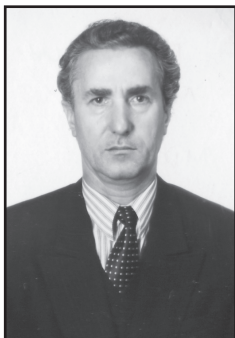




Отказы и срок службы грузового вагона



Михаил БОЛОТИН
Mikhail M. BOLOTIN

Валерий ВОРОТНИКОВ
Valery G. VOROTNIKOV



*Болотин Михаил Михайлович — доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).
Воротников Валерий Геннадьевич — кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» МИИТ.*

Методологические подходы к определению отказов и срока службы грузового вагона по критерию безопасности. Классификация отказов, коэффициент готовности вагонов, интенсивность их эксплуатации. Сферы ответственности подразделений вагонного хозяйства.

Ключевые слова: безопасность, методология, железная дорога, грузовой вагон, отказ, срок службы.

Крушения и аварии вагонов по вине работников вагонного хозяйства составляют в среднем 1,6 случая в год [4, с. 15], а хозяйства пути и сооружений — 3 [5, с. 45]. Опасными отказами подвижного состава, приводящими к крушениям и авариям поездов, являются отказы элементов тележек (изломы боковых рам, надрессорных балок, несоответствие размеров баз боковых рам и др.), колесных пар (изломы шеек и осей, изломы дисков, сдвиги колес по оси, остроконечный накат и др.), падение деталей на путь, изломы хребтовой и шкворневой балок и др. [1, с. 847].

К отказам грузовых вагонов, приводящим к другим транспортным происшествиям, относят [4, с. 14–15]: нарушение норм зазоров между скользунами, их неисправность (25%), излом шейки оси (16,8%), излом колеса по усталостной трещине в зоне перехода от диска к ободу (8,3%), несоответствие размеров баз боковых рам тележек (8,3%), падение корпуса автосцепки и соударение с осью колесной пары (8,3%), неисправности вагона в сочетании с неисправностью пути (8,3%), нарушение правил ремонта тележек (16,7%). Из-за несоответ-

ствия технологических параметров нормативным вагоны отправляли (данные 2004 года) в неплановый текущий отцепочный ремонт [6, с. 26] по неисправностям: кузова (41%), тележек (14%), тормозного оборудования (12%), буксового узла (6%), колесных пар (22%), автосцепного устройства (5%). По данным за 2009 год в текущий отцепочный ремонт отправляли вагоны ОАО «РЖД» и вагоны собственников в среднем по неисправностям кузова (11%), тележек (24%), тормозного оборудования (4%), буксового узла (9%), колесных пар (40%), автосцепного устройства (3%), прочим неисправностям (9%).

1.

При классификации отказов, неисправностей и повреждений различают систематический отказ, полный отказ, частичный отказ, повреждение, несущественное повреждение, существенное повреждение, причину отказа, признак возникновения отказа. *Отказ* — событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта [ГОСТ 27.002-89, статья 3.3].

Систематический отказ — повторяющийся отказ, обусловленный дефектами конструкции объекта, нарушением процесса его изготовления, низким качеством используемых материалов. *Частичный отказ* — отказ, после возникновения, которого изделие может быть использовано по назначению, но с меньшей эффективностью.

Неисправность (дефект) — изъян, недостаток, состояние объекта, при котором он в данный момент времени не удовлетворяет хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации, но сохраняет работоспособность — способность выполнять заданные функции [ГОСТ 27.002-89; 8, с. 8; 9, с. 14].

Неисправными считаются вагоны, которые по своему техническому состоянию не могут быть допущены к эксплуатации на железнодорожных путях общего пользования и требуют ремонта или исключения из инвентаря (п. 1.4 Инструкции осмотрику вагонов).

Повреждение — событие, заключающееся в нарушении исправного состояния

объекта [ГОСТ 27.002-89; 8, с. 8; 9, с. 16].

Несущественное повреждение (мало-значительный дефект ГОСТ 15467-79) — событие, заключающееся в переходе объекта в неисправное состояние при сохранении работоспособности, когда не проявляется ни одного из признаков отказа [9, с. 16].

Существенное повреждение (значительный дефект ГОСТ 15467-79) — событие, заключающееся в потере работоспособного состояния объекта, его отказ [9, с. 16].

Признак возникновения отказа (отношения повреждения к отказу) — выход значений любого технического параметра объекта, характеризующего его работоспособность, за пределы допусков (технические условия, ПТЭ, правила ремонта, погрузки и др.) — является необходимость проведения восстановления любого вида или работ по замене сборочной единицы или детали [ГОСТ 27.002-89, пояснения к терминам; 9, с. 16].

Причина отказа — явления, процессы, события и состояния, вызвавшие возникновение отказа объекта [10, статья 3.5].

Для выяснения стадии существования грузового вагона, на которой следует провести профилактические мероприятия, отказы разделяют на скрытые, конструктивные, производственные, эксплуатационные и деградационные [10, статьи 3.16; 3.17; 3.18; 3.19; 3.20].

Скрытый отказ — отказ, не обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования, выявляемый при проведении технического обслуживания и специальными методами диагностики [10, статья 3.16].

Конструктивный отказ — отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования и конструирования [10, статья 3.17].

Производственный отказ — отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или ремонта, выполняемого на ремонтном предприятии [10, статья 3.18].



Эксплуатационный отказ — отказ, возникший по причине, связанной с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации объекта [10, статья 3.19].

Деградационный отказ — отказ, обусловленный естественными процессами старения, изнашивания, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации [10, статья 3.20].

Приведенная в ГОСТ 27.002-89 классификация конструктивных, производственных, эксплуатационных и деградационных отказов не охватывает все многообразие подразделений вагоностроительного, ремонтного и эксплуатационного профиля, участвующих в постройке вагонов, их запасных частей (покупных изделий), производстве капитального, депоовского ремонта, текущего отцепочного ремонта, технического обслуживания и организации эксплуатационной работы подвижного состава на железных дорогах.

Поэтому в развитие ГОСТ 27.002-89 предлагается ввести следующую классификацию отказов грузовых вагонов: *скрытые или неизвестные, конструктивно-производственные, производственно-ремонтные, ремонтно-технологические, эксплуатационно-технологические, эксплуатационно-подготовительные, эксплуатационно-движенческие, эксплуатационно-производственные и деградационно-коррозийные.*

Конструктивно-производственные отказы грузовых вагонов возникают из-за нарушения норм и правил проектирования и конструирования элементов вагона; несовершенства конструктивных решений, характеризующихся высокими местными напряжениями и деформациями, приводящими к трещинам, изломам и повышенному износу; ошибок конструкторов при выборе конструкционных материалов (особенно для пар трения), их низкой трещиностойкостью и износостойкостью; нарушений технологий изготовления элементов вагона (некачественная сборка или обработка, наличие начальных неровностей, шероховатостей, остаточных термических или сварочных деформаций и др.).

В работе [19] отмечаются участвовавшие случаи отказов грузовых вагонов из-за изломов боковых рам тележек по причине низкого качества литья. В [11] установлена нерациональность полей напряжений в зоне перехода от хвостовика к головной части корпуса автосцепки СА-3. Около 80% трещин по корпусу автосцепки приходится на перемышку хвостовика и зону перехода от головки к хвостовику, что свидетельствует о необходимости изменения конструкции корпуса автосцепки с целью снижения концентрации напряжений в этих зонах. Также доказано, что трещины и изломы в ободе, диске и ступице являются следствием дефектов металлургического и прокатного производства, отклонений в термической обработке и наличия существенных временных и остаточных напряжений.

В работе [12] отмечается недостаточная прочность перемышки хвостовика автосцепки, так как большинство обрывов тяжеловесных поездов (56%) происходит из-за отказов этой зоны корпуса автосцепки.

В период эксплуатации восьмиосных цистерн на дорогах Сибири и Дальнего Востока также наблюдались (исследования З. П. Лукиной и В. В. Зубенко) отказы по трещине корпуса автосцепки в месте перехода от головной части к хвостовику (46,5%), по уширению зева (32,8%) и по излому центрирующей балочки 13,8%.

Производственно-технологические и ремонтно-технологические отказы грузовых вагонов чаще всего возникают из-за низкого качества плановых видов ремонта, нарушения правил и технологий восстановления вагонов в условиях депо или вагоноремонтных заводов, низкого технического уровня производства, устаревшего металлообрабатывающего оборудования, средств диагностирования, отсутствия необходимых механизмов и машин для ремонта новых элементов вагонов, не эффективного использования технологических и человеческих ресурсов.

Значительное количество ремонтно-технологических отказов относится к автосцепному устройству. В 2006 году из всех случаев отказов по причине об-

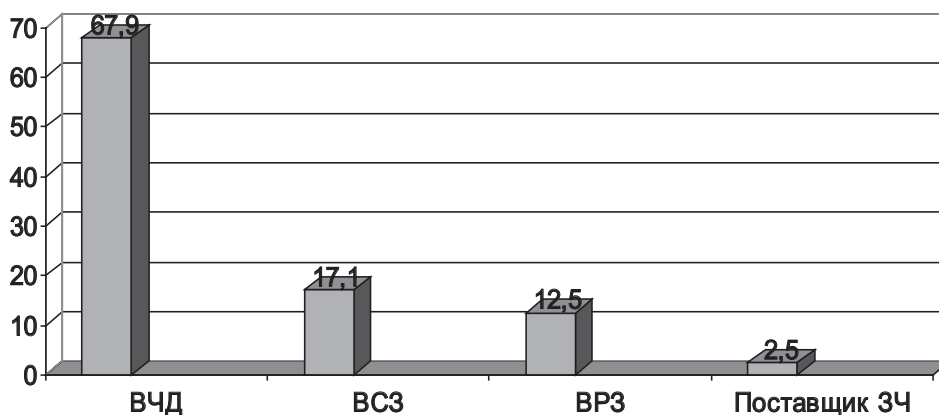


Рис. 1. Диаграмма распределения числа актов-рекламаций в одном квартале (%) по видам производства: ВЧД – вагонные депо; ВСЗ – вагоностроительный завод; ВРЗ – вагоноремонтный завод; поставщик ЗЧ – завод-изготовитель (поставщик) запасных частей.

рывов деталей автосцепного устройства 74,3% приходится на корпус автосцепки, 16,3% – клин тягового хомута и 9,4% – тяговый хомут. Причем 38,5% обрывов автосцепок произошло в период нахождения вагонов в эксплуатации не более 10 месяцев после планового ремонта, более 46,5% обрывов произошло по старым трещинам [12].

По данным работы [7] за три месяца 2006 года в департамент вагонного хозяйства поступило 2554 актов-рекламаций формы ВУ-41 М, в числе которых (17,1%) актов на неисправности новых вагонов, 2,5% – на неисправности новых изделий, поставленных вагонным депо в качестве запасных частей, 67,9% – на неисправности вагонов, прошедших техническое обслуживание, текущий отцепочный и плановый депо-ремонт, 12,5% – на неисправности вагонов, прошедших плановый капитальный ремонт на ВРЗ (рис. 1).

Эксплуатационно-технологические отказы грузовых вагонов возникают, в основном, из-за низкого качества технического обслуживания и текущего отцепочного ремонта. По данным ОАО «РЖД» в 2010 году эксплуатационными вагонными депо допущено 6,2% случаев нарушения безопасности движения от всех случаев по хозяйствам. Наибольшее число случаев относится к задержке поездов на 1 час и более (45,87%), отцепке вагонов от грузового поезда по грению

буксового узла (29,75%) и по техническим неисправностям (10,39%), саморасцепу (6,45%) и прочим причинам (7,54%).

Эксплуатационно-подготовительные отказы грузовых вагонов возникают в результате некачественного производства технического обслуживания и текущего отцепочного ремонта вагонов на пунктах их подготовки к перевозкам из-за большого потока вагонов (более 40%) не годных под погрузку и значительного потока вагонов годных под погрузку, но имеющих завышенный износ (14%) фрикционных клиньев тележки [18]. По данным ОАО «РЖД» доля вагонного хозяйства по нарушению правил безопасности движения в 2010 году составила 27%.

Эксплуатационно-движенческие отказы вагонов возникают из-за нарушения правил управления движением поездов, правил их формирования и проведения маневровой работы. Наиболее опасные ошибки локомотивных бригад происходят из-за потери внимательности членов локомотивной бригады (59%), их засыпания при движении поезда (14%), недостаточно профессионального управления тормозами (15%), несогласованности действий машиниста и дежурного по станции (6%), нарушения трудовой дисциплины (4%), внезапного ухудшения здоровья (2%) [1, с. 847].

Нарушения правил проведения маневровой работы, приводящих к сходу ваго-



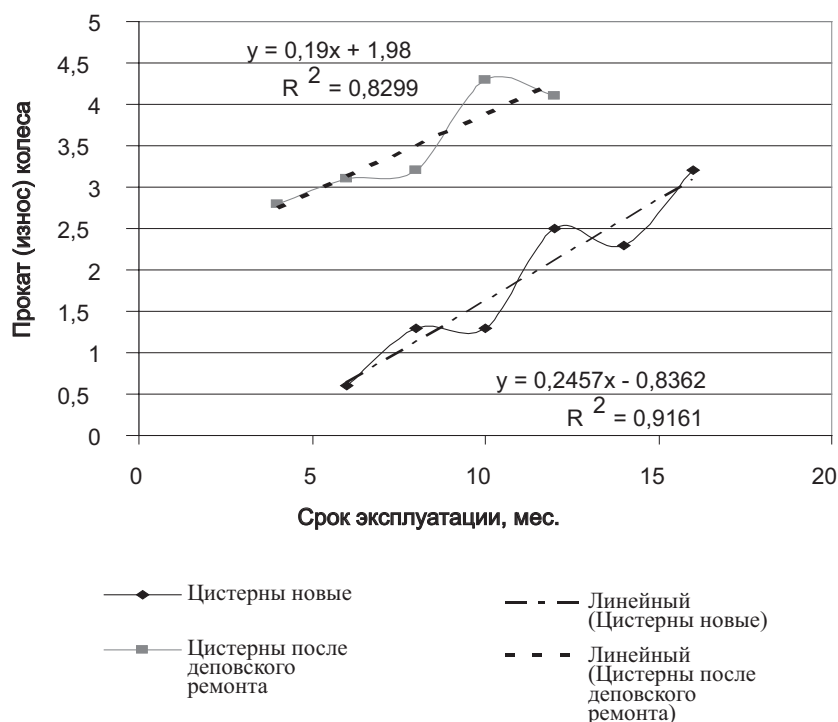


Рис. 2. Зависимость проката (износа) колес от срока эксплуатации.

нов, составляют в среднем 267 случаев в год, столкновение подвижного состава при маневровых операциях – 60, и самопроизвольный уход вагонов – 4. На сортировочных горках из-за превышения скорости соударения ежегодно повреждается около 500 вагонов и десятки тысяч получают повреждения в виде ползунов, трещин в рамах тележек, хребтовых балках, автосцепках и др. [5].

Эксплуатационно-производственные отказы грузовых вагонов происходят из-за ошибок работников хозяйства пути и сооружений, хозяйства СЦБ, грузоотправителей и грузополучателей (хозяйство грузовой и коммерческой работы, порты, промышленные предприятия). По хозяйству пути и сооружений отказы вагонов происходят из-за излома рельсов, неисправностей стрелочных переводов и неудовлетворительного текущего содержания пути. В этом хозяйстве наблюдается около 40% крушений от общего количества по сети, 48% сходов подвижного состава с рельс и 15% других транспортных происшествий [5].

К опасным отказам рельсового пути относят изломы рельсов (по данным ОАО

«РЖД» в 2008 году допущено 39 изломов), изломы крестовин стрелочных переводов, сверхнормативные изменения параметров рельсовой колеи по ширине, по уровню, в плане, выбросы пути и деформация земляного полотна [1, с. 847].

Причиной крушений, аварий поездов, сходов вагонов и других транспортных происшествий являются опасные ошибки персонала железнодорожных станций (превышение скорости роспуска вагонов, перевод стрелки под подвижным составом, ошибки при укладке башмаков, отправление поезда на занятый путь и др.) [5, с. 41–44].

По хозяйству СЦБ ежегодно наблюдается, в среднем, 12% нарушений правил безопасности движения, 25 неисправностей в год устройств СЦБ с задержкой поездов на один час и более, 10 сходов и столкновений при маневрах и др. [5]. В хозяйстве грузовой и коммерческой работы наблюдаются, в основном, случаи по отцепке вагонов на промежуточных станциях из-за нарушений ТУ погрузки и крепления груза, в 2004 году было выявлено 1824 тысячи вагонов с перегрузом [5, с. 65].

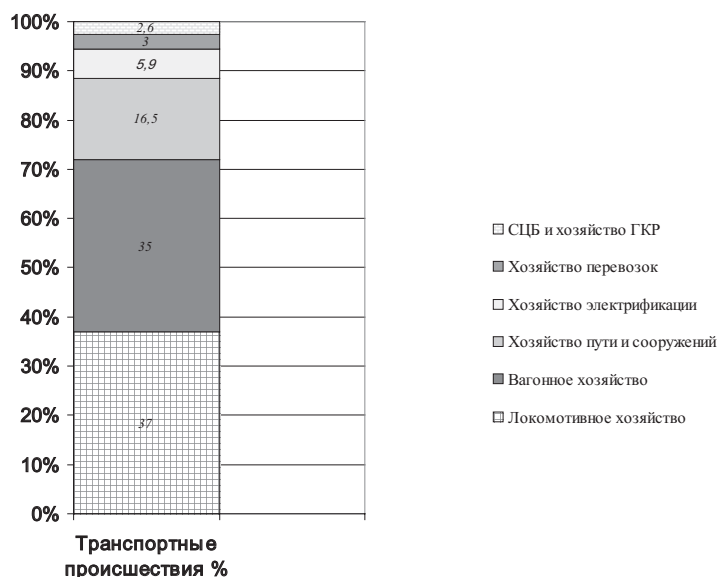


Рис. 3. Диаграмма распределения среднегодового количества случаев нарушения безопасности движения (%) по хозяйствам ОАО «РЖД».

В портах и на промышленных предприятиях объемы повреждений грузовых вагонов, особенно полувагонов, растут с каждым годом. В 2005 году в портах было повреждено 5544 вагона, в 2006-м – 18659. Особенно значительные повреждения наблюдаются в морском порту Мурманска: 38% – 2005 г. и 66% – 2006 г. Главная причина повреждений – выгрузка вагонов многотонным грейфером и грейферными лесными захватами или нарушение ГОСТ 22235-76. Повреждения вагонов на предприятиях металлургического комплекса по данным 2006 года составили около 7 тыс. вагонов. Причины – сход подвижного состава из-за серьезных отступлений в содержании пути и стрелочных переводов, нарушения температурного режима при разогреве смерзшегося груза в тепляках, повреждения колесных пар при роспуске вагонов с горок и др. [17, с 7–8].

Деградационно-коррозийные отказы грузовых вагонов тесно связаны с двумя различными факторами: естественными процессами износа, старения, несоблюдением межремонтных пробегов и сроков службы вагонов [13]; воздействием на элементы вагона опасных грузов (транспортные происшествия при перевозке) [3].

Применительно к условиям интенсивной эксплуатации грузовых вагонов на дорогах Сибири и Дальнего Востока, где среднесуточный пробег составлял 600 км при среднесетевом – 300 км, наблюдался интенсивный износ поверхностей катания колес, как новых вагонов, так и вагонов, прошедших плановый деповской ремонт. По данным работы [13] построены зависимости проката (износа) колеса от срока эксплуатации 4-осной цистерны (рис. 2), а работы [5] – диаграммы (рис. 3), отражающие роль различных хозяйств и число транспортных происшествий. В исследованиях В. М. Пономарева и А. И. Шевченко отмечаются частые случаи нарушения грузоотправителями норм налива опасных грузов и их утечки через верхний загрузочный люк. Наибольшее число инцидентов с опасными грузами (73%) связано с течью котлов цистерн, перевозкой химических грузов и сжиженных газов, некачественной подготовкой цистерн к перевозке опасных грузов.

2.

Роль каждого из перечисленных выше подразделений в решении основной задачи железнодорожного транспорта и их



вклад в число отказов грузовых вагонов наиболее ярко проявляется в математической модели оценки срока службы вагона [14]

$$\sum_{i=1}^t D_i - \sum_{i=1}^t P_i = 0, \quad (1)$$

где t – целесообразный срок службы грузового вагона, лет;

$D_i = \tau_i C_i$ – доход от эксплуатации вагона в i -м году, руб.;

τ_i – фактическая длительность работы вагона по перевозке грузов в i -м году, ч.;

C_i – средняя прибыль от использования вагона для перевозки грузов i -м году, руб.;

$$P_i = \frac{C_{\theta}}{t} + \frac{C_m}{t} + \frac{\sum_{j=1}^k C_{\kappa pj}}{t} + \frac{\sum_{m=1}^n C_{\delta pm}}{t} +$$

$$+ K_{mpi} C_{mpi} + K_{nni} C_{nni} + K_{zi} C_{zi}$$

– среднегодовые расходы за жизненный цикл вагона, руб./год;

C_{θ} – затраты на приобретение нового грузового вагона, руб.; C_m – затраты на модернизацию вагона, руб.; k – число капитальных ремонтов вагона за срок его службы; $C_{\kappa pj}$ – стоимость j -го капитального ремонта вагона, руб.; n – число деповских ремонтов вагона за срок его службы; $C_{\delta pm}$ – стоимость m -го деповского ремонта вагона, руб.; K_{mpi}, K_{nni}, K_{zi} – среднее число текущих отцепочных ремонтов вагона, его подготовки к перевозкам и устранения отказов в пути следования в i -м году; C_{mpi}, C_{nni}, C_{zi} – средние стоимости соответствующих ремонтов и технического обслуживания вагона в i -м году.

Срок службы – календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние [ГОСТ 27.002-89, статья 4.6].

Под целесообразным сроком службы вагона понимается промежуток времени, обеспечивающий состояние, когда разница доходов от эксплуатации вагона и всех затрат на его постройку, ремонт и все виды обслуживания равна нулю. В этом случае дальнейшая эксплуатация

вагона без производства капитально-восстановительного ремонта (КВР) или капитального ремонта с продлением срока службы (КРП) будет приносить убыток железнодорожному транспорту.

В результате исследований, проведенных по формуле (1) применительно к условиям Кубы, было установлено, что целесообразный срок службы полувагонов должен составлять 30 лет. Кроме того, установлено, что применение дифференцированной периодичности деповского ремонта между капитальными ремонтами (через 1,5 года до второго капитального ремонта, а затем ежегодно) более эффективно по сравнению с постоянной периодичностью [15]. Формула (1) наряду со сроком службы вагона позволяет определять параметры системы ремонта вагонов.

Однако расчеты по формуле (1) достаточно трудоемки и требуют наличия большого количества статистических данных за длительный период эксплуатации вагона и применения для их обработки методов математической статистики.

Для инженерных расчетов срока службы грузового вагона модель его жизненного цикла представим в следующем виде:

$$C(t) \approx C_{\theta} + C_{\theta} \cdot x1(t) + P - d, \quad (2)$$

где $C(t)$ – суммарные затраты за жизненный цикл вагона (срок службы) t , руб.;

C_{θ} – затраты на приобретение нового вагона, руб.;

$$x1(t) = \int_0^t [1 - e^{(x \cdot \alpha)}] dx =$$

$$\frac{t \cdot \alpha \cdot \exp(t \cdot \alpha) + 1}{\alpha} \cdot \exp(-t \cdot \alpha) - \frac{1}{\alpha}$$

– функция затрат на содержание вагона за срок его службы;

x – текущее значение срока службы вагона;

$$\alpha = \frac{2 \cdot t_1 + (t-3) \cdot t_2 + \left(\frac{lg}{LG}\right) \cdot t_3 + \left(\frac{lg}{L}\right) \cdot t_4 + \left(\frac{t}{10}\right) \cdot t_5}{24 \cdot 365 \cdot t \cdot K_{\phi}}$$

– коэффициент роста затрат на содержание вагона, учитывающий его фактический коэффициент готовности K_{ϕ} ;

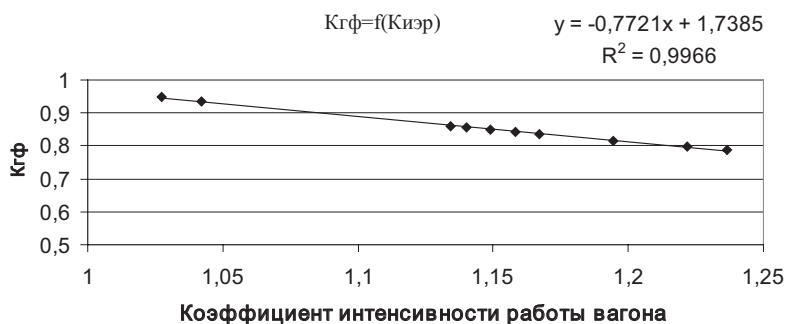


Рис. 4. График зависимости $K_{\text{гф}} = f(K_{\text{изр}})$.

t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 – средние простои вагона соответственно в текущем отцепочном ремонте (ТОР), деповском ремонте (ДР), при техническом обслуживании (ТО), на пункте подготовки к перевозкам (ППВ) и капитальном ремонте (КР), ч в год;

$l_{\text{г}}$ – средний годовой пробег грузового вагона, км;

$L_{\text{г}}$ – длина гарантийного участка, км;

L – полный рейс грузового вагона – расстояние, проходимое им за время оборота в груженом и порожнем состояниях, км;

P – затраты других хозяйств ОАО «РЖД» (кроме вагонного хозяйства) за срок службы вагона, руб.;

$d = C_{\text{мл}} \cdot T$ – ликвидная стоимость вагона, руб.;

$C_{\text{мл}}$ – стоимость тонны металлолома, руб./т;

T – масса тары вагона, т.

В качестве критерия оптимальности срока службы вагона примем минимум среднегодовых затрат

$$Z(t) = \frac{C_{\text{с}} + C_{\text{с}} \cdot x1(t) + P - d}{t} \Rightarrow \min. \quad (3)$$

В модели (3) роль вагоностроения отражается в затратах на приобретение вагона, коэффициенте готовности вагона, а других хозяйств ОАО «РЖД» (кроме вагонного хозяйства) через параметр P .

Нормативные сроки службы грузовых вагонов устанавливают исходя из среднесетевых условий их эксплуатации. Однако в процессе эксплуатации отдельные типы или модели вагонов, как это отмечалось выше, могут эксплуатироваться с большей или меньшей интенсивностью. Безусловно, повышенная эксплуатационная работа вагона приводит к снижению его фактиче-

ского срока службы $t_{\text{ф}}$ по сравнению с нормативным сроком T и является фактором усиленного потока отказов. Об этом свидетельствуют и данные работы [12] о росте количества обрывов корпусов автосцепок по мере увеличения веса поезда, особенно для вагонов, располагающихся в его середине. Ожидаемый (фактический) срок службы грузового вагона определим по формуле

$$t_{\text{ф}} \approx K_{\text{гф}} \cdot T, \quad (4)$$

где $K_{\text{гф}} = \frac{\hat{K}_{\text{с}}}{K_{\text{изр}}}$ – фактический коэффициент готовности конкретного вагона, учитывающий интенсивность его эксплуатационной работы на полигоне эксплуатации;

$$\hat{K}_{\text{с}} = \frac{T_0}{T_0 + T_{\text{с}}} \text{ – коэффициент готовности}$$

данного типа вагона для среднесетевых условий эксплуатации. Коэффициент готовности – вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование объекта по назначению не предусматривается [ГОСТ 27.002-89, статья 6.26];

$$T_0 \approx \frac{1}{\hat{\lambda}} \text{ – средняя наработка на отказ}$$

между отцепками вагона в текущий ремонт, ч;

$$\hat{\lambda} = \sum_{j=1}^6 \beta_j \lambda_j \text{ – приведенная интенсивность отказов элементов вагона для исследуемого периода, учитывающая значимость каждого элемента вагона, 1/ч.};$$

β_j – доля вагонов, отцепляемых в текущий ремонт по отказам элементов вагона (кузова и рамы, тележки, тормозного обо-





Целевая функция среднегодовых затрат, руб.

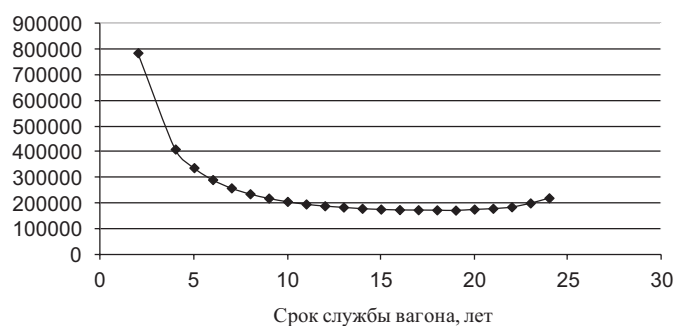


Рис. 5. График целевой функции.

рудования, колесных пар, автосцепного устройства, буксового узла);

λ_j – интенсивность отказов элементов вагона для рассматриваемого периода: $\lambda_1 \approx 0,00084$ – кузова и рамы, $\lambda_2 \approx 0,0000238$ – тележек, $\lambda_3 \approx 0,00000532$ – тормозного оборудования, $\lambda_4 \approx 0,0000252$ – колесных пар, $\lambda_5 \approx 0,00001512$ – автосцепных устройств, $\lambda_6 \approx 0,000102$ – буксовых узлов [16];

T_a – среднее время восстановления работоспособности грузового вагона при текущем отцепочном ремонте, ч;

$$K_{изр} = \alpha_1 \frac{T_1 \cdot S_{нэ} + (T - T_1) \cdot S}{T \cdot S} + \alpha_2 \frac{n_{нэ}}{\bar{n}} + \alpha_3 \frac{G_{нэ}}{\bar{G}}$$

– коэффициент интенсивности эксплуатационной работы грузового вагона;

α_1 – коэффициент весомости влияния среднесуточного пробега на интенсивность эксплуатационной работы вагона; T_1 – длительность эксплуатации вагона в режиме повышенного среднесуточного пробега, лет; $S_{нэ}$ – среднесуточный пробег вагона на полигоне эксплуатации, км; $S = \frac{L}{\theta_a}$ – сетевой среднесуточный пробег грузового вагона данного типа, км; θ_a – оборот грузового вагона данного типа, суток;

α_2 – коэффициент весомости влияния кривых малого радиуса на интенсивность эксплуатационной работы вагона; $n_{нэ}, \bar{n}$ – число кривых малого радиуса, приходящихся на 1000 км пути соответственно на полигоне эксплуатации вагона и в среднем на сети дорог;

α_3 – коэффициент весомости влияния веса поезда на интенсивность эксплуатационной работы вагона;

$G_{нэ}, \bar{G}$ – вес поезда на полигоне эксплуатации вагона и средний вес поезда на сети дорог, тс.

По результатам экспертных оценок коэффициенты весомости α_i для практических расчетов можно принимать: $\alpha_1 = 0,6$; $\alpha_2 = 0,25$; $\alpha_3 = 0,15$. На рис. 4 приведен график зависимости фактического коэффициента готовности от коэффициента интенсивности эксплуатационной работы вагона. Расчетное значение коэффициента готовности $\bar{K}_e$ составляло 0,975.

Результаты расчета целевой функции и оптимизации срока службы грузового вагона (применен метод графической оптимизации) по предложенной методике приведены на рис. 5.

По результатам численного эксперимента оптимальный срок службы грузового вагона составляет 19 лет. Область рациональных значений срока службы грузового вагона 20–27 лет, т. к. среднегодовые затраты в этой области отличаются от оптимального значения не более чем на 5%.

Исходя из условия (4) решение о возможности продления срока службы грузового вагона (СТО РЖД 1.09.004-2007 Стандарт ОАО «РЖД» Вагоны грузовые и рефрижераторные магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Порядок продления назначенного срока службы) *следует* принимать по фактическому, а не по нормированному сроку службы конкретного вагона. Это особенно важно для вагонов, у которых $t_{\phi} < T$.

В стандарте СТО РЖД 1.09.004-2007 под назначенным сроком службы понимается календарная продолжитель-

ность эксплуатации, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния. По истечении назначенного срока службы объект должен изыматься из эксплуатации и должно быть принято решение, предусмотренное соответствующей нормативно-технической документацией — направление в ремонт, списание, уничтожение, проверка и установление нового назначенного срока и т. д.

ВЫВОДЫ

В качестве методологических подходов предложены совокупность отказов грузовых вагонов в эксплуатации, их определения и сферы ответственности подразделений за эти отказы, методика определения сроков службы вагона, учитывающая его коэффициент готовности и интенсивность эксплуатационной работы. Предложены подходы приближенной оценки коэффициентов готовности вагонов и его учет при расчете срока службы. Введены категории: коэффициент интенсивности эксплуатационной работы грузового вагона, фактический коэффициент готовности, фактический срок службы грузового вагона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большая энциклопедия транспорта. Том 4: Железнодорожный транспорт. — Изд. второе. — М.: Большая Российская энциклопедия, 2003.
2. Железнодорожный транспорт: Энциклопедия. — М.: Большая Российская энциклопедия, 1994.
3. Положение о порядке служебного расследования и учета транспортных происшествий и иных, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, событий. Утв. приказом Минтранса России от 25.12.2006 г. № 163 с учетом официальных разъяснений Минтранса РФ от 06.09.2007 г. № ЦЛ-22/6672.

4. Кондрашов С. П. Безопасности движения — пристальное внимание//Вагоны и вагонное хозяйство: Пилотный выпуск, 2004.

5. Бураков В. А., Сычев Е. И. Повышение безопасности движения поездов на основе совершенствования и развития станционной техники. Учеб. пособие. — М.: МИИТ, 2006.

6. Голышев А. И. Сертификация производства и внедрение системы менеджмента повысит качество ремонта вагонов//Вагоны и вагонное хозяйство: Пилотный выпуск. 2004.

7. Бочкарев Н. А. Ремонт и эксплуатация частных вагонов//Вагоны и вагонное хозяйство. — 2006. — № 2.

8. Устич П. А., Карпычев В. А., Овечников М. Н. Надежность рельсового подвижного состава. — М.: Вариант, 1999.

9. Горский А. В., Воробьев А. А. Надежность электроподвижного состава: Учебник. — М.: Маршрут, 2005.

10. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.

11. Саврухин А. В. Совершенствование конструкций массивных несущих деталей подвижного состава на основе анализа напряженно-деформированного состояния при эксплуатационных и технологических воздействиях/Автореф. дис... док. техн. наук. — М.: МИИТ, 2005.

12. Калетин С. В. Снижать обрывы автосцепок//Вагоны и вагонное хозяйство. — 2007. — № 1.

13. Турков А. И. и др. Некоторые результаты исследования интенсивного износа профиля катания колесных пар восьмиосных цистерн на Дальневосточном полигоне//Вопросы совершенствования технологий организации и механизации ремонта вагонов. Вып. 746. — М.: МИИТ, 1984.

14. Болотин М. М., де Ла Роса Л. Р. Оценка целесообразного срока службы грузового вагона//Вопросы проектирования, эксплуатации и ремонта большегрузных вагонов, Вып. 679. — М.: МИИТ, 1981.

15. Леонардо де Ла Роса. Влияние напряженного состояния кузовов полувагонов на эффективность их использования в условиях Кубы/Автореф. дис... канд. техн. наук. М.: МИИТ, 1982.

16. Цистерны. (Устройство, эксплуатация, ремонт): Справочное пособие/В. К. Губенко, А. П. Никодимов, Г. К. Жилин и др. — М.: Транспорт, 1990.

17. Ковыршин В. М. Остановить массовые повреждения вагонов//Вагоны и вагонное хозяйство. — 2007. — № 1.

18. Целько А. В. Работа с порожними вагонами на укрупненном полигоне//Вагоны и вагонное хозяйство: Пилотный выпуск. 2004.

19. Комиссарова Л. В. Во избежание тяжелых последствий//Вагоны и вагонное хозяйство. — 2007. — № 1.

FAILURES AND LIFETIME OF A FREIGHT CAR

Bolotin, Mikhail M. — D.Sc. (Tech), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).
Vorotnikov, Valery G. — Ph.D. (Tech), associate professor of the department of wagons and wagon facilities of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

The authors consider choice of possible methods to define failures and lifetime of freight cars taking into account the safety criterion. They propose classification of failures, cars' readiness rate, operation intensity, responsibilities of different levels of the railway cars' departments.

Key words: safety, methodology, railway, freight car, failure, lifetime, service-time.

Координаты авторов (contact information): Болотин М. М. — gpsdepo@mail.ru; Воротников В. Г. — (495) 684-2232.

