

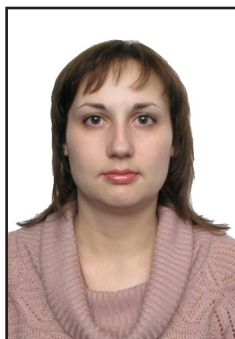


# Анализ контролепригодности тормозной системы грузового вагона



Александр ИВАНОВ  
Alexander A. IVANOV

Мария КОЗАРЕЗОВА  
Maria A. KOZAREZOVA



**Analysis of Controllability of a Freight Car Brake System**  
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 91)

**В статье рассмотрены отказы тормозной системы вагона, приводящие к задержкам поездов, определены их причины, проведён анализ контроле- и ремонтпригодности элементов, которые подлежат регулярному техническому обслуживанию. Сформулированы рекомендации, направленные на снижение задержек поездов на гарантийных участках, вызванных отказами тормозной системы грузового вагона. При этом акцент сделан на комплексный подход, подразумевающий широкий спектр задач, включая стадии проектирования, конструирования, эксплуатации и финансово-экономического сопровождения процесса.**

Ключевые слова: железная дорога, грузовой вагон, тормозная система, техническое обслуживание, отказ, контролепригодность, ремонтпригодность.

*Иванов Александр Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Московского государственного университета путей сообщения, (МИИТ), Москва, Россия.*

*Козарезова Мария Александровна – ведущий технолог управления вагонного хозяйства Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД», Москва, Россия.*

**В**ажной задачей при эксплуатации грузовых вагонов остается обеспечение безаварийного проследования поездов в пределах гарантийных участков, при реализации которой зачастую возникают следующие проблемы:

– ограниченная или даже нулевая контролепригодность некоторых ответственных элементов конструкции вагона в пункте технического обслуживания (ПТО);

– осматривщики вагонов в своей работе вынуждены полагаться в основном не на технические средства, а на так называемые органолептические методы обнаружения повреждений и отказов конструкции вагона (зрение, слух);

– ограничение времени на контроль технического состояния вагона, установленное графиком движения поездов;

– необходимость выполнения технического обслуживания в ночное время и в сложных погодных условиях (дождь, снег и т.п.).

Этим нередко объясняются случаи невыявления и неустранения осматривщиками вагонов на ПТО неисправностей, каждая из которых приводит как минимум к оста-

новке поезда на перегоне. Такие случаи считаются отказами технических средств на гарантийном участке соответствующего ПТО, и в настоящее время их учёт ведётся в комплексной автоматизированной системе учёта, контроля устранения отказов технических средств и анализа их надёжности на железнодорожном транспорте (КАС АНТ).

## ОТКАЗЫ И ИХ ПРИЧИНЫ

В зависимости от последствий отказов для ОАО «РЖД» введена следующая их классификация по категориям:

отказы 1-й категории — отказы, приведшие к задержке поезда на перегоне (станции) на 1 час и более, либо приведшие к транспортным происшествиям или событиям, связанным с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта;

отказы 2-й категории — отказы, приведшие к задержке поезда на перегоне (станции) продолжительностью от 6 минут до 1 часа;

отказы 3-й категории — отказы, не имеющие последствий, относящихся к отказам 1-й и 2-й категории [1].

Так, на железных дорогах Российской Федерации в системе КАС АНТ за 2015 год зафиксировано 1766 случаев отказов технических средств, наибольшее количество, или 61 % которых допущены по неисправности автотормозного оборудования вагонов [2].

Как показывает опыт эксплуатации грузовых вагонов, основными причинами отказов тормозной системы являются воздухораспределитель, тормозная магистраль, тормозная рычажная передача, тормозная арматура. Реже встречаются отказы: авторежима, тормозного цилиндра, запасного резервуара, стояночного тормоза.

Также имеются и случаи отказов тормозной системы вагона вследствие некачественного исполнения осмотрщиком функций по обслуживанию и ремонту тормозного оборудования на ПТО. К ним относятся:

— несоответствие расстояния от торца муфты защитной трубы авторегулятора тормозной рычажной передачи до начала присоединительной резьбы на его винте;

— завал вертикальных рычагов тормозной рычажной передачи тележки в мёртвой точке;

— несоответствие расстояния между корпусом авторегулятора и упорным рычагом (упором);

— неплотное прилегание магистральной или главной части воздухораспределителя к рабочей камере;

— неправильное включение режима торможения/отпуска воздухораспределителя.

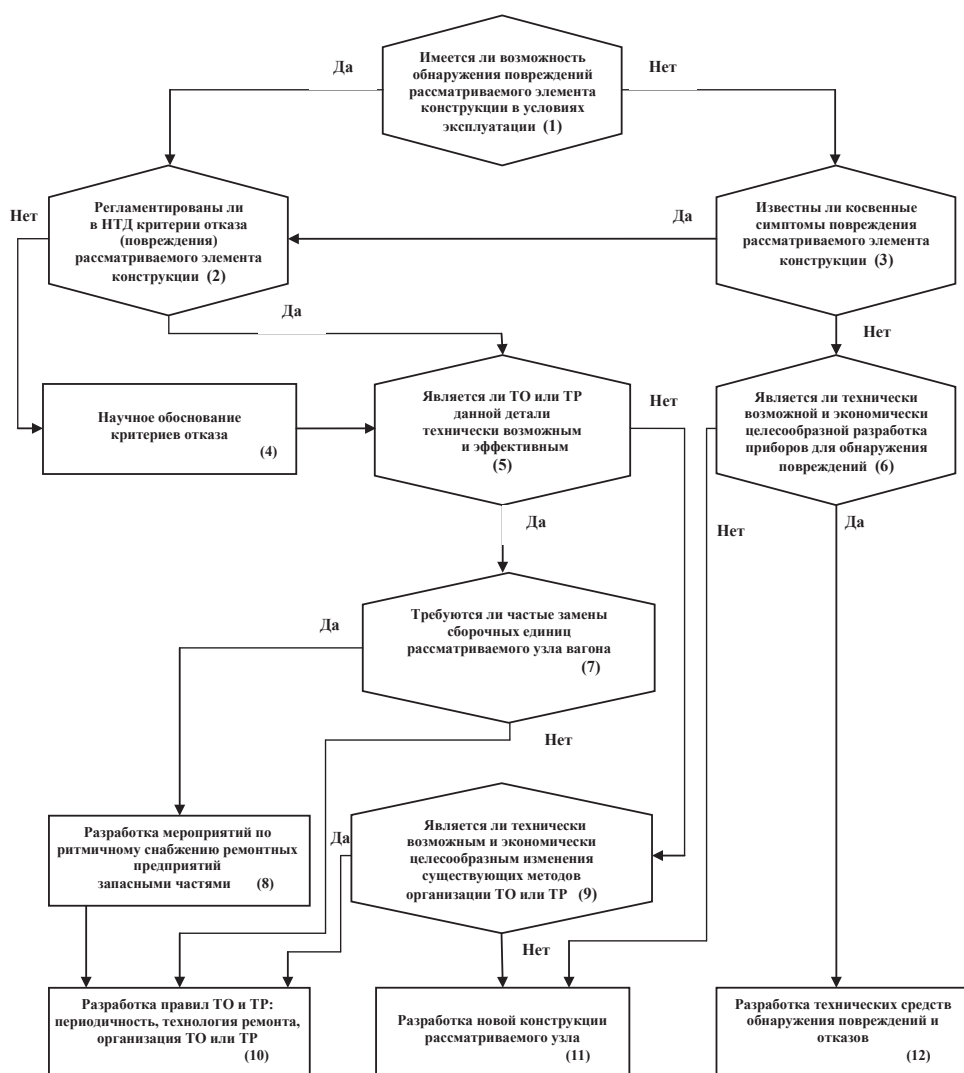
Ещё одной причиной, приводящей к неспособности тормозной системы обеспечить необходимую эффективность торможения поезда, является вмешательство посторонних лиц. К ним относятся разъединение соединительных рукавов, перекрытие концевых кранов, затяжка стояночного тормоза.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ

Эксплуатируемые ныне автоматизированные средства диагностики подвижного состава (комплекс технических средств многофункциональный (КТСМ-02), пост акустического контроля, комплекс для измерения геометрических параметров колесных пар, система обнаружения вагонов с отрицательной динамикой (АСООД), устройство контроля схода подвижного состава (УКСПС), которыми повсеместно оснащены подходы к сортировочным станциям и перегоны), позволяют контролировать технические параметры отдельных узлов вагона, увеличивая вероятность выявления их неисправного состояния. Однако в настоящее время отсутствуют технические средства, определяющие приближение тормозной системы вагона к неработоспособному виду [3]. То есть её отказы можно отнести к внезапным, которые не контролируются с помощью автоматизированных диагностических комплексов, и потому с очевидностью встает задача, непосредственно связанная с определением величины гарантийного участка пункта технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, а также периодичности контроля их тормозной системы.

Для решения этой задачи необходимо выполнить анализ уровня контроле- и ре-





**Рис. 1. Блок-схема анализа ремонтпригодности элемента конструкции применительно к техническому обслуживанию вагона.**

монтопригодности элементов тормозной системы в условиях эксплуатации, оценить саму возможность к обнаружению и устранению отказов автотормозного оборудования при использовании вагона по назначению.

Известно, что ремонтпригодность — это свойство изделия, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путём технического обслуживания и ремонта. А контролепригодность — свойство изделия, характеризующее его приспособленность к проведению контроля заданными средствами.

Методика оценки ремонтпригодности в основном базируется на использовании экспертной оценки и анализе. В данном случае эта идея может быть реализована с помощью блок-схемы, представленной на рис. 1 [4].

Каждый элемент тормозной системы подвергается анализу, в процессе которого исследователь, полагаясь не только на свои знания, опыт и интуицию, но и на помощь экспертов в соответствующих областях науки и техники, а также на печатные источники, должен ответить в форме «да — нет» на ряд расположенных в определённой последовательности вопросов.

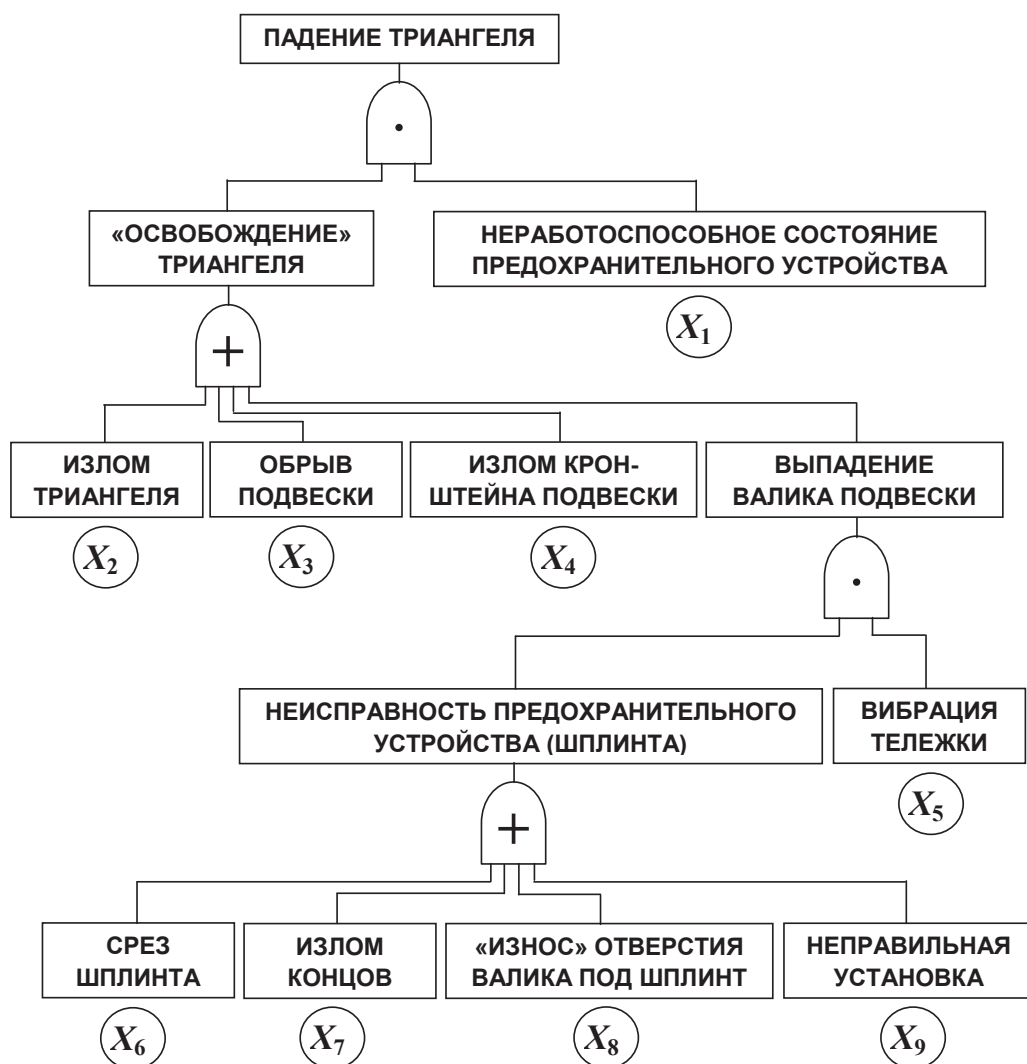


Рис. 2. Древо событий относительно падения триангеля на путь.

Последовательность номеров блоков составляет шифр, характеризующий ремонтпригодность рассматриваемого элемента тормозной системы вагона. При этом отказы для каждого элемента удобно будет разбить на три группы:

1. Имеющие нулевую контролепригодность и ремонтпригодность при непосредственном использовании вагона по назначению (в условиях ПТО станции).

2. Полностью контролепригодные и ремонтпригодные в эксплуатации.

3. Имеющие ограниченную контролепригодность и ремонтпригодность.

## ШИФР ОСНОВНЫХ УЗЛОВ

Как показано в [5], к сходу вагона с рельсов, который чреват крушениями и авариями, могут привести случаи падения деталей на путь, в частности триангеля тормозной рычажной передачи тележки, одной из наиболее частых причин чего считается выпадение валика подвески башмака.

Событие «Падение триангеля на путь» можно представить в виде древовидной схемы, показанной на рис. 2. Причем выпадение валика подвески башмака — это зависимый отказ, возникновение которого обусловлено повреждениями



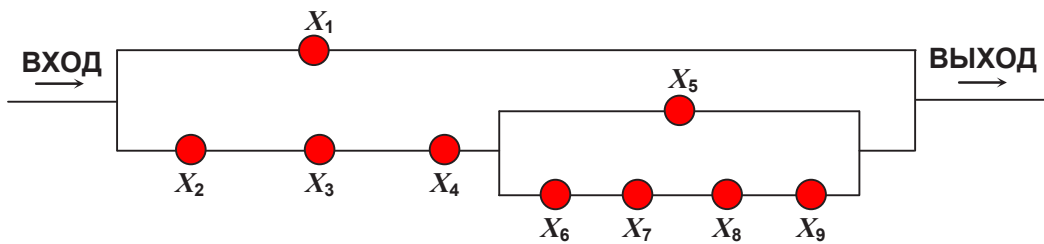


Рис. 3. Двухполюсное представление дерева событий.

Таблица 1

Анализ ремонтпригодности тормозной рычажной передачи тележки относительно выпадения валика подвески башмака

Исходная позиция	Принятое решение	Искомая позиция	Обоснование принятого решения
1	Да	2	В результате проведенного опроса специалистов по тормозному оборудованию служб вагонного хозяйства дирекций инфраструктуры выяснено, что данная неисправность выявляется при визуальном осмотре на ПТО.
1–2	Да	1–2–5	Согласно технической документации не допускается отсутствие валика подвески тормозного башмака.
1–2–5	Да	1–2–5–7	На ПТО имеется возможность постановки валика подвески башмака.
1–2–5–7	Да	1–2–5–7–8	Для повышения ремонтпригодности целесообразна разработка мероприятий по ритмичному снабжению ПТО запасными частями, а именно валиками подвески башмака, предохранительными скобами (для исключения потери валика), а также фиксирующими устройствами – шплинтами и шайбами. На основании норм расхода материалов и запасных частей на техническое обслуживание грузовых вагонов на путях станции № ПКТБ ЦУНР/ЦУНР-13.5.0192–15, составленным на основании статистических данных и утвержденных распоряжением ОАО «РЖД» от 3 ноября 2015 года № 2622р, на пунктах технического обслуживания заменяется 0,28 валиков подвески башмака, 0,124 шплинтов, 30 предохранительных скоб на каждые 1000 вагонов.
1–2–5–7–8		1–2–5–7–8–10	Для повышения ремонтпригодности необходимо разработать правила технического обслуживания, обосновать периодичность его выполнения, технологию и организацию предусмотренных работ.

или отказами других элементов, даже не входящих в тормозную систему вагона. Например, повышенной вибрацией (неразлагаемое событие  $X_5$ ) как следствия неисправности колёсной пары (повреждения поверхности катания колеса или подшипника).

Двухполюсное представление этого дерева (рис. 3) показывает причины события – выпадения валика подвески тормозного башмака (триангеля) и его влияние на падение деталей тормозной передачи тележки на путь, приводящее к сходу вагона с рельсов.

Для примера рассмотрим применение технологии анализа ремонтпригодности выпадения валика подвески башмака тормозной рычажной передачи тележки, используя табличную форму представления результатов (см. таблицу 1).

Ещё одним событием, влияющим на безопасность движения, считается отсутствие или излом тормозной колодки, оценка ремонтпригодности которой приведена в таблице 2. Эта неисправность опасна тем, что может привести к серьезным повреждениям колёсной пары: кольцевым выработкам, ползунам и наварам на поверхности катания колеса, а также «привару» тормозного башмака к колесу и заклиниванию колесной пары во время движения поезда.

Как видно из таблицы, такой отказ, как отсутствие или излом колодки, является полностью контролепригодным в эксплуатации и может иметь два шифра ремонтпригодности в зависимости от сложившихся последствий: 1–2–5–9–10 или 1–2–5–7–8–10.

Нельзя не упомянуть также о других отказах тормозной рычажной передачи



**Анализ ремонтпригодности тормозной рычажной передачи тележки относительно  
отсутствия или излома тормозной колодки**

Отсутствие или излом тормозной колодки			
Исходная позиция	Принятое решение	Искомая позиция	Обоснование принятого решения
1	Да	2	Неисправность выявляется при визуальном осмотре тормозной передачи тележки на ПТО осматривателем вагонов, но может быть обнаружена и при осмотре состава «с ходу», т.е. в процессе движения прибывающего на станцию поезда.
1–2	Да	1–2–5	В инструкции осматривателю вагонов указано, что отсутствие или излом тормозной колодки не допускается.
1–2–5	Да  Нет	1–2–5–7  1–2–5–9	На ПТО имеется возможность установки или замены тормозной колодки. Но если этот отказ привел к «привару» тормозного башмака к колесу, наличие дефектов на поверхности катания колеса браковочных размеров, то придется отцеплять вагон в текущий ремонт.
1–2–5–7	Да	1–2–5–7–8	Для повышения ремонтпригодности целесообразна разработка мероприятий по ритмичному снабжению ПТО запасными частями, а именно тормозными колодками и чеками тормозных колодок. На основании норм расхода материалов и запасных частей на техническое обслуживание грузовых вагонов на путях станции № ПКБ ЦУНР/ЦУНР-13.5.0192–15, составленным на основании статистических данных и утвержденных распоряжением ОАО «РЖД» от 3 ноября 2015 года № 2622р, на пунктах технического обслуживания заменяется 15,2 тормозных колодок, две чеки колодки на каждые 1000 вагонов.
1–2–5–9	Да	1–2–5–9–10	Для повышения ремонтпригодности необходимо разработать технологию смены колесной пары в условиях ПТО за ограниченное время стоянки поезда под техническим обслуживанием.
1–2–5–7–8		1–2–5–7–8–10	Для повышения ремонтпригодности следует обосновать периодичность выполнения технического обслуживания.

тележки: таких, как выпадение валиков шарнирных соединений тяг и рычагов, которые возникают по причине неисправности или отсутствия шплинтов; обрыв подвески тормозного башмака, что является следствием развития трещин по причине усталости; опускание скобы для равномерного износа колодок, которое во время движения поезда чаще всего выявляется прибором УКСПС, но может быть обнаружено и на ПТО при осмотре вагона. Имеют место и изломы (обрывы) предохранительных устройств, предназначенных для предотвращения падения деталей тормозного оборудования на путь. Все они полностью контролепригодные.

По апробированной методике искомые коды данных повреждений:

- излом (обрыв) предохранительных устройств – 1–2–5–7–8–10;
- выпадение валиков шарнирных соединений тяг и рычагов – 1–2–5–7–8–10;
- обрыв подвески тормозного башмака – 1–2–5–7–10.

Таким образом, получен искомым шифр ремонтпригодности основных узлов тор-

мозной рычажной передачи тележки: 1–2–5–7–8–10.

## ОСТАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ

Используя приведенную технологию, можно получить показатели ремонтпригодности и остальных элементов тормозной системы вагона.

Отдельно выделим пневматическую часть тормозной системы, особенностью которой является наличие таких весьма сложных устройств, как воздухораспределитель и авторежим.

В первую очередь рассмотрим отказ из-за неисправности воздухораспределителя. К задержке поезда на гарантийном участке могут привести: засоренные отверстия плунжера или внутренней полости; утечки воздуха в большой диафрагме; большие отверстия плунжера и толкателя из-за некачественного изготовления или ремонта; загрязнение фильтра в рабочей камере; отверстие диаметром 1,3 мм в седле обратного клапана меньше нормы или засорено; отверстие диаметром 1,3 мм в седле обратного клапана больше нормы. Внешними признаками этих неисправностей стано-





вятся несрабатывание на торможение или замедленный отпуск.

Отметим, что подобные неисправности на ПТО имеют ограниченную контролепригодность и выявляются только при проведении опробования автотормозов поезда. Вероятность нахождения дефектов воздухо-распределителя возрастает при опробовании автотормозов от стационарных установок (УЗОТ, УЗОТ-РМ, АСДТ). Поэтому искомым шифров ремонтпригодности воздухо-распределителя будет два:

- при опробовании автотормозов от локомотива: 1–3–6–12;
- при опробовании от стационарной установки: 1–3–5–7–10.

У авторежима в эксплуатации могут возникнуть неисправности его внутренних составных частей, излом балочки авторежима. Зачастую они связаны с неправильной сборкой и монтажом при изготовлении или плановом ремонте. Внешними признаками неработоспособного состояния авторежима, согласно действующей нормативно-технической документации, являются: у порожнего вагона — зазор больше 3 мм, кольцевой проточки не видно; у груженого вагона — зазор между упорной гайкой и упорной плитой; тормоз у вагона не отпускает при открывании выпускного клапана.

Данный узел вагона считается контролепригодным в эксплуатации. Искомым шифром ремонтпригодности для авторежима будет: 1–2–5–9–11.

Причинами отказов тормозных цилиндров служат следующие неисправности:

- разрыв резиновых манжет на поршне — в этом случае при сработке тормозного цилиндра на торможение будет наблюдаться «дутье» воздуха через атмосферное окно;
- излом возвратной пружины поршня, который приводит к замедленному перемещению поршня со штоком в исходное положение при отпуске тормоза;
- засорение волосяного фильтра атмосферного окна — при этом работа тормозного цилиндра станет неэффективной, воздух не сможет циркулировать через атмосферное окно, что в свою очередь с созданием большого давления воздуха в цилиндре при максимальных нагрузках вагона может привести к выдавливанию наружу самого фильтра (или сальника в передней части крышки), попаданию грязи на зеркало цилиндра

(или трубу) и как следствие — заклиниванию поршня в крайних или промежуточных положениях.

Шифром ремонтпригодности для тормозного цилиндра будет: 1–2–5–9–11.

Далее рассмотрим рычажную передачу вагона, повреждениями которой, согласно анализу, являются: неисправность авторегулятора, косвенным признаком которой служит зазор колодки — колесо выше установленной нормы; обрыв тормозной тяги.

Тормозная рычажная передача полностью контролепригодна в эксплуатации. Все отказы возникают по причине некачественного изготовления или ремонта. Искомым шифром ремонтпригодности для рычажной передачи будет: 1–2–5–7–10.

Следует отметить неисправности и таких узлов, приводящих к отказу тормозной системы вагона, как стояночный тормоз и запасный резервуар.

Согласно опыту эксплуатации встречаются случаи падения деталей стояночного тормоза на путь. Это происходит из-за излома деталей крепежного механизма (шплинтов, пальца и т.п.) или поддерживающей скобы, что является следствием развития трещин или чрезмерного износа.

Как известно, трещины чаще всего возникают в невидимой для осмотра зоне. Но при своём развитии они могут и выйти в видимую зону. Поэтому принято считать, что трещины деталей стояночного тормоза не всегда можно выявить при осмотре на ПТО, и этот изъян отнесён к частично контролепригодным в эксплуатации.

Искомым шифр ремонтпригодности стояночного тормоза: 1–3–2–5–7–10.

Отказ запасного резервуара возникает в основном по причине неисправности спускного клапана из-за утечек, неоткрытия, механических повреждений, а также неплотности в соединениях. Его в определённой мере можно отнести к полностью контролепригодным. Искомым шифр ремонтпригодности запасного резервуара: 1–2–5–7–10.

В завершение рассмотрим воздушную и силовую части тормозной системы вагона, для которых характерны ослабление крепления воздухопровода, трещины, изломы, обрыв труб, нарушение плотности соединений труб, замерзание влаги в трубах и их засорение, пропуск воздуха в кранах.

Воздухопровод и тормозная арматура могут иметь неисправности, вызывающие утечки воздуха или создающие препятствие его движению. В тормозных рукавах появляется расслоение резины, препятствующее проходу воздуха, наблюдается пропуск воздуха в соединении головок при неисправности уплотнительного кольца, в соединениях резиновой трубки с головкой или наконечником, а также по трещинам, прорывам и протертостям в самой трубке.

Пропуск воздуха или ослабление крепления встречаются, кроме того у рабочих камер, разобщительных и концевых кранов.

Плотность тормозной сети проверяется при опробовании тормозов. Утечки обнаруживаются по шуму воздуха, выходящего через неплотности, по темным пятнам на трубах, скоплению пыли и грязи с характерной шероховатой поверхностью, в зимний период в местах образования утечек наблюдается валик в виде инея.

По отношению к рассматриваемым повреждениям тормозную магистраль и арматуру тормозного оборудования вагона можно отнести к частично контролепригодным в эксплуатации. Существующий уровень приспособленности к текущему техническому содержанию оценивается шифром: 1–2–4–5–7–10.

## ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ

Проведенный анализ показал, что причины возникновения отказов тормозной системы вагона при следовании поезда по гарантийному участку можно разделить на следующие группы:

- 1) конструктивные (связанные с несовершенством конструкции или некачественным изготовлением);
- 2) производственные (связанные с некачественным ремонтом);
- 3) эксплуатационные (связанные с нарушением правил эксплуатации);
- 4) деградационные (связанные с естественными процессами разрушения, старения, износа и др.).

Необходимо отметить, что отказы первых трех групп не имеют отношения к надёжности тормозной системы, однако влияют на задержки поездов и могут приводить к нарушениям безопасности движения [6].

В основном не выявленные в процессе технического обслуживания на ПТО отказы связаны с усталостью металла, а также износом узлов трения. Для обоснования регулярности проведения технического обслуживания вагонов особый интерес представляет поэтому период от появления отказа до разрушения детали. Такого рода состояние принято называть живучестью, т.е. способностью выполнять требуемые функции, находясь в неработоспособном состоянии. Уменьшить сроки этого периода призваны технические средства диагностирования, которые могли бы заменить часть функций осматривщиков вагонов по техническому контролю тормозного оборудования, в частности по выявлению трещин. Однако они еще далеки от требуемого уровня. Надёжных методов выявления дефектов по косвенным и прямым признакам явно не хватает.

Следует обратить внимание, разумеется, на отказы, связанные с несовершенством конструкции тормозной системы вагона. Как известно, наиболее актуально решать этот вопрос на стадии проектирования. Повышение качества проектов опирается на методы комплексного анализа и оценки показателей качества функционирования конструкции в широком спектре существующих и перспективных условий эксплуатации. Создание вагонов нового поколения обуславливает необходимость разработки более высоких технических требований на тормозные системы, в том числе с учетом особенностей зарубежного опыта и передовых технологий, обоснования самых продвинутых выходных характеристик и нормативов. Пока же используемые на стадии проектирования методы не позволяют, к примеру, оценить влияние эксплуатационных условий на показатели качества функционирования автотормозов [7] или предусмотреть гарантии безопасности тех или иных узлов на относительно длительный срок.

Установленные шифры ремонтпригодности тормозной системы вагона должны использоваться и на этапе проектирования узлов, обоснования параметров системы их технического обслуживания и ремонта. На практике полученные результаты можно применять для разделения ответственности за отказ тормозной системы между осматривщиком вагона, который не обнаружил





имеющееся опасное повреждение на ПТО, и работниками вагоноремонтных депо, предприятий-изготовителей [8].

Еще одним немаловажным решением должна стать и модернизация тормозных систем уже эксплуатируемых грузовых вагонов, их оснащение специальными метками или индикаторами контроля отклонений от нормального состояния. Внедрение современных систем визуального осмотра деталей и узлов по меткам и индикаторам существенно сократит непроизводительные потери, возникающие при техническом обслуживании вагонов в составе поезда. Для обеспечения этих возможностей на узлы и детали при их изготовлении должны наноситься индикаторы или риски, позволяющие минимизировать объём работы осмотрщика вагонов, исключить применение специальных шаблонов. В частности:

— *тормозная колодка* должна иметь индикатор или риск, позволяющую определить минимально допустимую толщину, при которой колодка подлежит замене;

— *тормозной цилиндр*, на его штоке должен быть индикатор или риска, указывающая на предельно допустимые размеры выхода штока из цилиндра;

— *регулятор тормозной рычажной передачи* должен иметь:

а) в зависимости от типа регулятора индикатор или риск, определяющую размер «а» — расстояние от торца муфты защитной трубы регулятора до присоединительной резьбы на его винте;

б) в зависимости от типа вагона, тормозных колодок и привода регулятора индикатор или риск, определяющую размер «А» — установочный размер привода регулятора (зазор между корпусом регулятора и упорным рычагом (упором регулятора)).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ тормозной системы грузового вагона как объекта ремонта и технического обслуживания показал, что имеющие место отказы и неисправности обуславливают актуальность комплексного подхода при

решении задач, охватывающих сферу проектирования, конструирования, ремонта и эксплуатации. Реализация подхода требует определенных исследований и анализа причинно-следственных связей, помогающих выявить неблагоприятные факторы, ухудшающие техническое состояние конструкции. При этом свою роль выполняет шифр ремонтпригодности деталей и узлов тормозного оборудования.

В перспективе необходимо повышение надёжности элементов тормозной системы вагонов, в том числе улучшение контроле- и ремонтпригодности. Дополнительные затраты на изменение конструкции автотормозного оборудования и совершенствование системы его ремонта должны компенсироваться уменьшением затрат на техническое обслуживание и оплаты штрафов за задержку поездов на перегонах. При этом инвестиции, вложенные во внедрение современных средств технической диагностики вагонов в условиях ПТО, окупят последствия даже одного крушения или аварии поезда средних размеров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Положение по учету, расследованию и проведению анализа случаев отказов в работе технических средств на инфраструктуре ОАО «РЖД» с использованием автоматизированной системы КАС АНТ. Утверждено ОАО «РЖД» от 23 декабря 2013 г. № 2852р.
2. Сакеев А. И. Итоги работы вагонного хозяйства за 2015 год // Вагоны и вагонное хозяйство. — 2016. — № 1. — С. 2–6.
3. «How Soon?» // «Railway Age». — 2001. — № 1. — С. 56–58.
4. Методические основы разработки системы управления техническим состоянием вагонов: Учеб. пособие / Под ред. П. А. Устича. — М.: УМЦ по образованию на железнодорож. транспорте, 2015. — 662 с.
5. Устич П. А., Иванов А. А., Аверин Г. В. и др. Некоторые аспекты проблемы нормирования уровня безопасности движения на примере железнодорожного транспорта // Надёжность. — 2011. — № 1. — С. 59–73.
6. Лапшин В. Ф., Орлов М. В. Основы технического обслуживания вагонов: Учеб. пособие. — Екатеринбург: УрГУПС, 2006. — 375 с.
7. Карпычев В. А. Разработка метода системного анализа автотормоза грузового подвижного состава / Дис... док. техн. наук. — М., 2001. — 308 с.
8. Вагоно-линейное хозяйство: Учебник / П. А. Устич, А. А. Иванов, Н. Ф. Сирина, И. И. Хаба. — М.: Маршрут, 2012. — 689 с.
9. Надёжность рельсового нетягового подвижного состава: Учебник / Под ред. П. А. Устича. — М.: Маршрут, 2004. — 470 с.

Координаты авторов: **Иванов А. А.** — [www720@mail.ru](mailto:www720@mail.ru), **Козарезова М. А.** — [kozarezovama@center.rzd.ru](mailto:kozarezovama@center.rzd.ru).

Статья поступила в редакцию 16.12.2016, принята к публикации 02.02.2017.