

УДК 629.4.072.2

Работа автотормозов грузового поезда при нарушении целостности тормозной магистрали

Д. В. Осипов¹, А. П. Буйносов², И. А. Кудьяров¹

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, Россия, 664074, Иркутск, ул. Чернышевского, 15

² Уральский государственный университет путей сообщения, Россия, 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66

Для цитирования: Осипов Д. В., Буйносов А. П., Кудьяров И. А. Работа автотормозов поезда при нарушении целостности тормозной магистрали. Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2024. Т. 21, вып. 4. С. 835–845. DOI: 10.20295/1815-588X-2024-04-835-845

Аннотация

Цель: исследование работы автотормозов грузового поезда при нарушении целостности тормозной магистрали. Данное исследование направлено на повышение безопасности движения, так как скорость принятия решений локомотивной бригадой при возникновении внештатных и аварийных ситуаций в пути следования является критически важным параметром для обеспечения безопасности движения поездов. Основная проблема состоит в том, что в некоторых случаях при обрыве тормозной магистрали грузового поезда по причине саморасцепа машинисты с небольшим опытом работы неправильно интерпретируют показания приборов. В совокупности с другими особенностями работы пневматических приборов автотормозов поезда проходит значительное время до принятия правильных решений. В результате могут происходить столкновения единиц подвижного состава. **Методы:** экспериментальное исследование особенностей работы пневматических приборов автотормозного оборудования грузового поезда. Анализ газодинамических процессов тормозной магистрали, тормозных цилиндров и главного резервуара. Физическое моделирование случая возникновения обрыва тормозной магистрали хвостового вагона поезда. **Результаты:** приведены результаты экспериментальных исследований работы автотормозов грузового поезда в случае нарушения целостности тормозной магистрали, рассмотрены особенности работы сигнализатора обрыва тормозной магистрали и уравнительной части крана машиниста усл. № 394/395 при питании утечки в результате обрыва тормозной магистрали. **Практическая значимость:** в результате проведенных экспериментальных исследований работы тормозной системы грузовых поездов при обрыве тормозной магистрали получены графики зависимости давления сжатого воздуха от времени в ключевых элементах тормозной системы грузовых поездов. Также получен график распределения давления в тормозных цилиндрах по длине поезда. Представленные в работе исследования позволят разрабатывать новые системы диагностики обрыва тормозной магистрали, дополнительно анализирующие расход воздуха из главных резервуаров.

Ключевые слова: автоматические тормоза, экстренное торможение, грузовый поезд, обрыв тормозной магистрали, дополнительная разрядка, газодинамические процессы

Введение

На отечественном грузовом подвижном составе применяется пневматическая автоматическая прямодействующая тормозная система. Свойство автоматичности подразумевает способность тормозной системы срабатывать на торможение при обрыве тормозной

магистрала. До изобретения в 1980 году сигнализатора обрыва тормозной магистрали поезда [1] локомотивная бригада могла определить обрыв по нескольким признакам.

Первый из них — это снижение скорости движения. Однако это также могло быть связано с возникновением продольной динамики в поезде, вследствие чего воздушная волна ударяла по магистральной диафрагме продольно расположенного относительно оси пути воздухораспределителя [2]. Либо могло произойти кратковременное ослабление сомкнутых головок соединительных рукавов. Далее вследствие утечки воздуха и дополнительной разрядки магистральной камеры воздухораспределитель может сработать на торможение. Отличить самоторможение вследствие продольной динамики от самоторможения по причине обрыва тормозной магистрали можно за счет возрастания скорости движения до начального значения.

Следующий признак — более частое срабатывание компрессора. Основная проблема диагностирования таким способом заключается в том, что причиной может являться потеря плотности в питательной магистрали в случае нарушения ее целостности. В зимнее время наблюдается частое перемерзание главных резервуаров и уменьшение их объема, из-за чего воздух расходуется быстрее. Также это может быть связано со свойствами прямодействия тормозной системы, другими словами, подпиткой утечек при помощи уравнительной части крана машиниста усл. № 394/395. Утечка, кроме обрыва, может образовываться и в результате повреждения уплотнительных манжет межвагонных соединений в процессе движения, а в зимнее время наблюдается потеря их эластичности в связи с понижением температуры наружного воздуха [3].

Внедрение датчика обрыва тормозной магистрали усл. № 418 несколько облегчило процесс диагностирования ее целостности. При возникновении такой ситуации на пульте машиниста загорается сигнальная лампа «ТМ». Машинист в случае возникновения подозрений на обрыв обязан отключить тягу, выполнить диагностику целостности тормозной магистрали путем перевода ручки крана машиниста в положение «Перекрыша без питания» на 5–7 секунд [4]. Видя по манометру уравнительного резервуара и тормозной магистрали быстрый темп снижения давления, выполнить полное служебное торможение на величину первой ступени, то есть на 0,04–0,09 МПа в зависимости от массы поезда и профиля пути [5]. Однако некоторые особенности работы датчика усл. № 418 и крана машиниста усл. № 394/395 могут ввести неопытных машинистов в заблуждение. Вследствие чего проходит значительное время до принятия правильных решений, регламентированных инструкцией [4], что может приводить к столкновениям грузовых поездов и вагонов этого же состава, оставленных на перегоне в результате саморасцепа.

Например, известен случай, произошедший 20 января 2008 года на перегоне Великий Устюг — Красавино, в результате которого допущено столкновение грузового поезда № 3592 с двумя полувагонами, оставленными на перегоне локомотивной бригадой после саморасцепа в поезде № 3591 [6]. При этом также известен и ряд других аналогичных случаев.

По этой причине необходимо рассмотреть принцип работы датчика усл. № 418, соотнести с экспериментальными исследованиями газодинамических процессов, протекающих в тормозной системе при нарушении целостности тормозной магистрали, и с особенностями работы крана машиниста усл. № 394/395.

Работа автотормозов грузового поезда при нарушении целостности тормозной магистрали

Так как датчик усл. №418 является первым прибором, оповещающим локомотивную бригаду о случаях нарушения целостности тормозной магистрали, то исследование принципа работы тормозной системы при возникновении таких ситуаций начнем с рассмотрения принципа работы датчика (рис. 1). Как известно, данный прибор устанавливается между двухкамерным резервуаром и главной частью воздухораспределителя усл. №483, установленного на локомотиве [7, 8], так как помимо сигнализатора обрыва, также выполняет функции отключения тяги.

При образовании значительной утечки вследствие самопроизвольного открытия концевых кранов или обрыва тормозной магистрали, запасенный в магистрали объем сжатого воздуха начинает разряжаться в атмосферу. Это вызывает прогиб магистральной

диафрагмы и срабатывание клапана дополнительной разрядки воздухораспределителя. При достижении давления сжатого воздуха $P_{\text{КДР}}$ в канале дополнительной разрядки датчика до значений 0,11–0,13 МПа [7] левая диафрагма прогибается вниз, воздействуя на шайбу и толкатель, в результате чего последний замыкает пару контактов К1–К2 микропереключателя.

Через нормально замкнутую пару контактов К3–К4 правой диафрагмы (которая служит для размыкания цепи питания катушки P после воздействия давления $P_{\text{ТЦ}}$ из тормозного цилиндра) запитывается катушка P и замыкается контакт P_1 , вследствие чего на пульте машиниста загорается сигнальная лампа «ТМ», которая не гаснет после прекращения дополнительной разрядки и снижения давления в канале дополнительной разрядки датчика. После выполнения машинистом ступени торможения согласно инструкции [4] в тормозном цилиндре локомотива давление составит не менее

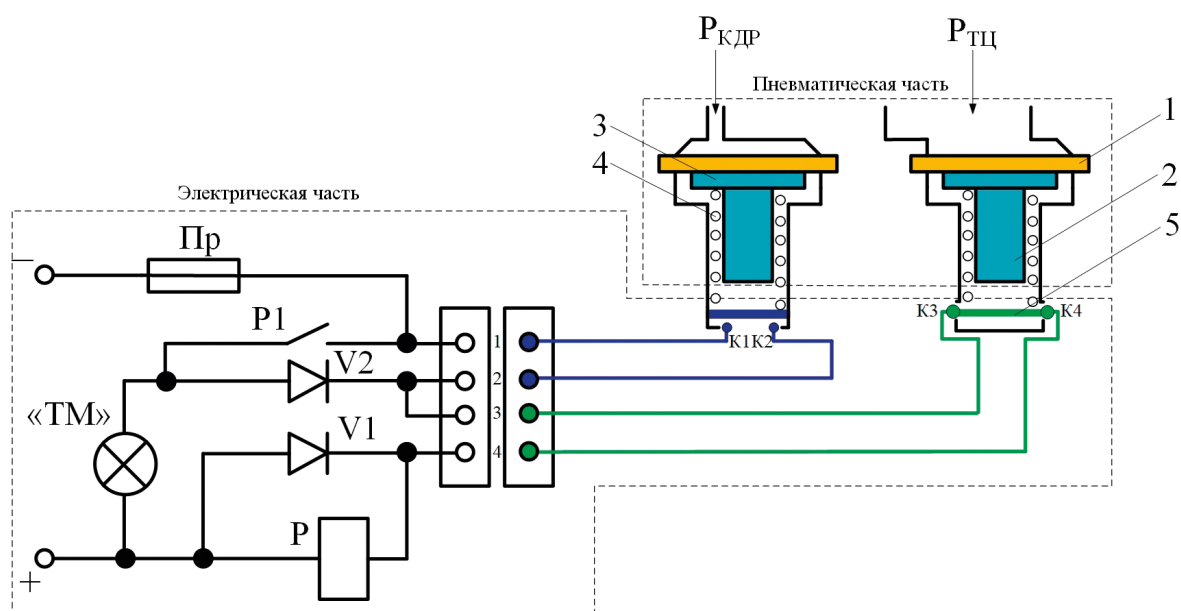


Рис. 1. Упрощенная схема конструкции сигнализатора обрыва тормозной магистрали поезда: 1 — диафрагма; 2 — толкатель; 3 — шайба; 4 — пружина; 5 — контакты микропереключателя

0,05 МПа. Давлением $P_{тц}$ правая диафрагма прогибается, толкатель, воздействуя на микропереключатель, разрывает цепь сигнальной лампы «ТМ», и она гаснет.

Это свидетельствует о нормальном режиме работы сигнализатора обрыва тормозной магистрали, однако может вводить в заблуждение неопытных машинистов, потому как лампа гаснет самопроизвольно до осуществления машинистом управляющих воздействий на кран машиниста усл. №394/395, что связано с его свойствами.

Свойство прямодействия или неистощимости тормозной системы определяется конструктивными особенностями крана машиниста. Любое нарушение плотности, в том числе по причине обрыва тормозной магистрали или самопроизвольного открытия концевых кранов, уравнительная часть крана машиниста усл. №394/395 пытается компенсировать. Упрощенная схема конструкции уравнительной части приведена на рис. 2.

Уравнительный поршень 1 выполняет роль пневматического реле. В качестве входных сигналов для его работы служат давления в уравнительной камере (УК) над поршнем со стороны питательной магистрали и редуктора и в камере под поршнем со стороны тормозной магистрали. При равенстве сил действия давления над поршнем и под ним двухседельчатый клапан 2 остается закрытым.

В результате возникновения утечки, давление в тормозной магистрали падает. Так как магистраль связана с уравнительной камерой, давление в ней тоже снижается. Нарушение баланса сил, действующих на поршень, приводит к тому, что под действием преобладающей силы со стороны питательной магистрали поршень опускается вниз, отжимая двухседельчатый клапан и открывая тем самым канал впускного клапана для подпитки тормозной магистрали. Как только давление в тормозной магистрали достигнет давления в уравнительной камере, установленного при помощи

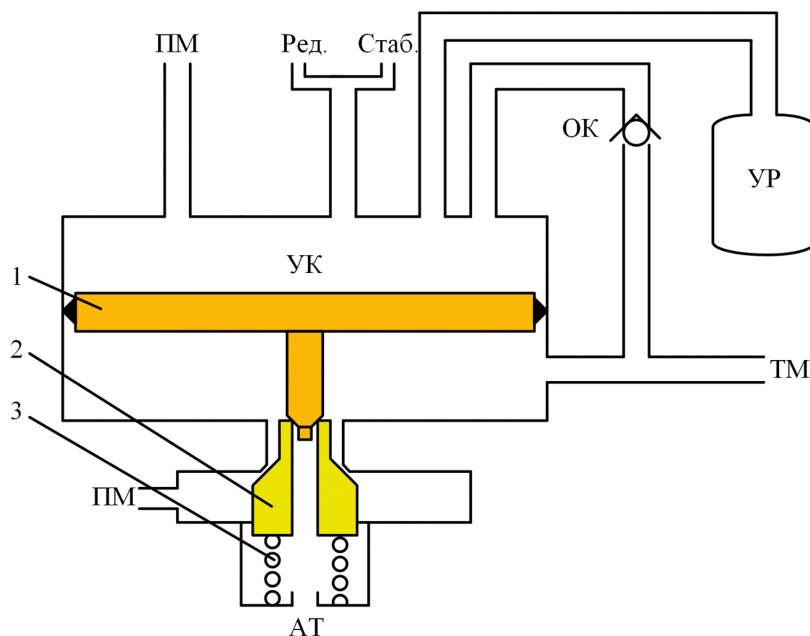


Рис. 2. Упрощенная схема конструкции уравнительной части крана машиниста усл. №394/3951:
1 — уравнительный поршень; 2 — двухседельчатый клапан; 3 — возвратная пружина

редуктора на уровне зарядного, то двухседельчатый клапан при помощи возвратной пружины 3 возвращается в исходное положение.

Пневматические процессы при нарушении целостности тормозной магистрали

На грузовом поезде, состоящем из 70 вагонов и локомотива серии ЗЭС5К, оборудованном грузовыми воздухораспределителями усл. №483М и краном машиниста усл. №395М, в летний период времени был проведен эксперимент, суть которого заключалась в исследовании особенностей работы тормозной системы в случае возникновения обрыва тормозной магистрали. Обрыв имитировался открытием концевого крана 70-го вагона. В результате эксперимента были получены графики зависимости давления сжатого воздуха от времени в ключевых элементах тормозной системы, таких как питательная магистраль, тормозная

магистраль и тормозные цилиндры головного и хвостового вагона (рис. 3).

На данном графике цветными пунктирными линиями обозначены моменты времени: t_1 — момент открытия концевого крана хвостового вагона; t_2 — момент перевода ручки крана машиниста в положение, не обеспечивающее поддержание заданного давления в тормозной магистрали (перекрышка без питания).

По графику видно, что в момент времени t_1 воздухораспределитель хвостового вагона мгновенно срабатывает на торможение. Через 3 с воздушная волна доходит до головного вагона и локомотива. В момент снижения давления в тормозной магистрали первого вагона и локомотива вследствие осуществления дополнительной разрядки воздухораспределителем, срабатывает сигнализатор обрыва тормозной магистрали и загорается сигнальная лампа «ТМ» на пульте машиниста. Однако через 1,5 с она погаснет, по причине того, что давление

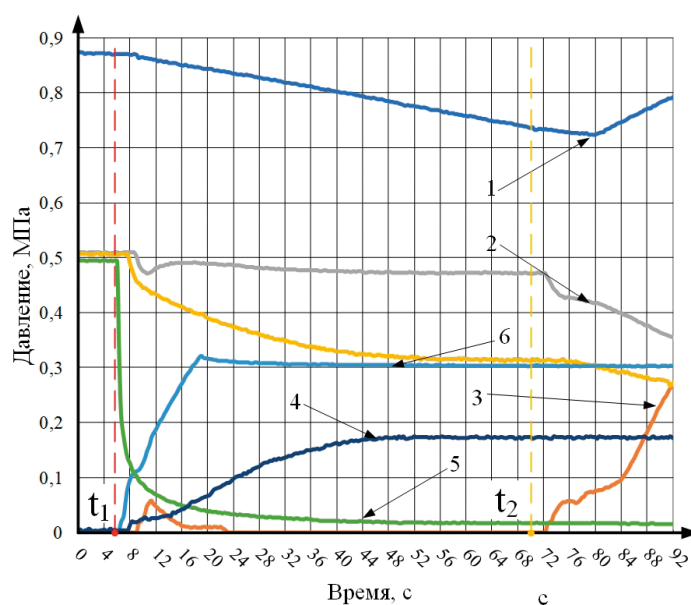


Рис. 3. График зависимости давления в элементах тормозной системы грузового поезда от времени: 1 — давление в питательной магистрали; 2, 5 — давление в тормозной магистрали головного и хвостового вагона соответственно; 3, 4, 6 — давление в тормозном цилиндре головного, среднего и хвостового вагона соответственно

в тормозном цилиндре достигает величины 0,06 МПа. Но уже через 5–6 с давление тормозного цилиндра вновь снижается практически до атмосферного.

В это же время уравнительная часть крана машиниста реагирует на утечку. Давление в тормозной магистрали повышается и воздухораспределитель срабатывает на отпуск тормозов. Здесь также можно обратить внимание на некоторую инерционность в срабатывании уравнительной части при подпитке утечки. Период времени между моментами начала разрядки и повышения давления в тормозной магистрали первого вагона составил 2 с. Причина этого кроется в том, что в качестве пневматического реле используется уравнительный поршень, для уплотнения которого применяются резиновая манжета и латунное кольцо. Сила трения между этими элементами и латунной втулкой в корпусе вызывает дополнительное сопротивление движению поршня, из-за чего нужна разница давлений между камерой над поршнем и под ним не менее 0,02 МПа, для того чтобы поршень пришел в движение.

Данная особенность работы крана машиниста не позволяет предотвращать самопроизвольные срабатывания тормозов, что вызывает дополнительные задержки поездов от снижения скорости или остановки по причине срабатывания датчика усл. №418. Предлагаемая в работе [9] конструкция крана машиниста усл. №394/395 с диафрагменным пневматическим реле позволит минимизировать последствия от перепадов давления в тормозной магистрали. Однако это может привести к тому, что при обрыве кран машиниста после достижения воздушной волной головной части поезда мгновенно сработает на питание утечки, не позволяя воздухораспределителю осуществить дополнительную разрядку. Следовательно, датчик обрыва не покажет нарушение целостности тормозной магистрали.

После отпуска тормозов в первых вагонах поезда повторного торможения не происходит. По истечении 34 с после начала эксперимента (с момента времени t_1) тормозная система переходит в установившийся режим движения воздуха. Это говорит о том, что впускной клапан обладает достаточно большим проходным

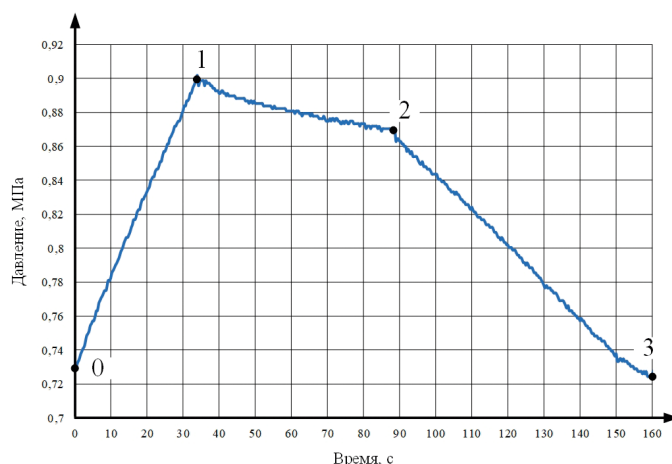


Рис. 4. График зависимости давления питательной магистрали от времени:

0–1 — откачка питательной магистрали компрессором; 1–2 — питание естественных утечек;
2–3 — утечка вследствие открытия концевого крана

сечением, а объема главных резервуаров хватает, чтобы более 60 с в тормозной магистрали первой части состава поддерживалось давление на 0,02 МПа ниже зарядного, что, вероятно, несколько ниже чувствительности воздухо-распределителя.

Проанализировав график зависимости давления питательной магистрали от времени (рис. 4), становится очевидным, что тормозная система в таком режиме работы будет оставаться неограниченно долгое количество времени.

Это связано с тем, что производительность мотор-компрессора значительно выше, чем интенсивность образовавшейся утечки. Так, темп роста давления в питательной магистрали (участок 0–1) при работе компрессора составил 0,17 МПа за 33 с, то есть 0,005 МПа/с. В это же время давление вследствие открытия концевого крана (участок 2–3) снизилось с 0,87 МПа до 0,72 МПа за 70 с, то есть темп утечки сжатого воздуха составляет 0,002 МПа/с, что в 2,5 раза медленнее, чем скорость восстановления давления.

Результатом является то, что эффективность автоматического торможения в случае, если машинист по каким-то причинам не приведет в действие тормоза поезда согласно инструкции [4], значительно снижается. На рис. 5

изображено распределение давления в тормозных цилиндрах от времени в зависимости от длины поезда.

Данная зависимость наглядно показывает, что по истечении 20 с после возникновения обрыва тормозной магистрали хвостовой части поезда давление в тормозных цилиндрах первой его половины составляет порядка 30% от номинального. Через 44 с наблюдается установившийся уровень давления в тормозных цилиндрах, но эффективность торможения после 35-го вагона не превышает 50%. Как уже было сказано ранее, дальнейшего увеличения тормозного эффекта наблюдать не будет, так как производительность компрессора значительно выше интенсивности образовавшейся утечки.

Заключение

В результате проведенных экспериментальных исследований газодинамических процессов в тормозной магистрали при физическом моделировании нарушения целостности трубопровода получены графики зависимости давления сжатого воздуха от времени в различных элементах тормозной системы поезда. Анализ полученных зависимостей показал, что с учетом конструктивных особенностей работы сигнализатора обрыва тормозной магистрали с датчиком усл. №418 и уравнительной части

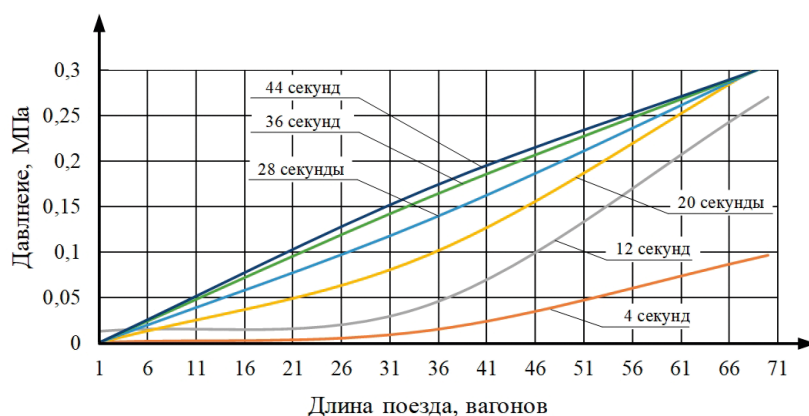


Рис. 5. График зависимости давления в тормозных цилиндрах от длины поезда в вагонах

крана машиниста (общих для всех единиц грузового тягового подвижного состава) в совокупности со случаями, когда производительность мотор-компрессора выше, чем скорость истечения воздуха из магистрали при обрыве, и эффективность самоторможения поезда падает, неопытному машинисту становится сложнее почувствовать поведение поезда. В результате этого проходит значительное время до начала выполнения действий, регламентированных инструкцией [4]. Итогом является снижение безопасности движения поездов с последующими экономическими затратами на восстановление объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта.

Сигнализатор обрыва тормозной магистрали с датчиком усл. №418 может срабатывать не только по причине нарушения целостности трубопровода, но и вследствие дополнительной разрядки воздухораспределителя в качестве реакции на возникновение продольной динамики в поезде. В большинстве случаев срабатывание происходит именно по причине возникновения продольной динамики [10]. При этом снижения давления в главных резервуарах не наблюдается и срабатывания мотор-компрессора не произойдет. Более того, в случае нарушения целостности тормозной магистрали локомотивной бригаде требуется длительное время, чтобы установить, что за аналогичный период времени увеличилось количество запусков мотор-компрессора. По этой причине одним из путей решения проблемы существующих методов диагностики обрыва тормозной магистрали является разработка систем нового поколения, дополнительно анализирующих расход воздуха из главных резервуаров [11–15].

Ввиду ограниченности времени проведения экспериментальных исследований особенностей работы тормозной системы в случае воз-

никновения обрыва, было принято решение проводить исследования только для случая нарушения целостности тормозной магистрали хвостового вагона, как для случая с наибольшим временем распространения тормозной волны от хвостовой части состава к головной. В будущем планируется проведение аналогичных исследований для случаев обрыва тормозной магистрали в других частях поезда.

Библиографический список

1. Сигнализатор обрыва тормозной магистрали поезда: авторское свидетельство № 766925 А1 СССР, МПК В60Т 17/22. № 2632799 / М. И. Глушко; заявл. 26.06.1978; опубл. 30.09.1980; заявитель Уральское отделение Всесоюзного Ордена Трудового Красного знамени научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. EDN CCMXED
2. Процесс самопроизвольного срабатывания пневматических тормозов грузового подвижного состава / П. Ю. Иванов [и др.] // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. № 1(65). С. 60–66. DOI: 10.26731/1813-9108.2020.1(65).60-66. EDN BYOHMJ
3. Мануилов Н. И., Иванов П. Ю., Дульский Е. Ю. Моделирование работы резиновых уплотнений тормозной сети подвижного состава в условиях низких температур // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 3(55). С. 112–119. DOI: 10.26731/1813-9108.2017.3(55).112-119. EDN ZIBFJV
4. О вводе в действие Регламента взаимодействия работников, связанных с движением поездов, с работниками локомотивных бригад при возникновении аварийных и нестандартных ситуаций на путях общего пользования инфраструктуры ОАО «РЖД»: распоряжение ОАО «РЖД» от 12.12.2017 № 2580р.
5. Правила технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава. 2014.

6. Телеграмма ОАО «РЖД» №833. URL: <http://scbist.com/narusheniya-bezopasnosti-na-zh-d-do-2010-goda/6643-20-yanvaryu-2008-stolknovenie-na-peregone-velikii-ustyug-krasavino-szhd-print.html?ysclid=lwisg64w2d455807308>
7. Крылов В.И., Крылов В.В. Автоматические тормоза подвижного состава: учебник для учащихся техникумов ж. д. трансп. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1983. 360 с.
8. Асадченко В.Р. Автоматические тормоза подвижного состава: учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. М.: Маршрут, 2006. 392 с.
9. Определение причин самопроизвольных срабатываний тормозов поезда в границах Красноярской железной дороги / П.Ю. Иванов [и др.] // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. №3 (59). С. 68–76. DOI: 10.26731/1813-9108.2018.3(59).68-76. EDN YSFXTV
10. Исследование причин самопроизвольного срабатывания автотормозов грузовых поездов / П. Ю. Иванов [и др.] // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2017. Т. 2. С. 399–403. EDN YUCVXJ
11. Контур ликвидации сверхзарядного давления воздухораспределителя подвижного состава железных дорог / Н.Л. Михальчук [и др.] // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. №1(61). С. 82–90. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.1(61).82-90. EDN WBEHWV
12. Зарубежный опыт повышения эффективности пневматических тормозов / П.Ю. Иванов [и др.] // Локомотив. 2020. №11(767). С. 36–37. EDN BFVAJH
13. Способ интеллектуальной диагностики тормозной сети поезда и устройство для его реализации: патент №2662295 С2 Российская Федерация, МПК В60Т 17/22. №2016137211 / П.Ю. Иванов [и др.]; заявл. 16.09.2016; опубл. 25.07.2018; заявитель ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»(ФГБОУ ВО ИрГУПС). EDN GTHEKU
14. Иванов П.Ю. Разработка теории упрощенных математических моделей пневматических процессов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2023. №4(92). С. 164–174. DOI: 10.46973/0201-727X_2023_4_164. EDN RGLCPR
15. Система диагностики тормозной сети поезда / А.М. Худогов [и др.] // Локомотив. 2019. №4(748). С. 30–31. EDN SICTRM

Дата поступления: 14.08.2024

Решение о публикации: 21.10.2024

Контактная информация:

ОСИПОВ Дмитрий Валерьевич — аспирант,
osipovdnor@mail.ru

БУЙНОСОВ Александр Петрович — докт. техн. наук, профессор, byinosov@mail.ru

КУДЬЯРОВ Иван Александрович — студент,
mr.licrimovor@yandex.ru

Operation of auto brakes of a freight train in case of violation of the integrity of the brake line

D.V. Osipov¹, A. P. Buinosov², I.A. Kudyarov¹

¹ Irkutsk State Transport University, 15, Chernyshevsky st., Irkutsk, 664074, Russia

² Ural State University of Railway Transport, 66 Kolmogorova st., Ekaterinburg, 620034, Russia

For citation: *Osipov D.V., Buinosov A. P., Kudyarov I. A.* Operation of auto brakes of a freight train in case of violation of the integrity of the brake line. Proceedings of Petersburg Transport University. 2024. Vol. 21, iss. 4. P. 835–845. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2024-04-835-845

Abstract

Purpose: in case of emergency and emergency situations along the route, the speed of decision-making by the locomotive crew is a critically important parameter in ensuring the safety of railway transport. The main problem is that in some cases, such as the breakage of the brake line of a freight train due to self-disconnection, young drivers incorrectly interpret the readings of the breakage alarm. Together with some other features of the operation of pneumatic devices for train brakes, it takes a considerable time before making the right decisions. As a result, collisions of rolling stock units may occur. **Results:** this article presents the results of experimental studies of the operation of truck train brakes in the event of a violation of the integrity of the brake line. The features of the operation of the brake line break alarm and the equalizing part of the crane of the driver of the service No. 394/395 when feeding a leak as a result of a brake line break are considered. **Practical significance:** as a result of experimental studies of the operation of the braking system of freight trains in case of a brake line breakage, graphs of the dependence of compressed air pressure on time in key elements of the braking system of freight trains were obtained. A graph of the dependence of the pressure in the brake cylinders on the length of the train in the wagons is also obtained.

Keywords: automatic brakes, emergency braking, freight train, brake line breakage, additional discharge, gas dynamic processes

References

1. Signalizator obryva tormoznoj magistrali poezda: avtorskoe svidetel'stvo № 766925 A1 SSSR, MPK B60T 17/22. № 2632799 / M. I. Glushko; yayavl. 26.06.1978; opubl. 30.09.1980; yayavitel' Ural'skoe otделение Vsesoyuznogo Ordena Trudovogo Krasnogo znamenii nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta. EDN CCMXED (In Russian)
2. Process samoproizvol'nogo srabatyvaniya pnevmaticheskikh tormozov gruzovogo podvizhnogo sostava / P. Yu. Ivanov [i dr.] // Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. 2020. No. 1(65). S. 60–66. DOI: 10.26731/1813-9108.2020.1(65).60-66. EDN BYOHMJ (In Russian)
3. Manuilov N.I., Ivanov P.Yu., Dul'skij E. Yu. Modelirovanie raboty rezinovykh uplotnenij tormoznoj seti podvizhnogo sostava v usloviyah nizkikh temperatur // Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. 2017. No. 3(55). S. 112–119. DOI: 10.26731/1813-9108.2017.3(55).112-119. EDN ZIBFJV (In Russian)
4. O vvode v dejstvie Reglamenta vzaimodejstviya rabotnikov, svyazannykh s dvizheniem poezdov, s rabotnikami lokomotivnykh brigad pri voznikovenii avarijnykh i nestandartnykh situacij na putyakh obshchego pol'zovaniya infrastruktury OAO "RZHD" rasporyazhenie OAO "RZHD" ot 12 dekabrya 2017 g. № 2580r. (In Russian)
5. Pravila tekhnicheskogo obsluzhivaniya tormoznogo oborudovaniya i upravleniya tormozami

zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava. 2014. (In Russian)

6. Telegramma OAO "RZHD" №833. URL: <http://scbist.com/narusheniya-bezopasnosti-na-zh-d-do-2010-goda/6643-20-yanvarya-2008-stolknovenie-na-peregone-velikii-ustyug-krasavino-szhd-print.html?ysclid=lwisg64w2d455807308> (In Russian)

7. Krylov V.I., Krylov V.V. Avtomaticheskie tormoza podvizhnogo sostava: uchebnyy dlya uchashchihhsya tekhnikumov zh. d. transp. 4-e izd., pererab. i dop. M.: Transport, 1983. 360 s. (In Russian)

8. Asadchenko V. R. Avtomaticheskie tormoza podvizhnogo sostava: Uchebnoe posobie dlya vuzov zh.-d. transporta. M.: Marshrut, 2006. 392 s. (In Russian)

9. Opredelenie prichin samoproizvol'nyh srabatyvaniy tormozov poezda v granicach Krasnoyarskoj zheleznoj dorogi / P. Yu. Ivanov [i dr.] // *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie*. 2018. No.3 (59). S. 68–76. DOI: 10.26731/1813-9108.2018.3(59).68-76. EDN YSFXTV (In Russian)

10. Issledovanie prichin samoproizvol'nogo srabatyvaniya avtotormozov gruzovyh poezdov / P. Yu. Ivanov [i dr.] // *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona*. 2017. T. 2. S. 399–403. EDN YUCVXJ (In Russian)

11. Kontur likvidacii sverhzaryadnogo davleniya vozduhoraspredelatelya podvizhnogo sostava zheleznyh dorog / N.L. Mihal'chuk [i dr.] // *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie*. 2019. No.1(61). S. 82–90. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.1(61).82-90. EDN WBEHWV (In Russian)

12. Zarubezhnyj opyt povysheniya effektivnosti pnevmaticheskikh tormozov / P. Yu. Ivanov [i dr.] // *Lokomotiv*. 2020. No. 11(767). S. 36–37. EDN BFVAJH (In Russian)

13. Sposob intellektual'noj diagnostiki tormoznoj seti poezda i ustrojstvo dlya ego realizacii: patent №2662295 C2 Rossijskaya Federaciya, MPK B60T 17/22. №2016137211 / P. Yu. Ivanov [i dr.]; zayavl. 16.09.2016; opubl. 25.07.2018; zayavitel' FGBOU VO "Irkutskij gosudarstvennyj universitet putej soobshcheniya" (FGBOU VO IrGUPS). EDN GTHEKU (In Russian)

14. Ivanov P. Yu. Razrabotka teorii uproshchennyh matematicheskikh modelej pnevmaticheskikh processov // *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya*. 2023. No.4(92). S. 164–174. DOI: 10.46973/0201-727X_2023_4_164. EDN RGLCPR (In Russian)

15. Sistema diagnostiki tormoznoj seti poezda / A. M. Hudonogov [i dr.] // *Lokomotiv*. 2019. No. 4(748). S. 30–31. EDN SICTRM (In Russian)

Received: 14.08.2024

Accepted: 21.10.2024

Author's information:

Dmitry V. OSIPOV — Postgraduate Student,
osipovdnor@mail.ru

Alexander P. BUINOSOV — Dr. Sci. in Engineering,
Professor, byinosov@mail.ru

Ivan A. KUDYAROV — Student,
mr.licrimovor@yandex.ru