагруженного болтового соединения. Однако при использовании данной конструкции усложняется обработка отливки, а также затрудняется доступ к пыльнику 15 и его замена.

2.3. *MERITOR ELSA 225*. На рис. 6 представлен общий вид тормозного механизма Meritor Elsa 225 [6].



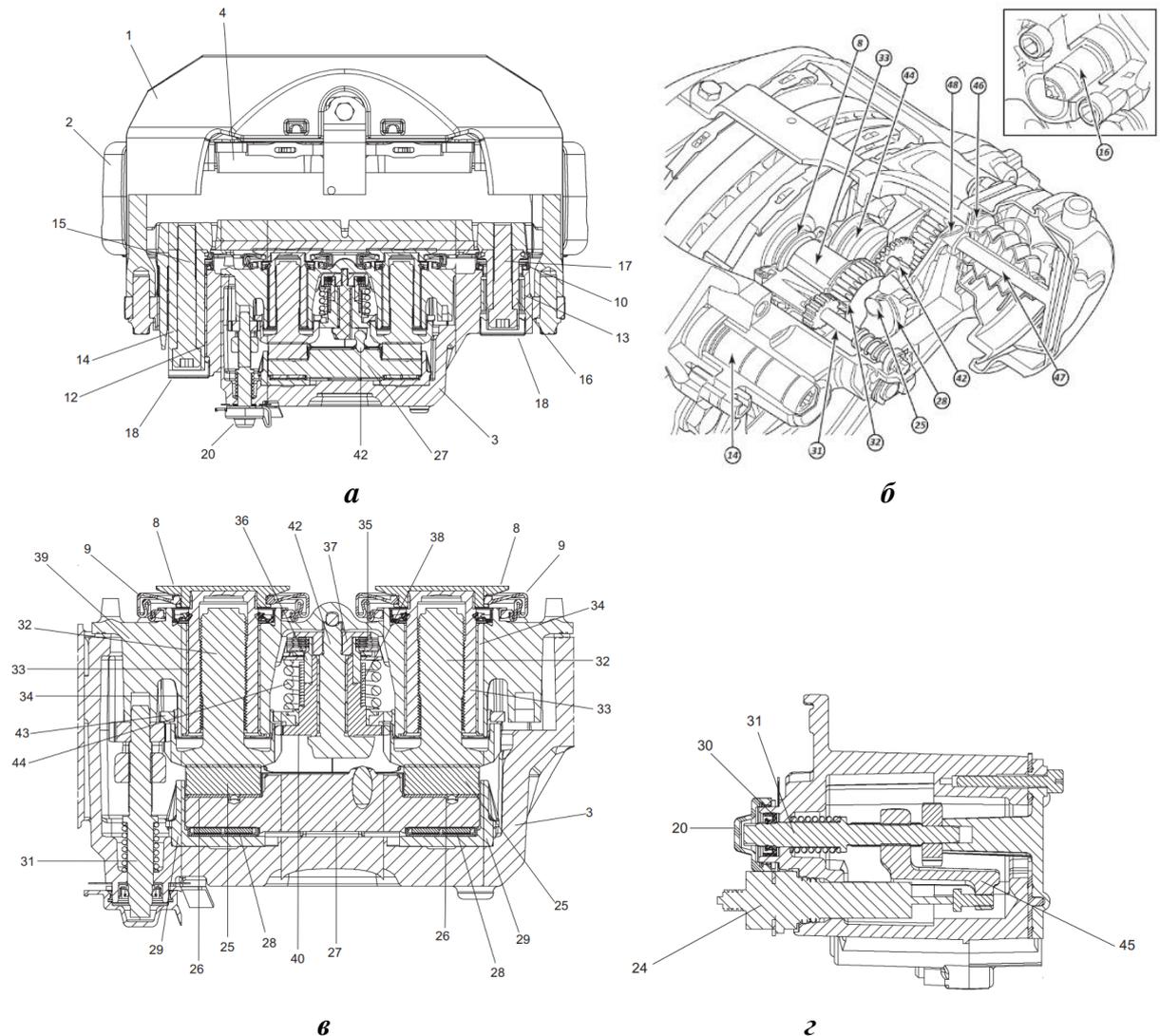
- 1 – скоба; 2 – суппорт; 3 – корпус; 4 – колодка; 5 – пружина колодки; 6 – винт;
 7 – зажимная скоба тормозных колодок; 8 – упор; 9 – пыльник поршня;
 10 – пыльник направляющей втулки; 11 – фиксатор направляющей втулки;
 12 – подшипник направляющей втулки, круглый; 13 – подшипник направляющей втулки, овальный;
 14 – направляющие втулки; 15 – винт направляющей втулки; 18 – заглушка; 19 – винт скобы;
 20 – колпачок; 21 – уплотнение; 22 – визуальный индикатор износа

Рис. 6. Общий вид тормозного механизма Meritor Elsa 225 [7]

Fig. 6. General view of the Meritor Elsa 225 brake mechanism [7]

Разрез дискового тормозного механизма показан на рис. 7. Он имеет два упора для воздействия на тормозную колодку, расположенные друг от друга на относительно малом расстоянии. Данное решение позволяет получить более равномерное распределение давления по рабочей поверхности тормозной колодки, чем при одном упоре, однако, вероятно, из-за малого расстояния между упорами, возникает необходимость в увеличении их площади. Наличие двух упоров усложняет механизм регулировки зазора, так как возникает необходимость использования механизма синхронизации. Малое расстояние между упорами позволяет использовать зубчатые колеса для передачи вращательного движения от регулятора к толкателям. Процесс отвода колодок осуществляется извне через специальный переходник (61*), разрушающийся при превышении допустимого момента, возникающего при отводе колодок вследствие каких-либо неисправностей, и препятствующий выходу из строя автоматического регулятора (23).

Для визуального контроля износа колодок в тормозном механизме предусмотрен отдельный элемент, перемещение которого позволяет оценить состояние колодок (рис. 8).



- 1 – подвижная скоба; 2 – суппорт; 3 – корпус; 4 – тормозная колодка; 8 – упор;
 9 – гофрированный пыльник; 10 – пыльник направляющей; 12 – втулка латунная (круглая);
 13 – втулка латунная (овальная); 14 – втулка направляющая (длинная); 15 – винт;
 16 – втулка направляющая (короткая); 17 – винт; 18 – заглушка;
 20 – заглушка стержня ручной регулировки; 24 – датчик износа; 25 – ролик; 26 – подшипник ролика;
 27 – вал рычага; 28 – эксцентриковый подшипник; 29 – обойма;
 30 – манжета стержня ручной регулировки; 31 – стержень ручной регулировки; 32 – толкатель;
 33 – вал поршня; 34 – трехлопастная втулка; 35 – пакет фрикционов;
 36 – внутренняя приводная втулка; 37 – наружная приводная втулка; 38 – витая пружина;
 39 – корпус поршня; 40 – промежуточная шестерня; 41 – штифт со сферической головкой;
 42 – регулировочный вал; 43 – возвратная пластина; 44 – возвратная пружина;
 45 – вал сенсора износа; 46 – пыльник штока; 47 – шток; 48 – рычаг

Рис. 7. Разрез тормозного механизма Meritor Elsa 225 [7]:

a – вид сверху, *б* – аксонометрическая проекция; *в* – механизм регулировки (увеличено);
г – разрез по сенсору износа (24)

Fig. 7. Sectional view of the Meritor Elsa 225 brake mechanism [7]:

a – top view, *b* – axonometric projection; *c* – adjustment mechanism (enlarged);
d – section along the wear sensor



Рис. 8. Контроль износа колодок:

а – 0 % износа, б – 25 % износа

Fig. 8. Brake pad wear control:

а – 0% wear, б – 25% wear

Данное решение позволяет более точно оценивать состояние колодок по сравнению с аналогами, однако приводит к усложнению конструкции механизма. Для изоляции внутренних компонентов механизма от внешней среды применены два ряда уплотнений: гофрированный пыльник и внутреннее уплотнение. Данное решение позволяет получить лучшую герметизацию внутренней поверхности в сравнении с аналогами. Внутренняя полость механизма закрывается штампованной крышкой со стороны внутренней колодки. Данное решение позволяет применять цельный картер, содержащий рычажную часть тормозного механизма и механизм регулировки зазора, исключая необходимость применения составного картера, что, в свою очередь, позволяет избавиться от дополнительного болтового соединения, подверженного циклическим нагрузкам со стороны пневмокамеры и рычага (48). Однако данная крышка в значительной степени подвержена внешнему воздействию и коррозии, из-за чего нередко ее разрушение приводит к разгерметизации внутренней полости.

Конфигурация направляющих скобы различается. Направляющая, воспринимающая большую нагрузку, выполнена более длинной для увеличения площади контакта и снижения контактных давлений. Между длинной направляющей (14) и подвижной скобой (1) расположены две круглые латунные втулки (12), выполняющие роль подшипника скольжения. Между короткой направляющей (16) и подвижной скобой (1) находится овальная латунная втулка (13). Данное решение позволяет компенсировать любые вероятные взаимные смещения скобы (1) и суппорта (2), будь то тепловое расширение, коррозия, неравномерность выдвигания резьбовых втулок, предотвращая заклинивание подвижной скобы. Данная конструкция более простая, чем решение Knorr-Bremse с резиновой втулкой. Кроме того, она лучше изолирована от воздействия окружающей среды, с помощью пыльника (10) и заглушки (18).

Конструкция скобы (1), (3) разборная. Данное решение позволяет упростить обработку отливки корпуса (3), а также облегчает доступ к пыльникам (9) и (10). Однако подобная конструкция приводит к появлению нагруженного болтового соединения.

3. Дисковые тормозные механизмы с электромеханическим приводом

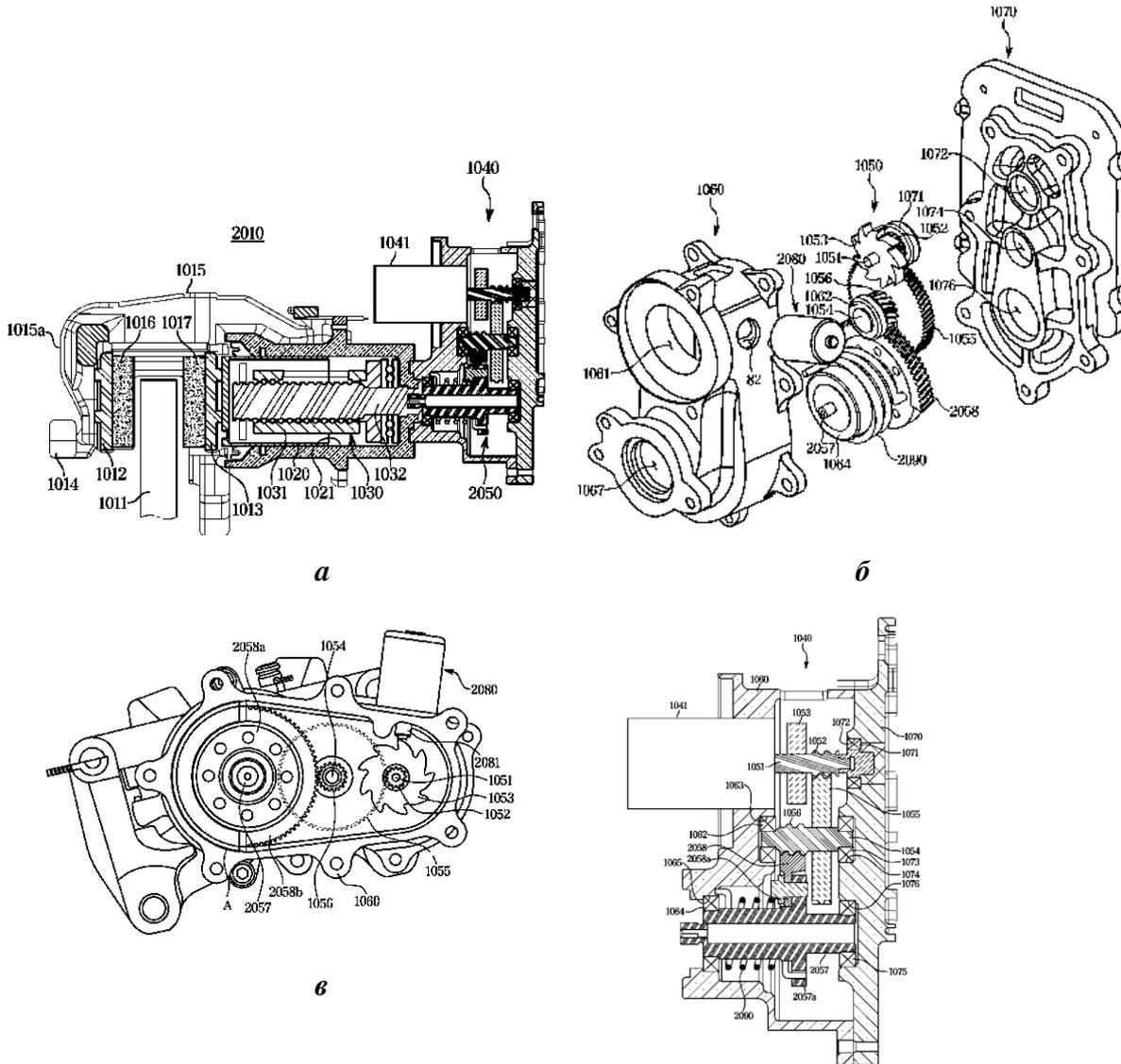
В настоящее время ведутся активные исследования и создание прототипов рабочих тормозных механизмов с электромеханическим приводом для грузовых автомобилей. Актуальность данной темы возросла вследствие увеличившейся частоты использования электромеханических трансмиссий в составе грузовых транспортных средств [8].

Электромеханический привод рабочих тормозных механизмов обладает следующими преимуществами [9]:

- 1) уменьшенный объем и вес системы, удобство установки и обслуживания;
- 2) отсутствие утечки тормозной жидкости и меньшее загрязнение окружающей среды;
- 3) нулевой остаточный тормозной момент, низкое энергопотребление и длительный срок службы тормозов;
- 4) легкая интеграция со стояночным тормозом с электромеханическим приводом;

- 5) более высокое быстродействие и точность управления;
- 6) удобство реализации ABS.

Основным элементом дискового тормозного механизма с плавающей скобой и электромеханическим приводом, отличающим его от аналога с пневматическим приводом, является электромеханический актуатор. Рассмотрим базовую конструкцию электромеханического актуатора на примере конструкции дискового тормозного механизма, запатентованной фирмой Mando (рис. 9) [9]. Актуатор включает в себя: электрический двигатель (1041), редукторную часть (1040), механизм преобразования движения (в его роли выступает передача винт-гайка (1030)), нажимное устройство (1020), возвратное устройство (в данном случае пружина (2090)).



2

Рис. 9. Дисковый тормозной механизм с электромеханическим приводом [10]:

a – главный вид, *б* – взрыв-схема, *в* – редукторная часть механизма вид 1,
г – редукторная часть механизма вид 2

Fig. 9. Disc brake mechanism with electromechanical drive:

a – main view, *b* – exploded view, *c* – gear part of the mechanism view 1,
d – gear part of the mechanism view 2

Рассмотрим работу тормозного механизма при торможении. Электрический мотор (1041) вращает вал-шестерню (1052). Через зубчатое зацепление момент передается на колесо (1055) и далее на вал шестерню (1056). Затем вращательное движение передается на зубчатый сектор (2058) и далее на вал (2057). При вращении вала (2057) пружина (2090) начинает закручиваться, накапливая потенциальную энергию деформации. Пружина (2090) необходима для уменьшения люфта в механизме и увеличения быстродействия механизма при растормаживании. Через шлицевое соединение вращательное движение передается с вала (2057) на винтовой вал (1032). При вращении вала (1032) шариковая гайка (1031) начинает совершать поступательное движение влево (рис. 9(а)) и, поскольку гайка (1031) жестко связана с поршнем (1020), он также начинает совершать поступательное движение влево воздействуя на колодку (1013) с фрикционной накладкой (1017). После выборки зазора между накладкой (1017) и диском (1011), реакция со стороны колодки передается на поршень, далее на гайку, с гайки на винт и, через упорный подшипник, на цилиндр (1021). Цилиндр начинает движение вместе с корпусом (1015) по направляющим, закрепленным на несущей системе. Корпус воздействует на колодку (1012) с накладкой (1016) и, после выборки зазора между накладкой (1016) и диском на колесе возникает тормозной момент.

Стояночный тормоз в данном механизме реализован при помощи соленоида (2080), штока (2081) которого выдвигается, когда диск зажат между колодками, упираясь в зубья колеса (1053) и блокируя тем самым механизм в текущем состоянии.

Выводы

Проведен сравнительный анализ конструктивных решений, применяемых в дисковых тормозных механизмах с пневматическим приводом; сделаны следующие выводы:

1) в настоящее время имеет место тенденция на использование цельного картера рычажной части, с использованием штампованной крышки со стороны внутренней колодки, с целью исключения болтового соединения, подверженного циклическим нагрузкам (*Knorr-Bremse SB7, Knorr-Bremse SB6*);

2) использование двух рядов пыльников незначительно усложняет конструкцию, позволяя при этом лучше герметизировать внутреннюю полость, увеличивая таким образом срок службы тормозных механизмов (*Knorr-Bremse SN6, Meritor elsa 225*);

3) наличие двух воздействующих на колодку упоров приводит к лучшему распределению давлений по колодке, однако требует наличия механической передачи в механизме регулировки зазора, в то время как использование лишь одного упора позволяет упростить конструкцию механизма регулировки зазора, но при этом требует учета отрывающего момента, создаваемого силами трения между диском и колодкой и воздействующего на колодку (*BPW TS2*);

4) использование цельной конструкции плавающей скобы позволяет избавиться от высоконагруженного болтового соединения (*Knorr-Bremse SN6, BPW TS2*), однако усложняет процесс обработки отливки и сборки рычажной части тормозного механизма;

5) конструкция одного из подшипников направляющих в форме эллипса позволяет компенсировать любые взаимные смещения направляющих суппорта и отверстий скобы (*Meritor Elsa 225*); тем же эффектом обладает резиновая направляющая (*Knorr-Bremse SN6*), однако при использовании такого конструктивного решения необходимо предусматривать дополнительные меры по герметизации направляющей;

6) для оценки износа колодок достаточным является использование меток на взаимно смещающихся деталях (скоба/суппорт) (*Knorr-Bremse SN6*), наличие отдельного механизма значительно усложняет конструкцию (*Meritor Elsa 225*);

7) применение электромеханического тормозного привода рабочих тормозных механизмов в коммерческом транспорте актуально при использовании электромеханической трансмиссии, однако в настоящее время его использование ограничивается требованиями безопасности и требует дополнительных исследований.

Библиографический список

1. **Гуревич, Л.В.** Тормозное управление автомобиля / Л.В. Гуревич. – М.: Транспорт, 1978. – 152 с.
2. Knorr-Bremse – Reman Caliper [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.knorr-bremsecvs.com/remancaliper/en/home/index.html> (дата обращения 15 декабря 2024).
3. Дисковые тормозные механизмы с пневмоприводом SN6-SN7-SK7. Руководство по ремонту, 2013. – 58 с.
4. The most successful trailer disc brake in Europe: BPW ECO Disc. [Электронный ресурс] // Режим доступа <https://www.bpw.de/en/ecodisc> (дата обращения 15 декабря 2024).
5. Руководство по техническому обслуживанию и ремонту. Дисковый тормозной механизм BPW ECO Disc TS2, 2019. – 47 с.
6. ELSA 225H Twin-Piston Air Disc Brake | Cummins Inc. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.cummins.com/components/drivetrain-systems/brakes/elsa225h> (дата обращения 15 декабря 2024).
7. Meritor trailer disc brake spares, 2014. – 59 с.
8. AxTrax 2-ZF [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://www.zf.com/products/en/cv/products_75842.html (дата обращения 15 декабря 2024).
9. **Li, C., G. Zhuo, C. Tang et al.** A Review of Electro-Mechanical Brake (EMB) System. Structure, Control and Application. Sustainability 2023, 15, 4514. <https://doi.org/10.3390/su15054514>
10. **Drennen, D.B.** Electric Brake Caliper Having a Ballscrew with Integral Gear Carrier / D.B. Drennen, E.R. Siler, J.R. Waag et al. US Patent 2,005,034,936A1, 17 February 2005.

*Дата поступления
в редакцию: 31.01.2025*

*Дата принятия
к публикации: 02.06.2025*