

УДК 629.1.01

<sup>1</sup>И. А. Яицков, д-р техн. наук, профессор, <sup>1,2</sup>П. А. Поляков, канд. техн. наук, доцент,  
<sup>3</sup>Н. А. Задаянчук, <sup>2</sup>Р. Н. Дедусенко, магистр

<sup>1</sup>Ростовский государственный университет путей сообщения, РФ

<sup>2</sup>Кубанский государственный технологический университет, РФ

<sup>3</sup>Кубанский государственный университет, РФ

<sup>1</sup>E-mail: [via\\_nis@rgups.ru](mailto:via_nis@rgups.ru)

<sup>2</sup>E-mail: [polyakov.pavel88@mail.ru](mailto:polyakov.pavel88@mail.ru)

<sup>3</sup>E-mail: [nina-nuska@mail.ru](mailto:nina-nuska@mail.ru)

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ АДАПТАЦИИ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ

*Проанализированы конструктивные решения тормозных устройств дисково-колодочного типа, применяемые на различных видах транспорта и технологических машин, на основе необходимости адаптивности. В результате анализа были намечены пути дальнейших исследований по целесообразности разработки адаптивных систем торможения транспортных средств. Основным условием является многовекторность отслеживания параметров отвечающих за приспособленность тормозных устройств к изменяющимся внешним условиям. В качестве параметров отвечающих за адаптивность тормозных устройств, наравне с существующими антиблокировочными системами и программами-ассистентами необходимо применять дополнительные системы обеспечивающие связь между нагрузкой, приходящейся на «тормозящее» колесо и развиваемым этим колесом тормозным моментом. Предложена схема работы адаптивной системы торможения на примере нагруженного и разгруженного «тормозящего» колеса транспортного средства.*

**Ключевые слова:** тормозное устройства дисково-колодочного типа, антиблокировочная система, адаптивность торможения, привод, конструктивное исполнение.

I. A. Yaitskov, P. A. Polyakov, N. A. Zadayanchuk, P. N. Dedusenko

### PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF BRAKE ADAPTATION SYSTEMS

*The design solutions of disc-block type braking devices used on various types of transport and technological machines are analyzed on the basis of the need for adaptability. As a result of the analysis, the ways of further research on the feasibility of developing adaptive vehicle braking systems were outlined. The main condition is the multi-vector tracking of the parameters responsible for the adaptability of braking devices to changing external conditions. As parameters responsible for the adaptability of braking devices, along with existing anti-lock systems and assitant programs, it is necessary to use additional systems that provide a link between the load on the "braking" wheel and the braking torque developed by this wheel. A scheme of operation of an adaptive braking system is proposed using the example of a loaded and unloaded "braking" wheel of a vehicle.*

**Keywords:** disc-block type braking device, anti-lock system, adaptive braking, drive, design.

### 1. Введение

Бесконечный рост грузооборота транспортных потоков [1] заставляет задумываться о развитии систем безопасности транспортных средств, что приводит к совершенствованию и доработке существующих узлов торможения, как основных элементов активной безопасности.

Современные дисковые и дисково-колодочные тормозные устройства транспортных средств и технологических машин поражают разнообразием конструкций в зависимости от вида подвижного состава и условий эксплуатации (рис. 1). Типы приводов, используемых при эксплуатации тормозных устройств отличаются применением прижимающих элементов и рабочих тел.

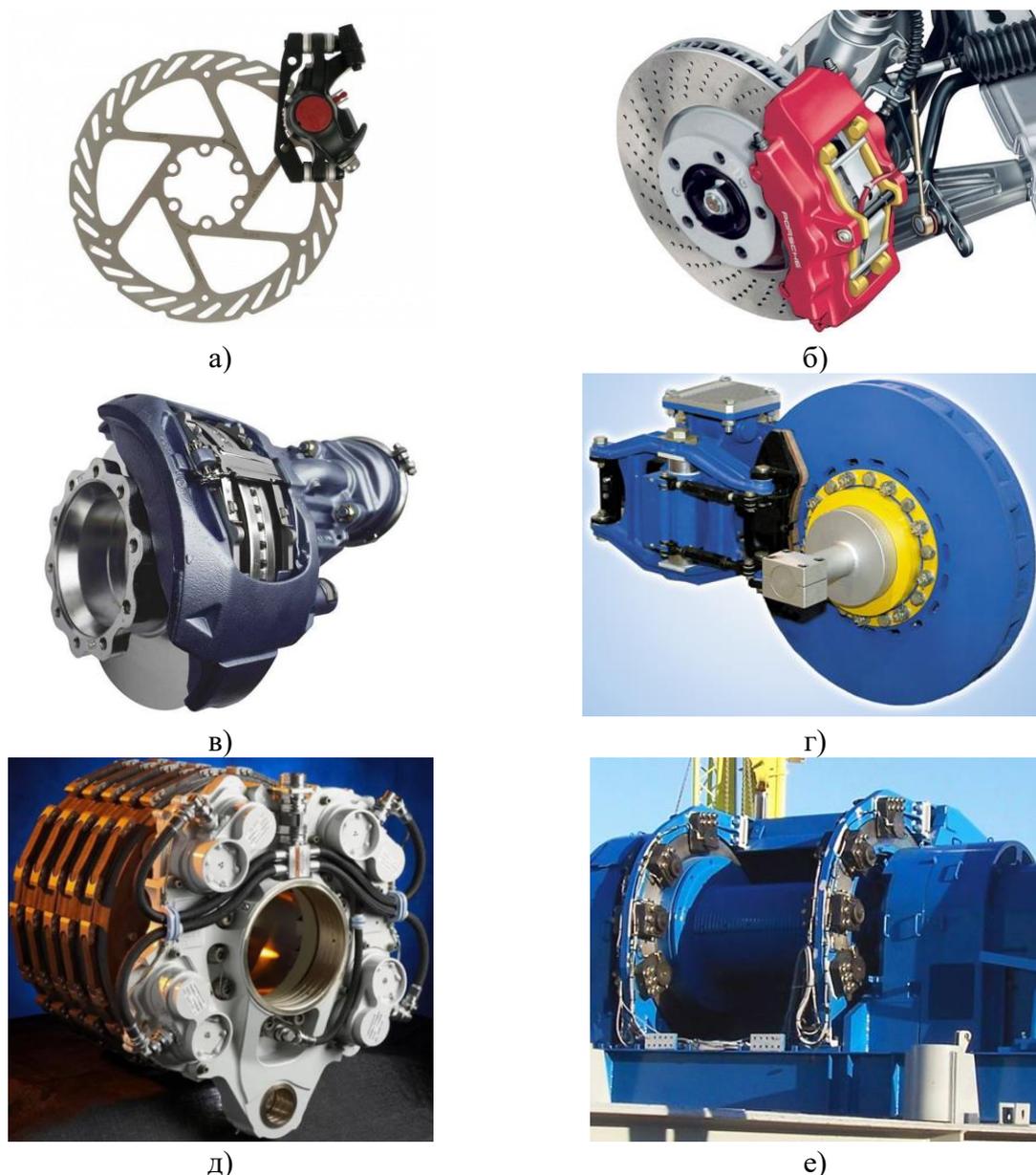


Рисунок 1. Современные дисковые и дисково-колодочные тормозные устройства транспортных средств и технологических машин: с механическим (а), гидравлическим (б) и пневматическим (в) типами привода; работающим через передаточный механизм (г), использующую полиприжимающие элементы на едином суппорте (д) и разнесенные суппорта по рабочей площади тормозного диска (е)

Условия эксплуатации и развитие следящих электронных устройств позволяют отслеживать тормозные характеристики транспортных средств и технологических машин в процессе торможения. С помощью этих систем осуществляется контроль работоспособности тормозных систем и отслеживания периода обслуживания и необходимой замены отдельных элементов. Дальнейшее развитие тормозных устройств должно быть направлено на адаптивность тормозных характеристик транспортных средств и технологических машин. Рассмотрим подробнее каждый тип тормозного устройства на предмет применимости адаптивности тормозных характеристик.

## 2. Анализ тормозных устройств по целесообразности разработки адаптивной системы торможения

Тормозные устройства с механическим типом привода применяются лишь на транспортных средствах малой массы. Данный тип устройств используется наравне с ручным управлением, что объяснимо малыми значениями развиваемого тормозного момента. Водитель непосредственно воздействует на рукоятку управления тормозной системой и регулирует тормозное усилие на тормозящем колесе через нажатие и расжатие органа управления. Согласно исследованиям [2], проведенными британскими учеными, современные тормозные устройства должны обеспечивать баланс между малой массой и прочностными и теплоотводящими свойствами.

Создание адаптивности лишь замедлит и усложнит процесс торможения, что доказывает бесполезность разработка адаптации и регулирования для данных транспортных средств.

В тормозных устройствах с гидравлическим и пневматическим типами привода (рис. 1 б, в) основной проблемой является неравномерность тормозных сил при длительной эксплуатации. Это объяснимо прежде всего неравномерностью износа [3, 4, 5] в результате чего проблематично управлять процессом торможения с реализацией точных значений тормозной силы.

Вопрос адаптации тормозного усилия при эксплуатации данных механизмов стоит остро, так как динамика торможения может меняться достаточно быстро в зависимости от множества факторов. Применение антиблокировочных систем позволило поставить под контроль сцепление колес с поверхностью дороги и недопущения неконтролируемого юза транспортного средства при торможении. Разработка электронных помощников антиблокировочной системы позволила контролировать сцепление колеса с дорогой согласно положению кузова транспортного средства. Системы распределения тормозных усилий (EBD) (рис. 2 а), курсовой устойчивости (ESP) (рис. 2 б), антипробуксовочная (ASR) (рис. 2 в) и ассистент экстренного торможения (Brake assist) (рис. 2 г) используют датчики антиблокировочной системы и корректируют ее работу исходя из единственного параметра времени взаимодействия.

В подвижном составе тормозные устройства дисково-колодочного типа с передаточным механизмом (рис. 1 г) эксплуатируются при длительном и кратковременном режимах торможения. Прижимающая сила значительно превышает значение нежели у конструкций устройств непосредственным воздействием прижимающих элементов на тормозные колодки. Это определяется параметрами рычажной передачей прижимающего механизма. Недостатком данной конструкции силового устройства является перемещение прижимающего механизма относительно рабочих поверхностей тормозного диска. При изменении положения кузова вагона изменяется положение прижимающего механизма относительно рабочей поверхности тормозного диска. Это в первую очередь отражается на тормозных колодках, испытывающие колоссальные изгибающие нагрузки от взаимодействия с поверхностью тормозного диска [6].

Колесные тормозные устройства, применяемые на авиационных типах транспорта, работают при длительном режиме торможения (рис. 1 д). Колесные тормозные устройства используются совместно с аэродинамическим тормозом. Использование в паре двух различных типов тормозов позволяет повысить эффективность торможения самолета. В колесных тормозах дисково-колодочного типа, по аналогии антиблокировочной системы в автомобилях, в самолетах используется

автомат торможения, исключая юз. Основной проблемой колесных тормозных устройств является локальный перегрев из-за многодисковости тормозов [7, 8].

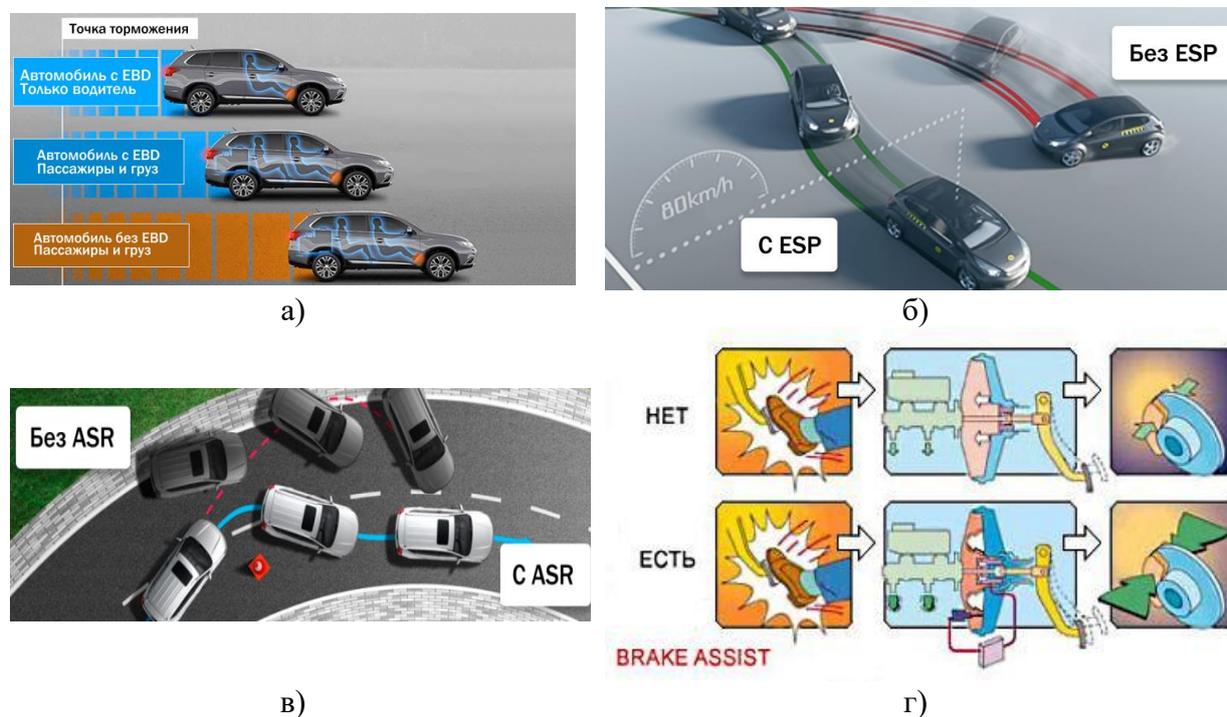


Рисунок 2. Системы распределения тормозных усилий (EBD) (а), курсовой устойчивости (ESP) (б), антипробуксовочная (ASR) (в) и ассистент экстренного торможения (Brake assist) (г)

Адаптивность торможения для тормозных устройств, устанавливаемых на пассажирских самолетах, не играет особой роли, потому как компенсируется автоматом торможения и применением других типов торможения.

Тормозные устройства, применяемые на шахтных подъемниках и буровых установках (рис. 1 е), используются совместно с электромагнитным тормозом, установленном на электроприводе. Целесообразность адаптивности торможения для шахтных подъемников и буровых установок не имеет смысла, так как задача фрикционных тормозных устройств окончательная остановка, тогда как основное тормозное усилие реализуется электромагнитным тормозом. Основное направление исследований для тормозных устройств, применяемых на подъемно-транспортном оборудовании, связано с реализацией стабильности тормозных характеристик [9].

Подводя итоги по анализу литературных источников можно с уверенностью утверждать, что адаптивное торможение необходимо тормозным устройствам, которые используются как основные элементы систем активной безопасности. В данном случае необходимо проектировать системы активной безопасности транспортных средств, направленные на отслеживание и управление тормозными характеристиками тормозных устройств по нескольким параметрам. Наиболее актуальными могут быть исследования связанные с доработкой существующих систем безопасности и универсальностью применения на различных типах транспорта. Для тормозных устройств, устанавливаемых на автотранспортных средствах, системы активной безопасности могут учитывать не только время взаимодействия как при использовании

антиблокировочных систем и возможных программных продуктов-ассистентов, но как нормальную нагрузку воспринимаемую тормозящим колесом, так и развиваемый тормозной момент [10].

Реализация адаптивности представлена на схеме работы тормозного устройства дисково-колодочного типа с пневматическим типом привода (рис. 3 а, б). На схемах показано расгруженное (рис. 3 а) и нагруженное (рис. 3 б) «тормозящее» колесо в процессе торможения.

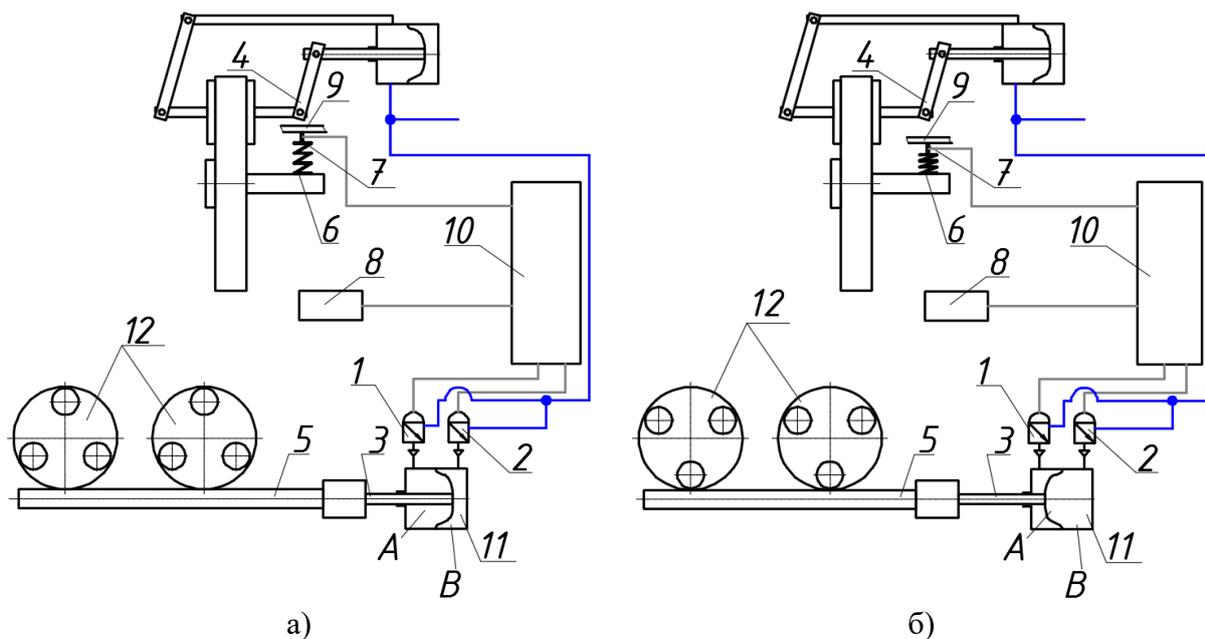


Рисунок 3. Схема работы привода регулирующего механизма тормозного устройства дисково-колодочного типа

Используя два положительных распределителя с центральным управлением 1, 2, можно управлять возвратно-поступательным движением штока механизма регулировки 3 тормозного устройства 4. Первый положительный распределитель 1 управляет подачей воздуха в полость А, воздействуя на поршень штока регулирующего механизма и заставляя перемещаться вперед рейку 5. В результате чего шестерни 12 проворачиваются и прижимающие элементы, закрепленные на них смещаются относительно их осей вращения. Сигнал получаем от датчика давления 6, установленного на подвески 7 транспортного средства и инклинометра 8, закрепленного на раме 9. При увеличении колебаний кузова на одном из колес оси, в случае нажатия на педаль тормоза первый распределитель 1 получает питание от управляющего процессора 10 и открывает подачу рабочего тела в полость А пневмокамеры 11 регулирующего механизма тормозного устройства. После достижения рейки 5 крайнего положения распределитель 1 закрывает подачу рабочего тела, в результате воздух под давлением препятствует возврату рейки 5 в исходное положение.

Второй распределитель 2 необходим для возврата рейки в исходное положение. Для этого сигнал с датчиков давления 6 и инклинометра 8 обрабатывается процессором 9 и дает управляющий сигнал на второй положительный распределитель 2 регулирующего механизма. Давление с рабочей магистрали тормоза через открытый

клапан распределителя 2 попадает в полость Б, тогда как первый распределитель 1 полости А открывает клапан и выпускает давление из этой полости в атмосферу. После достижения крайнего положения рейки 5 полость Б запирается клапаном второго распределителя 2 и не дает возможность изменять положение рейки 5 в течении движения транспортного средства.

### 3. Заключение

Проанализированы конструктивные решения тормозных устройств дисково-колодочного типа, применяемые на различных видах транспорта и технологических машин, на основе необходимости адаптивности. В результате анализа были намечены пути дальнейших исследований по целесообразности разработки адаптивных систем торможения транспортных средств. Основным условием является многовекторность отслеживания параметров отвечающих за приспособленность тормозных устройств к изменяющимся внешним условиям. В качестве параметров отвечающих за адаптивность тормозных устройств, наравне с существующими антиблокировочными системами и программами-ассистентами необходимо применять дополнительные системы обеспечивающие связь между нагрузкой, приходящейся на «тормозящее» колесо и развиваемым этим колесом тормозным моментом. Предложена схема работы адаптивной системы торможения на примере нагруженного и разгруженного «тормозящего» колеса транспортного средства.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Проблемы взаимодействия различных видов пассажирского транспорта в городе / Т. Н. Коновалова, С. Л. Надирян, Ю. П. Миронова, [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2015. – № 12. – С. 133-139.
2. Naveed, N., Whitford, M. (2019) Design analysis of bicycle brake disc for carbon fibre-lightweight material. The International Journal of Integrated Engineering. – 2019. vol. 11(8). pp. 91-109 DOI: <https://doi.org/10.30880/ijie.2019.11.08.010>
3. Simulation study on friction and wear law of brake pad in high-power disc brake / Zhang S., Hao Q., Liu Y., [et al.] // Mathematical Problems in Engineering. – 2019, 15p. <https://doi.org/10.1155/2019/6250694>
4. Sugözü, İ., Sugözü, B. The effect of wearing brake lining surface on braking performance // Journal of Current Research on Engineering, Science and Technology. – 2021. vol. 7 (2), pp. 203-208. doi: 10.26579/jocrest.82
5. Analysis of the wear and friction of brake pad added cashew and ulexite using ANSYS/ M. A. Akar, İ. Sugözü, G. Bilgi., [et al.] // International Journal of Automotive Engineering and Technologies. – 2021. vol. 12(3). pp. 83-91
6. Яицков, И. А., Поляков, П. А. Влияние продольной динамики пассажирского вагона на его тормозные свойства // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 4(88). – С. 75-88. – DOI 10.46973/0201-727X2022475.
7. Calculation of the braking temperature on a brake disc of light passenger aircraft using FEM and Newcomb models / M. Djafri, M. Bouchetara, T. Khatir, [et al.] // International Journal of Computational Methods. 2021. vol. 18. № 5. p. 14 <https://doi.org/10.1142/S0219876220400022>
8. Experimental identification of the thermal parameters of an aircraft braking system during the braking phase / J.-G. Bauzin, N. Keruzore, N. Laraqi, [et al.] // Advances in

thermal science and energy. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2023. pp. 83-92. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-43934-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-43934-6_9).

9. Wang, D., Wang, R., Zhang, J. Dynamic brake characteristics of disc brake during emergency braking of the kilometer deep coal mine hoist // *Advances in Mechanical Engineering*. 2020. vol.12(5). 23p. doi:10.1177/1687814020918097

10. Предпосылки создания адаптивной системы торможения транспортных средств / И. А. Яицков, П. А. Поляков, Ю. Д. Шевцов [и др.] // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2023. – № 11. – С. 585-593. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-11-585-589.

Поступила в редколлегию 07.02.2024 г.