

И. А. Яицков, П. А. Поляков, А. А. Кузькин

ПРИМЕНЕНИЕ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ НА СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОПОЕЗДАХ

Аннотация. При проектировании современных тормозных устройств необходимо руководствоваться двумя правилами: первое – изменение тормозных характеристик при минимальных габаритных размерах конструкций; второе – обладание системой управления, имеющую обратную связь и учитывающие большое количество данных внешних факторов и адаптировать тормозные характеристики под изменяющиеся условия эксплуатации. Проанализированы конструкции тормозных устройств с электромеханическим приводом. В результате анализа были сделаны выводы о крайне низкой надежности работы электрической части тормозных устройств, несмотря на быструю адаптацию тормозного устройства к изменяющимся внешним условиям. Помимо конструкций электромеханического привода тормоза была проведен литературный обзор источников, посвященных созданию электропневматических систем управления тормозными устройствами. Проанализированные работы позволили сделать вывод, что несмотря на наличие электронной системы управления пневматическая тормозная система имеет значительную инерционность в работе. На основании двух правил разработки проекта тормозного устройства выработана структура будущего тормозного устройства, включающего основу – пневматическую систему, обеспечивающую работоспособность, и электромеханический механизм регулирования тормозных сил в процессе торможения в зависимости от изменяющихся внешних факторов.

Ключевые слова: тормозное устройство, электромеханический привод, электропневматический привод.

Для цитирования: Яицков, И. А. Применение тормозных устройств с электромеханическим приводом на современных электропоездах / И. А. Яицков, П. А. Поляков, А. А. Кузькин // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2026. – № 1. – С. 149–155. – DOI 10.46973/1818-5509_2026_1_149.

Тормозные устройства, применяемые на электропоездах, относятся к средненагруженным силовым устройствам, обеспечивающим безотказную работу на длительных сроках эксплуатации при различных климатических и дорожных факторах. Конструкция тормозных устройств достаточно длительно не претерпевало значительных модернизаций. В современном мире тормозная система должна учитывать возрастающие средние скорости движения подвижного состава, динамические нагрузки, минимальное время реагирования и адаптацию под изменяющиеся внешние факторы. С учетом этих условий необходимо разрабатывать тормозные устройства с учетом изменения тормозных характеристик при минимальных габаритных размерах конструкций. Для этого тормозное устройство должно обладать системой управления, имеющую обратную связь и учитывающие большое количество данных внешних факторов и адаптировать тормозные характеристики под изменяющиеся условия эксплуатации.

Первым направлением решения данной проблемы является активное внедрение электромеханических приводов тормозных устройств, которые разрабатываются для

различных типов транспорта. Вторым направлением является разработка систем контроля торможения транспортного средства, базирующихся на установке электронного контроллера в блок тормоза.

Если первое направление связано с модернизацией элементов тормозной системы, заключающейся в снижении габаритных размеров элементов тормозных устройств и сокращении потерь и времени реагирования блока тормозов на изменяющуюся внешнюю среду. В работе [1] представлен электромеханический тормоз (рис. 1), который преобразует электрическую энергию электродвигателей в требуемую прижимную силу. Ротор электродвигателя вращается вместе с винтом винтовой передачи, благодаря чему гайки, встроенные в рычаги клещевого механизма, перемещаются и создают контактное давление в парах трения фрикционного узла. Преимуществом данного тормоза состоит в обеспечении требуемой прижимающей силы, в быстродействии при срабатывании тормоза.



Рис. 1. Электромеханический тормоз для подвижного состава

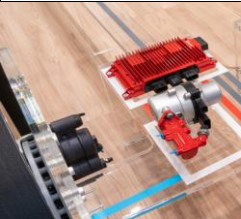
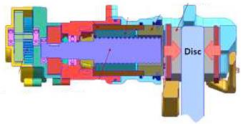
Недостатком является малая надежность при длительной эксплуатации тормозного устройства. При эксплуатации тормозных устройств с электромеханическим приводом энергоустановка не выдерживает постоянных динамических нагрузок и выходит из строя.

Математическое моделирование электронно-механической тормозной системы автомобиля с пропорционально-интегрально-дифференциальным управлением [2] показало, что создание требуемой прижимной силы в паре трения составляет 0,01с. В реальности обеспечения данной тормозной силы при повторяющихся циклах прижатия – релаксации во фрикционном узле наблюдается инерция, что негативно влияет на нагруженность и работоспособность электромеханического привода блока тормоза.

В автомобильной отрасли достаточно много разработок связанных с электромеханическим приводом тормозных устройств (см. табл.).

Таблица

Разработки тормозных устройств с электромеханическим приводом в автомобильной отрасли

№	Устройство	Иллюстрация	Компания	Результат
1	Тормозные устройства с электромеханическим клиновидным тормозным приводом. Сила, действующая со стороны привода, раскладывается на нормальную и силу для перемещения клина. В качестве клинового тормоза используется два клина с телами качения, расположенными между ними		Siemens VDO	Заклинивание тормоза
2	Тормозное устройство со вспомогательным электромеханическим приводом к основному гидравлическому. Электромеханический привод выполнен в виде редуктора вращающего винтовую передачу, преобразующую вращательное движение в поступательное		Continental TEVEZ	Прекращена разработка тормоза
3	Электромеханический актуатор встроен в гидравлическую тормозную систему для обеспечения требуемого усилия на каждом колесе транспортного средства		Brembo	Разработка продолжается
4	Электромеханический тормоз включающий бесколлекторный электродвигатель, обеспечивающий прижатие колодки через кулачковый механизм. Для увеличения вращающего момента на кулачке использовалась планетарная и коническая передачи		Haldex VIE	Разработка продолжается
5	Электромеханический тормоз выполнен в качестве основной рабочей тормозной системы. Для обеспечения перемещения колодки была выбрана винтовая передача		Hitachi	Разработка продолжается
6	Электромеханический тормоз преобразует вращающий момент от электродвигателя в поступательное перемещение колодки с помощью цилиндрических и винтовой передач		DGIST	Разработка продолжается
7	Электромеханический тормоз преобразует вращающий момент от электродвигателя в поступательное перемещение колодки с помощью цилиндрических и кулачковых передач		VE	Разработка продолжается

Проанализировав разработки конструкций тормозных устройств с электромеханическим приводом, можно сделать вывод о преждевременном отказе от традиционных гидравлических и пневматических типов привода тормозных устройств. Наиболее успешными типами разработки тормозных устройств являются модели, в которых тормоз с электромеханическим типом привода как вспомогательный, или как стояночный. В виду малой надежности электрической части привода можно предложить создание промежуточного гибридного варианта, в котором основное усилие привода будет обеспечивать рабочее тело системы, а регулирование усилием тормозного привода будет осуществлять электромеханический привод под влиянием внешних факторов.

Рассмотрим второе направление решение рассматриваемой проблемы, которое заключается в разработке систем контроля торможения транспортного средства, базирующихся на установке электронного контроллера в блок тормоза.

Старые системы, устанавливаемые на пассажирские поезда, используют несколько проводов для управления отдельными клапанами или различные варианты переключения проводов для управления тормозами. Большинство из этих систем используют вторую магистраль для подачи воздуха в основной резервуар и не имеют встроенной двусторонней связи, как в системах с электропневматическими тормозами. Система управления тормозными устройствами является по своей сути тормозными ассистентами, которые позволяют адаптировать тормозное усилие по требованию оператора подвижного состава (рис. 2). Тормозные системы – ассистенты направлены на достижения требуемого давления в тормозном цилиндре для замедления состава или его полной остановки.

Недостатком данной системы является пневматическая часть, которая остается на данный момент инерционной в сравнении с электрической частью.

В статье [3] моделировалась работа компьютерной модели электропневматического тормозного устройства для валидации ее с экспериментальными данными.

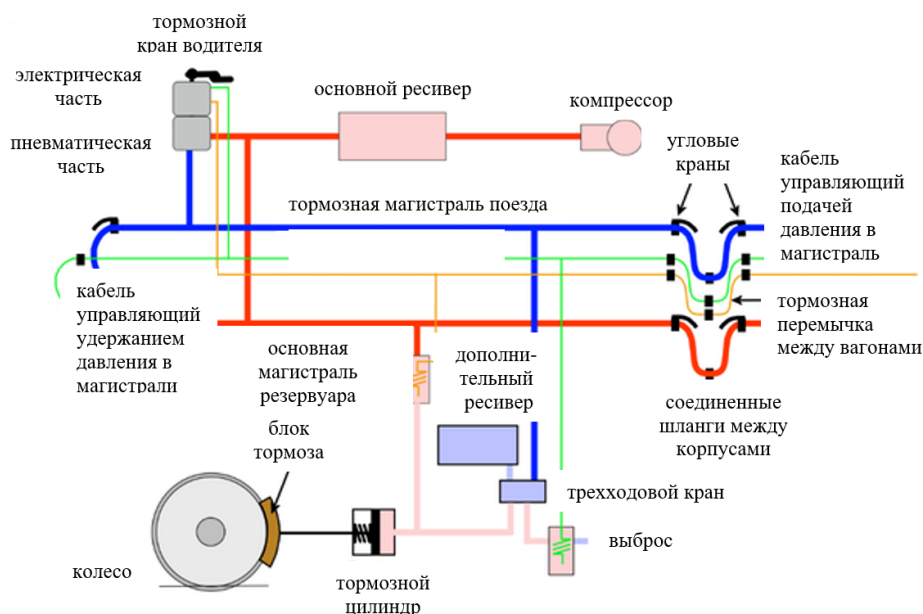


Рис. 2. Схема системы управления тормозом электропоезда

В работе [4] моделировалась электронная система управления наполнения тормозных цилиндров сжатым воздухом. Система контролировала регулирование давления с помощью электропневматического регулятора. Основным направлением совершенствования заключалось в снижении тормозного пути. В работе [5] исследователи предложили использовать пневматические тормозные системы с электронным управлением и сегментированные электропневматические тормозные системы для

снижения продольной ударной силы, но их различия неочевидны. Были созданы модели в программных продуктах SIMPACK, AMESim и Simulink динамики поезда, пневматического торможения и модуля управления тормозами, а также комплексная вычислительная модель, которая анализирует эффективность торможения с электронным управлением и с пневматическим управлением. Результаты показывают, что между торможением с электронным управлением и торможением с пневматическим управлением нет существенной разницы в таких показателях эффективности, как тормозной путь и давление в тормозном цилиндре. Кроме того, подробно рассматриваются различия в механизме работы систем торможения с электронным управлением и с пневматическим управлением, что может послужить основой для оптимизации тормозной системы с электронным управлением. В статье [6] приводятся имитационные модели для моделирования реального процесса торможения подъемного механизма при режимах штатного и экстренного торможения. Был проведен анализ эффективности торможения в различных условиях. В результате было получен результат при комбинированном способе торможения: первоначальное усилие в тормозной системе создавалось механическим тормозом, после для стабилизации вибраций в системе необходимо было подтормаживать электрическим тормозом.

В результате проанализированной информации можно сделать вывод, что необходимо тормозное устройство, которое будет регулировать тормозную силу на колесной паре тележки в зависимости от требования машиниста электропоезда. Электронная система – тормозной ассистент необходим для управления электромеханическим приводом блока регулирования тормозного устройства, при сохранении за пневматической системой основы создания усилия в тормозной камере. Таким образом можно объединить лучшие стороны электромеханического привода и пневматической системы лишив их недостатков, связанных с низкой надежностью (электрическая часть привода тормозного устройства) и высокой инерционностью работы (управлением пневматической системы).

Список литературы

1. Ma, T., Weng, J., Tian, C., Wu, M. A wear prediction framework for ball-screw of electro-mechanical brake unit on railway trains. (2024) Actuators, vol. 13, 17p. <https://doi.org/10.3390/act13040135>
2. Weng, J., Tian, C., Wu, M., Chen, M. Coupled rigid-flexible modelling and dynamic characteristic analysis of electromechanical brake (EMB) units on trains (2021) Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. Vol. 235. pp 700-712. <https://doi.org/10.1177/095440972095754>
3. Szente V., Vad J., Lóránt G. Computational and experimental investigation on dynamics of electric braking systems (2001) Conference: 7th Scandinavian International Conference on Fluid Power, 13p.
4. Karthikeyan, P., Sonawane, D. B., Subramanian, S. C. Model-based control of an electropneumatic brake system for commercial vehicles (2010) International Journal of

References

1. Ma, T., Weng, J., Tian, C., Wu, M. A wear prediction framework for ball-screw of electro-mechanical brake unit on railway trains. (2024) Actuators, vol. 13, 17p. <https://doi.org/10.3390/act13040135>
2. Weng, J., Tian, C., Wu, M., Chen, M. Coupled rigid-flexible modelling and dynamic characteristic analysis of electromechanical brake (EMB) units on trains (2021) Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. Vol. 235. pp 700-712. <https://doi.org/10.1177/095440972095754>
3. Szente V., Vad J., Lóránt G. Computational and experimental investigation on dynamics of electric braking systems (2001) Conference: 7th Scandinavian International Conference on Fluid Power, 13p.
4. Karthikeyan, P., Sonawane, D. B., Subramanian, S. C. Model-based control of an electropneumatic brake system for commercial vehicles (2010) International Journal of

Automotive Technology, vol. 11 pp. 507-515.
DOI 10.1007/s12239-010-0062-9.

5. Lan, C., Zhipeng, Z. Research and analysis of electronically controlled pneumatic and segmented electro-pneumatic braking system based on comprehensive computing model (2023) Sixth International Conference on Traffic Engineering and Transportation System (ICTETS 2022), vol. 12591 6p.
<https://doi.org/10.1117/12.2668545>

6. Wang, Q.-W., Bu, X.-Y., Zhou, C., Guo, T.-X., Wen, H. Analysis and research on electromechanical-pneumatic-mechanical braking performance of crane hoisting mechanism (2024) Research Square, 10p.
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3806199/v1>

Automotive Technology, vol. 11 pp. 507-515.
DOI 10.1007/s12239-010-0062-9.

5. Lan, C., Zhipeng, Z. Research and analysis of electronically controlled pneumatic and segmented electro-pneumatic braking system based on comprehensive computing model (2023) Sixth International Conference on Traffic Engineering and Transportation System (ICTETS 2022), vol. 12591 6p.
<https://doi.org/10.1117/12.2668545>

6. Wang, Q.-W., Bu, X.-Y., Zhou, C., Guo, T.-X., Wen, H. Analysis and research on electromechanical-pneumatic-mechanical braking performance of crane hoisting mechanism (2024) Research Square, 10p.
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3806199/v1>

I. A. Yaitskov, P. A. Polyakov, A. A. Kuzkin

THE USE OF ELECTROMECHANICAL BRAKING DEVICES ON MODERN ELECTRIC TRAINS

Abstract. When designing modern braking devices, it is necessary to follow two rules: the first is to change the braking characteristics with minimal overall dimensions of structures; the second is to have a feedback control system that takes into account a large number of external factors and adapt the braking characteristics to changing operating conditions. The designs of brake devices with electromechanical drive are analyzed. As a result of the analysis, conclusions were drawn about the extremely low reliability of the electrical part of the braking devices, despite the rapid adaptation of the braking device to changing external conditions. In addition to the designs of the electromechanical brake actuator, a literary review of sources devoted to the creation of electropneumatic brake control systems was conducted. The analyzed work led to the conclusion that despite the presence of an electronic control system, the pneumatic braking system has significant inertia in operation. Based on two rules for the design of a braking device, the structure of a future braking device has been developed, which includes a base – a pneumatic system that ensures operability, and an electromechanical mechanism for regulating braking forces during braking, depending on changing external factors.

Keywords: braking device, electromechanical drive, electropneumatic drive.

For citation: Yaitskov, I. A. The Use of Electromechanical Braking Devices on Modern Electric Trains / I. A. Yaitskov, P. A. Polyakov, A. A. Kuzkin // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobseniya. – 2026. – №. 1. – P. 149–155. – DOI 10.46973/1818-5509_2026_1_149.

Сведения об авторах

Яицков Иван Анатольевич

Ростовский государственный университет
путей сообщения (РГУПС),
факультет «Электромеханический»,
декан

Information about the authors

Yaitskov Ivan Anatolievich

Rostov State Transport University (RSTU),
Electromechanical Faculty,
Dean,

декан, доктор технических наук, профессор,
e-mail: yia@rgups.ru

Поляков Павел Александрович
Набережночелнинский институт Казанского
федерального университета,
кафедра «Механики и конструирования»,
заведующий кафедрой,
доктор технических наук, доцент,
e-mail: polyakov.pavel88@mail.ru

Кузькин Антон Алексеевич
Набережночелнинский институт Казанского
федерального университета,
кафедра «Автомобили»,
аспирант,
e-mail: AntonKuzkin039@yandex.ru

Doctor of Engineering Sciences, Professor,
e-mail: yia@rgups.ru

Polyakov Pavel Alexandrovich
Naberezhnye Chelny Institute of Kazan
Federal University,
Chair «Mechanics and Engineering»,
Head of the Chair,
Doctor of Technical Sciences, Associate
Professor,
e-mail: polyakov.pavel88@mail.ru

Kuzkin Anton Alekseevich
Naberezhnye Chelny Institute of Kazan
Federal University,
Chair «Automobiles»,
Postgraduate Student,
e-mail: AntonKuzkin039@yandex.ru