

Двухтрубная тормозная система на железнодорожном подвижном составе



Д. В. Осипов,
аспирант ФГБОУ
ВО «Иркутский
государственный
университет путей
сообщения» (ИрГУПС)



П. Ю. Иванов,
канд. техн. наук,
доцент кафедры
«Электроподвижной
состав» ИрГУПС



Е. Ю. Дульский,
канд. техн. наук, доцент
кафедры «Вагоны
и вагонное хозяйство»
ИрГУПС



А. С. Ковшин,
инженер ИрГУПС



А. А. Корсун,
аспирант ИрГУПС

Пневматические автоматические тормоза с однострубно́й системой питания, применяемые на отечественном железнодорожном подвижном составе, являются в целом надежной системой, обеспечивающей требуемый уровень безопасности движения. В то же время она имеет ряд недостатков и нуждается в модернизации.

Существуют различные факторы, влияющие на тормозную эффективность, такие как: степень износа тормозных колодок, их фрикционные свойства [1], быстродействие тормозной системы и др. Одним из важнейших факторов, влияющих на эффективность торможения, при этом редко принимающийся во внимание, является истощимость тормозной сети поезда. Данный недостаток приводит к потере контроля управления подвижным составом в процессе торможения [2].

Основная причина истощения тормозов — отсутствие выдержки времени между торможениями, которая необходима для полной зарядки запасного резервуара в режимах управления автоматическими тормозами во время выполнения циклических торможений. В настоящее время питание сжатым воздухом запасных резервуаров происходит через воздухораспределители, где воздушный поток теряет свое давление, проходя через различные калиброванные отверстия и фильтры. Помимо этого в воздухораспределителе имеются несколько камер, на заполнение которых нужно дополнительное время с целью подготовки системы к работе.

С целью сокращения времени зарядки запасный резервуар нуждается в дополнительном питании [3–5].

Для более полного понимания поставленного вопроса необходимо рассмотреть устройство и принцип действия применяемой однострубно́й тормозной системы (рис. 1), а также двухтрубной тормозной системы (рис. 2) в упрощенном виде [6, 7].

При данной системе мотор-компрессор (МК) заполняет сжатым воздухом главный резервуар (ГР). Далее через кран машиниста (КРМ) воздух поступает в тормозную магистраль (ТМ), после чего получает питание воздухораспределитель (ВР) и запасный резервуар (ЗР). Между тормозным цилиндром и запасным резервуаром давление контролируется воздухораспределителем, управление которым, в свою очередь, осуществляется путем изменения давления в тормозной магистрали при помощи крана машиниста. При изменении давления в сторону его повышения или понижения в тормозной магистрали, система переходит соответственно в режим отпуска или торможения.

Общий принцип работы двухтрубной тормозной системы аналогичен та-

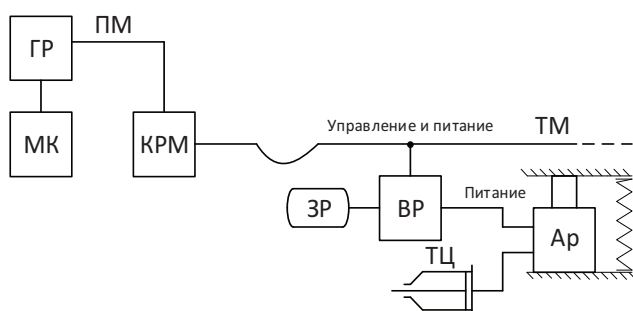


Рис. 1. Упрощенная схема однострубно́й пневматической тормозной системы отечественного грузового подвижного состава

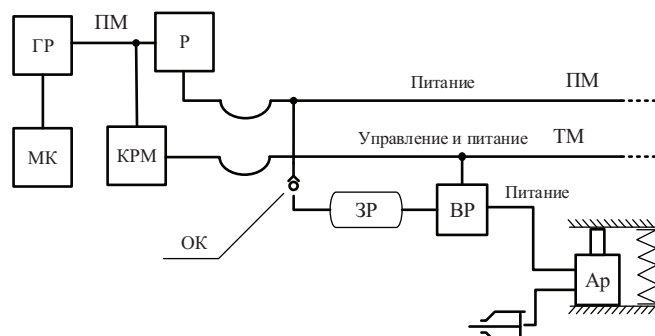


Рис. 2. Упрощенная схема двухтрубной пневматической тормозной системы для отечественного грузового подвижного состава

ковому для классической однострунной. При этом вторая труба прокладывается от главного резервуара через весь поезд, являясь продолжением питательной магистрали, которая не выполняет функции управления, служа источником дополнительного питания. Обратный клапан (ОК) обеспечивает заполнение запасного резервуара из питательной магистрали (ПМ), перекрывая одновременно выход воздуха из него при снижении давления в питательной магистрали в случае ее обрыва. Также такая система обеспечивает повышенное давление в запасном резервуаре по сравнению с тормозной магистралью, что приводит к увеличению скорости срабатывания тормозов.

Проведенное математическое моделирование доказывает, что двухтрубная тормозная система, обеспечивающая питание запасного резервуара, понижает время выдержки после отпуска тормозов и наполнения тормозных цилиндров, уменьшая таким образом вероятность истощения тормозной системы и сокращая подготовительный тормозной путь [7].

Все перечисленные факторы положительно влияют на увеличение средней и максимальной скоростей движения поезда и технико-экономическую эффективность перевозочного процесса [8]. Несмотря на это, результаты, полученные при выполнении математического моделирования, требуют подтверждения путем проведения сравнительных испытаний на стенде для одно- и двухтрубной пневматических тормозных систем.

Для работы двухтрубной тормозной системы необходимо наличие высокопроизводительного пневматического редуктора, который служит для подачи воздуха в питательную магистраль. Устройство отрегулировано на давление выше, чем в тормозной магистрали с целью обеспечения нужной скорости подпитки запасных резервуаров.

Для унификации системы был проведен поиск и выполнен сравнительный анализ готовых технических решений [9]. В результате выяснилось, что они не удовлетворяют требованиям пропускной способности сжатого воздуха из-за малого проходного сечения канала и не могут быть использованы для питания двухтрубной тормозной системы.

После анализа опыта применения аддитивных технологий в машиностроительной и судостроительной отраслях [10, 11] было принято решение разработать рабочий прототип высокопроизводительного пневматического редуктора с помощью технологий компьютерного моделирования и 3D-печати.

Описанный в работе [10] метод изготовления изделий при помощи металлического (порошкового) 3D-принтера довольно дорогой и энергоемкой, так как стоимость оборудования и исходного материала весьма высока. Более перспективным методом 3D-печати с целью изготовления прототипа является применение FDM технологии, при которой печать осуществляется пластиковым прутом. Преимущество такого метода заключается в сокращении трудоемкости изготовления, уменьшении сроков проектирования и изготовления

деталей, снижении себестоимости проектирования и изготовления деталей, экономии материалов при изготовлении прототипа [11].

Для создания редуктора использовали программное обеспечение «КОМПАС-3D» с разработкой моделей всех элементов пневматического редуктора. Далее они были распечатаны из материалов ABS, FLEX и PETG на 3D-принтерах марки Picasso Designer PRO250 и FlyingBear Ghost 5. Устройство редуктора и готовое техническое изделие изображены на рис. 3 и 4. Принцип работы редуктора аналогичен принципу работы устройств, описанных в работе [9].

Для подтверждения работоспособности прототипа изделия и в целом двухтрубной тормозной системы необходимо проведение испытаний. Для этого стенд с тормозным оборудованием (рис. 5, а) был модернизирован под двухтрубную систему (рис. 5, б).

Помимо этого для получения характеристик зависимости изменения давления от времени в рассматриваемой системе следует к питательной и тормозной магистралям, запасному резервуару, тормозному цилиндру, рабочей и золотниковой камерам воздухораспределителя подключить датчики. Они преобразуют давление сжатого воздуха в электрический сигнал, который поступает в микроконтроллер на основе платы arduino nano (рис. 6), где полученные сигналы обрабатываются и предоставляются пользователю в виде графиков, отображаемых в реальном времени на персональном компьютере с одновременной записью на съемный носитель

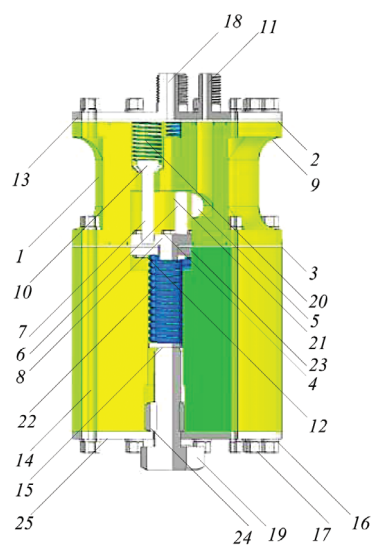


Рис. 3. Устройство высокопроизводительного пневматического редуктора для двухтрубной тормозной системы грузового поезда

- 1 – верхняя часть корпуса; 2 – прокладка; 3 – манжета; 4 – болт M4; 5, 6, 7 – клапаны; 8 – шайба ограничительная; 9 – нижняя часть корпуса; 10 – накладка клапана; 11 – отверстие питательной магистрали поезда; 12 – гайка M4; 13 – крышка верхняя; 14 – отверстие под шпильку M5; 15 – шайба опорная металлическая; 16 – шайба M5; 17 – гайка M5; 18 – отверстие питательной магистрали локомотива; 19 – болт регулировочный; 20 – пружина; 21 – рабочая камера; 22 – пружина регулировочная; 23 – опорная шайба; 24 – гайка M24; 25 – крышка нижняя



Рис. 4. Пневматический редуктор для питания двухтрубной тормозной системы грузового поезда
1 – быстросъемное соединение для питания тормозной магистрали; 2 – быстросъемное соединение для подвода питания; 3 – болт регулировочный

microSD. Редуктор питательной магистрали настроен на давление 7 кгс/см².

После проведения эксперимента были получены зависимости давления в исследуемой системе для режимов зарядки, отпуска и торможения от времени (рис. 7). Для сравнения неистощимости тормозной системы при одно- и двухтрубном питании в тормозном цилиндре была создана утечка.

Для наглядности характеристики, полученные для одно- и двухтрубной тормозных систем, необходимо привести к общему началу координат. Проанализировав сравнительные характеристики скорости и величины заполнения запасного резервуара (рис. 8), а также тормозных цилиндров (рис. 9) в одно- и двухтрубной системах для грузового поезда, выявили, что в ходе применения ступени торможения (разрядка тормозной магистрали составляет 1,5 кгс/см²)

при использовании двухтрубной системы запасной резервуар разряжается на незначительную величину и существенно медленнее, чем при классической системе питания.

При использовании однострубно системы питания наблюдается нехватка энергии сжатого воздуха, так как давление в тормозном цилиндре не достигло 2 кгс/см² в связи с наличием утечек в системе. При этом двухтрубная система показала максимальную эффективность работы, так как давление в тормозном цилиндре достигло необходимых 2 кгс/см². Кроме того тормозной цилиндр при одинаковой величине разрядки тормозной магистрали при двухтрубной системе заполняется на величину 0,22 МПа, что показывает ее эффективность на 30% выше, чем у однострубно системы. Время заполнения тормозного цилиндра до давления

2 кгс/см² при наличии утечки в двухтрубной системе уменьшается на 30 с, в то время как давление в тормозном цилиндре при однострубно питании не достигло целевого показателя.

Также было выявлено, что давление в золотниковой камере воздухораспределителя в двухтрубной системе достигает давления тормозной магистрали на 13 с быстрее, чем в однострубно системе, а давление в рабочей камере — на 40 с быстрее (рис. 10).

По результатам экспериментальных исследований двухтрубная тормозная система превосходит по эффективности работы однострубною. Ее внедрение в эксплуатацию на отечественный подвижной состав позволит снизить истощимость тормозной сети поезда и повысить скорость срабатывания тормозов, тем самым уменьшив подготовительный тормозной путь. Это в свою очередь приведет к повышению безопасности движения поездов и увеличению технической и участковой скорости движения поездов [12].

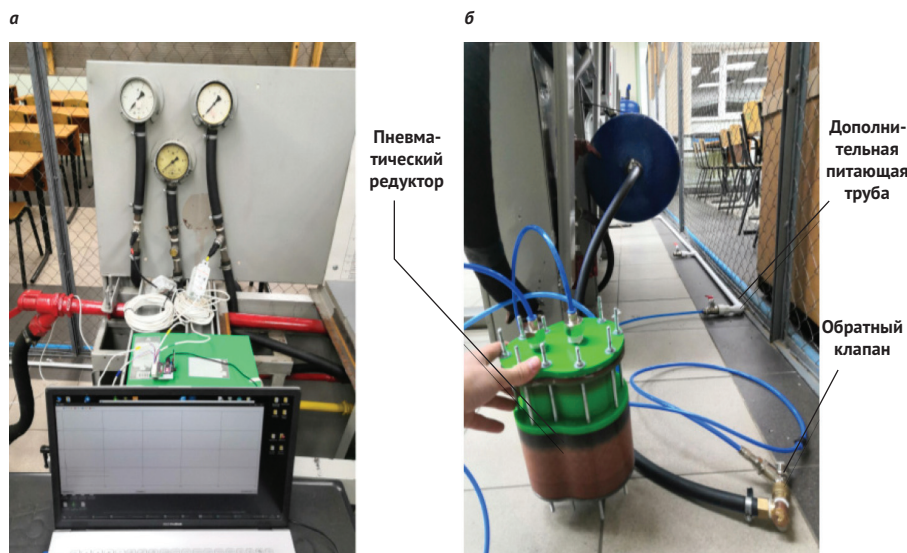


Рис. 5. Стенд для испытания двухтрубной тормозной системы:
а – основной стенд; б – модернизация стенда до двухтрубной системы

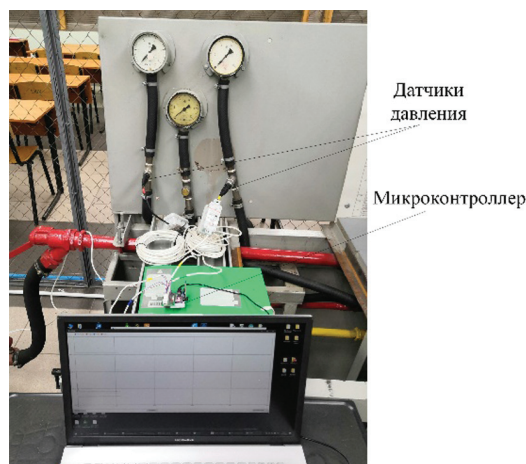


Рис. 6. Испытательный стенд с подключенными датчиками давления и микроконтроллером

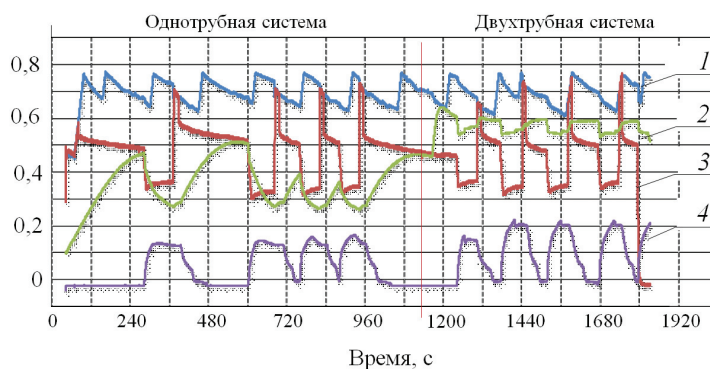


Рис. 7. Кривые зависимостей давления в исследуемой системе в зависимости от времени:
1 – питательная магистраль; 2 – запасной резервуар; 3 – тормозная магистраль; 4 – тормозной цилиндр

Литература

1. Иванов, П. Ю. Исследование температуры тормозных колодок с разной степенью износа в процессе фрикционного торможения / П. Ю. Иванов, А. М. Худогонов, Е. Ю. Дульский и др. // Вестн. Уральск. гос. ун-та путей сообщения. — 2020. — № 3 (47). — С. 27–34. — <https://doi.org/10.20291/2079-0392-2020-3-27-34>. — EDN LBPVTF.
2. Правила технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава. — Утв. Приказом Минтранса России № 151 от 03.06.2014. — М.: Центрмг, 2014. — 188 с.
3. Murtaza, M. A. Parametric study of a railway air brake system / M. A. Murtaza, S. B. L. Garg // Proceedings of the Institu-

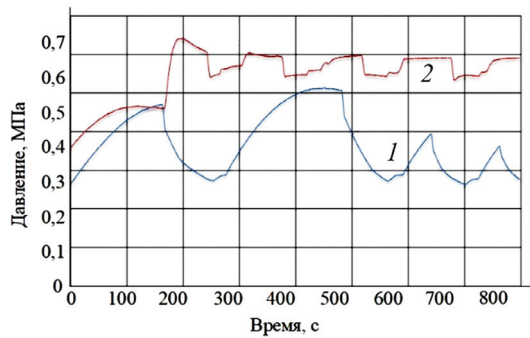


Рис. 8. Сравнительная характеристика скорости и величины заполнения запасного резервуара при одно- (1) и двухтрубной (2) тормозных системах грузового поезда

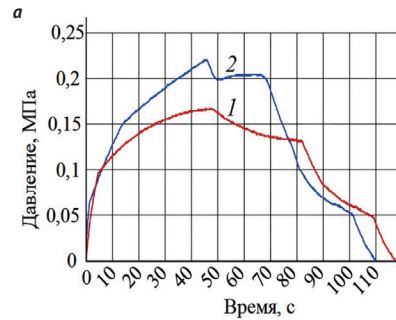


Рис. 9. Сравнительная характеристика скорости (а) и величины заполнения (б) тормозного цилиндра при однотрубной (1) и двухтрубной (2) тормозной системе

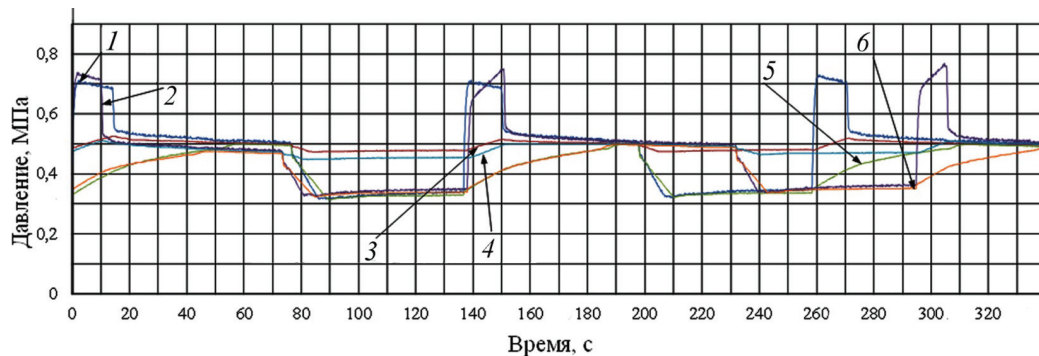
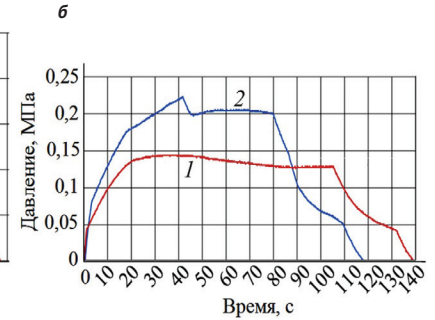


Рис. 10. Сравнительная характеристика скорости заполнения золотниковой и рабочей камер воздухораспределителя при одно- и двухтрубной тормозных системах для грузового поезда: 1 – тормозная магистраль, 3 – рабочая камера, 5 – золотниковая камера при однотрубной системе; 2 – тормозная магистраль, 4 – рабочая камера, 6 – золотниковая камера при двухтрубной системе

tion of Mechanical Engineers. Pt F: Journal of Rail and Rapid Transit. – 1992. – Vol. 206 (1). – P.21–36. – https://doi.org/10.1243/pime_proc_1992_206_214_02.

4. Murtaza, M. A. Transients during a railway air brake release demand / M. A. Murtaza, S. B. L. Garg // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Pt F: Journal of Rail and Rapid Transit. – 1990. – Vol. 204 (1). – P. 31–38.
5. Иванов, П. Ю. Зарубежный опыт повышения эффективности пневматических тормозов / П. Ю. Иванов, Е. Ю. Дульский, Н. И. Мануилов, А. М. Худоногов, А. А. Хамнаева, А. А. Корсун Н. Н., Новиков, С. В. Трескин // Локомотив. – 2020. – № 11 (79). – С. 36–37.
6. Иванов, П. Ю. Патент № 2740624 С1 Российская Федерация, МПК В60Т 13/26 (2006.01). Двухтрубная тормозная система железнодорожного подвижного состава. Заявка № 2020121882, 26.06.2020 / П. Ю. Иванов, А. А. Хамнаева, А. М. Худоногов, Дульский Е. Ю. и др. – Заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей

сообщения» (ФГБОУ ВО ИргУПС). – Оpubл.: 18.01.2021, бюл. 2. – Федеральная служба по интеллектуальной собственности Российской Федерации, 2021. – EDN LUPQFR.

7. Иванов, П. Ю. Сравнительный анализ тормозных систем подвижного состава с однотрубным и двухтрубным питанием / П. Ю. Иванов, Е. Ю. Дульский, А. А. Хамнаева, А. А. Корсун, С. В. Трескин // Вестн. РГУПС. – 2020. – № 3. – С. 35–42. https://doi.org/10.46973/0201-727X_2020_3_35.
8. Иванов, П. Ю. Снижение энергопотребления электровоза при управлении пневматическими тормозами грузового поезда / П. Ю. Иванов, А. А. Хамнаева, А. М. Худоногов // Материалы III Международ. науч.-практич. конференции «Разработка и эксплуатация электротехнических комплексов и систем энергетики и наземного транспорта». – Омск: ОмГУПС, 2018. – С. 143–151.
9. Крылов, В. И. Приборы управления тормозами / В. И. Крылов, В. В. Крылов, В. Н. Лобов. – М.: Транспорт, 1982. – 136 с.
10. Кононова, Е. Е. Предпосылки внедрения технологий аддитивного производства на предприятия машиностроительной

отрасли в условиях проектно-ориентированного бизнеса / Е. Е. Кононова, А. А. Муравьев, Н. С. Маркова, О. А. Грачева // Перспективные технологии проектного менеджмента в региональной и отраслевой индустрии: Материалы I Всероссийской науч. – практич. конференции. Орел, 25–26 апреля 2019 г. – Орел: Орловск. гос. ун-т им. И. С. Тургенева, 2019. – С. 228–232. – EDN EKSPZL.

11. Дектярев, А. В. Особенности применения аддитивных технологий в судостроительном производстве при серийном изготовлении продукции на примере тумблера выключателя судового / А. В. Дектярев, П. Р. Гришин, А. В. Пчелинцев, В. Н. Морозов // Вестн. молодежной науки. – 2020. – № 1 (23). – С. 4. – EDN RFQYTI.
12. Иванов, П. Ю. Теоретические исследования особенностей моделирования процесса фрикционного торможения поездов / П. Ю. Иванов, Е. Ю. Дульский, А. А. Хамнаева, А. А. Корсун // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 4 (68). – С. 150–158. – [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2020.4\(68\).150-158](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2020.4(68).150-158). – EDN ZPBFRK.