

Ермаков А.О., Новожилов Е.О.

ОЦЕНКА РИСКОВ, СВЯЗАННЫХ С ИЗЛОМАМИ И ДЕФЕКТАМИ БОКОВЫХ РАМ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

В статье представлен метод оценки рисков, связанных с изломами и дефектами боковых рам тележек грузовых вагонов. Рассматривается построение матриц рисков по изготовителям боковых рам, включая оценку последствий и частот событий, связанных с изломами и выявленными дефектами боковых рам. Предлагаемый метод направлен на обеспечение поддержки принятия управленческих решений по дальнейшей эксплуатации грузовых вагонов на основе риск – менеджмента.

Ключевые слова: рама боковая; вагон грузовой; излом; дефект; риск; оценка риска; матрица рисков.

Введение

В последние годы на сети железных дорог России и других стран СНГ участились случаи излома боковых рам тележек грузовых вагонов. Каждый такой излом сопряжен со сходом одного или нескольких вагонов, локомотива и иногда приводит к тяжелым последствиям, связанным с человеческими жертвами.

Характерной особенностью сложившейся ситуации является то, что изломы боковых рам происходят на сроке эксплуатации от 1 до 4 лет при гарантийном сроке эксплуатации 5 лет, что свидетельствует об их недопустимо низкой надежности.

Следует отметить, что в 2001 году был введен ОСТ 32.183-2001 «Тележки двухосные грузовых вагонов колеи 1520 мм. Детали литые. Рама боковая и балка надрессорная. Технические условия». Его применение заводами-изготовителями началось в 2002 году. С середины 2005 года двухосные тележки грузовых вагонов выпускаются по ГОСТ 9246-2004 «Тележки двухосные грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Технические условия».

Статистические данные показывают, что значительное увеличение количества изломов боковых рам приходится на период с 2006 г. по настоящее время (рис. 1).

В данных условиях является актуальным использование методов поддержки принятия решений по управлению надежностью и безопасностью функционирования грузовых вагонов на основе инструментов оценки рисков [1, 2]. Представление рисков в форме матриц рисков позволяет проводить оценку рисков и определять соответствующие мероприятия по их снижению, а также оценивать динамику рисков.

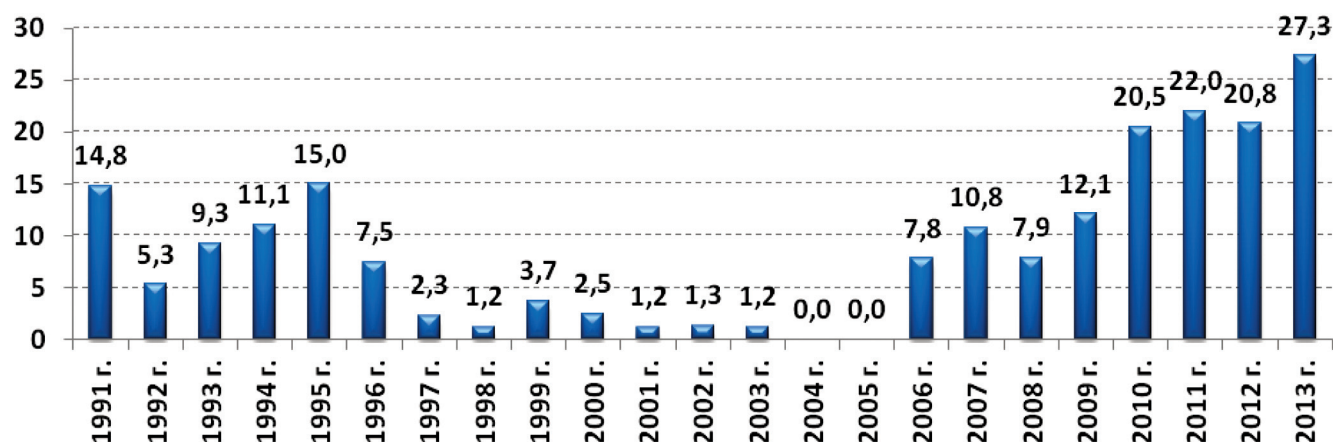


Рис. 1. Количество изломов боковых рам по годам учета на 1 млн вагонов в год

Классификация событий по тяжести последствий

Согласно классификации уровней тяжести последствий по ГОСТ Р 54505-2011 «Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте» и в соответствии с Приказом Минтранса РФ от 25 декабря 2006 г. № 163 «Об утверждении Положения о порядке служебного расследования и учета транспортных происшествий и иных, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, событий», транспортным происшествиям и событиям, возникающим по причине излома боковой рамы тележки грузового вагона целесообразно присвоить следующие уровни тяжести последствий:

- крушениям и авариям – «катастрофический»;
- сходам и событиям без схода – «критический».

Эксплуатация грузового вагона с тележками, имеющими дефектные боковые рамы, запрещается. В связи с этим, фактам обнаружения трещин и других литейных дефектов боковых рам при эксплуатации или проведении деповского ремонта присваиваются следующие уровни тяжести последствий:

- дефектам, выявленным в процессе эксплуатации при проведении технического обслуживания вагонов – «несущественный»;
- дефектам, выявленным в процессе проведения деповского ремонта – «незначительный».

Оценка частоты событий

Расчет частоты событий проводится отдельно для событий с различной тяжестью последствий: крушений и аварий; сходов и событий без сходов; выявленных трещин и других дефектов при техническом обслуживании; выявленных трещин и других дефектов при деповском ремонте.

Частота событий вычисляется отдельно для каждой партии рам. Партия рам включает все боковые рамы, выпущенные в определенном календарном году определенным изготовителем.

Частота событий определяется как отношение количества событий данного вида к объему рассматриваемой партии боковых рам, деленное на интервал наблюдения, который принимается равным сроку эксплуатации партии рам, от года ее выпуска до текущего момента:

$$F = \frac{n}{N \cdot T}, \quad (1)$$

где F – частота крушений и аварий (сходов и событий без сходов) вследствие излома рам или частота выявления трещин и других неустраняемых дефектов при техническом обслуживании (деповском ремонте), 1/год;

n – количество изломов боковых рам данной партии, приведших к крушению или аварии (сходу или событию без схода) за период наблюдения или количество трещин и других неустраняемых дефектов, выявленных в данной партии при техническом обслуживании (деповском ремонте) за период наблюдения;

N – объем партии (количество боковых рам в партии);

T – период наблюдения, лет.

Выбор шкалы тяжести последствий

Шкала тяжести последствий для построения матриц рисков, связанных с изломами и дефектами боковых рам, принимается в соответствии с типовой шкалой по ГОСТ Р 54505-2011 «Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте». Она является качественной и использует 4 интервала уровней: катастрофический, критический (для событий изломов рам) и несущественный, незначительный (для событий выявления трещин и других неустраняемых дефектов рам).

Выбор шкалы частот

Шкала частот для построения матриц рисков, связанных с изломами и дефектами боковых рам, принимается аналогичной типовой шкале по ГОСТ Р 54505. Поскольку значения частот для событий в настоящих Методических указаниях выражаются количественно, интервалы уровней представляются диапазонами количественных значений. Шаг шкалы – логарифмический. Количество интервалов в настоящих Методических указаниях принимается равным 7. Если рассчитанные по (1) значения частот событий находятся за пределами шкалы, то меньшие значения заменяются минимальным значением шкалы, а большие – максимальным ее значением.

Коэффициент кратности границ интервалов шкалы частот для оценки рисков, связанных с изломами и дефектами боковых рам, рекомендуется принимать равным 2 или 2,5.

Задание допустимых уровней рисков

Для событий, возникающих в результате изломов (крушения и аварии, сходы и события без сходов) в качестве показателя для установки допустимых уровней рисков устанавливается допустимый уровень по частоте изломов (опасных отказов) боковой рамы $f_{оп} = 1 \times 10^{-6}$ 1/год на 1 млн боковых рам [3]. Такая частота изломов допускается для обеспечения требуемых показателей безопасности движения и при этом не требуется каких-либо корректирующих действий. Таким образом, указанное значение соответствует границе между интервалом уровней риска «не принимаемый в расчет» (зеленая зона), и интервалом уровней риска «допустимый» (желтая зона) для событий с наихудшей (катастрофической) тяжестью последствий – крушения и аварии.

Для событий выявления трещин или других дефектов боковых рам при техническом обслуживании вагона в качестве показателя для установки допустимых уровней рисков устанавливается нормативная доля дефектных изделий в партии $S_n = 2 \times 10^{-4}$ [3]. Указанное значение

соответствует границе между интервалом уровней риска «не принимаемый в расчет» (зеленая зона), и интервалом уровней риска «допустимый» (желтая зона) для событий незначительной тяжести последствий – трещины и другие неустраняемые дефекты, выявляемые при техническом обслуживании.

Сглаживание временного ряда частот

Перед отображением на матрицах уровни частот событий, образующие временной ряд по годам выпуска партий, сглаживаются методом скользящего среднего. Это делается с целью ослабления влияния случайных выбросов на результат оценки рисков (например, один случайный излом в рамках данного года выпуска может привести к недопустимому риску).

Сглаживание реализуется следующим образом. Пусть задана исходная последовательность частот событий (точек временного ряда) $f(1), f(2), \dots, f(K)$. Для данного временного ряда, содержащего K точек, задается ширина W области усреднения – количество точек ряда, участвующих в формировании сглаженного значения рассматриваемой точки. Как правило, область усреднения симметрична относительно рассматриваемой точки и поэтому W – нечетное.

Для любого нечетного значения $W > 1$ можно задать целочисленные симметричные смещения границ области усреднения $i_{\min} = (1 - W)/2$; $i_{\max} = (W - 1)/2$, где центральной точке будет соответствовать $i = 0$. Для каждой i -й точки ($i = i_{\min}, i_{\min} + 1, \dots, -1, 0, 1, \dots, i_{\max} - 1, i_{\max}$) в области усреднения

задается соответствующий весовой коэффициент p_i , причем $\sum_{i=i_{\min}}^{i_{\max}} p_i = 1$.

Формула для вычисления скользящего среднего имеет вид

$$F(k) = \sum_{i=i_{\min}}^{i_{\max}} p_i \cdot f(k+i). \quad (2)$$

Таким образом, после выполнения сглаживания каждая точка $f(k)$ исходного ряда заменяется на усредненную точку $F(k)$, где $k = 1 \dots K$.

Для корректного сглаживания в областях начала и окончания ряда принимаются следующие условия:

- если $(k+i) < 1$, то в выражении (2) принимается $S(k+i) = S(1)$;
- если $(k+i) > K$, то в выражении (2) принимается $S(k+i) = S(K)$.

Для сглаживания однократных случайных выбросов временного ряда без существенного влияния на систематические составляющие рекомендуется использование следующих параметров: $W = 5$; $i_{\min} = -2$; $i_{\max} = 2$; $p_{-2} = 0,027$; $p_{-1} = 0,135$; $p_0 = 0,676$; $p_1 = 0,135$; $p_2 = 0,027$ (для временного ряда 5 и более точек) и $W = 3$; $i_{\min} = -1$; $i_{\max} = 1$; $p_{-1} = 0,15$; $p_0 = 0,7$; $p_1 = 0,15$ (для временного ряда 3 или 4 точки). При меньшем количестве точек в ряду сглаживание не проводится.

Таким образом, временной ряд рассчитанных частот по событиям каждого вида для заданного производителя усредняется с использованием формулы (2) и выбранных параметров усреднения. Затем сглаженные значения частот используются при построении матрицы рисков.

Задание категории рисков

Категории рисков для оценки уровней рисков, связанных с изломами и дефектами боковых рам, принимаются в соответствии с ГОСТ Р 54505. Риск оценивается по 4 интервальным категориям: недопустимый, нежелательный, допустимый и не принимаемый в расчет. Данные категории соответственно отображаются следующими цветами ячеек матрицы рисков: красный, оранжевый, желтый, зеленый.

Построение матриц рисков

С использованием рассмотренных выше данных по частотам и последствиям событий, по каждому изготовителю для всех партий, изготовленных за заданный интервал наблюдения, строятся матрицы рисков, связанных с изломами и дефектами боковых рам. Общий вид такой матрицы показан на рисунке 2.

Уровни частот в комбинации с уровнями тяжести последствий определяют категории рисков, связанных с изломами и с дефектами боковых рам.

Следует отметить, что в данной матрице рисков используются две различные шкалы уровней частот для двух рассматриваемых видов событий – изломов и дефектов боковых рам.

Уровень частоты, 1/год		Трещины и дефекты, выявленные при депоовском ремонте	Трещины и дефекты, выявленные при техническом обслуживании	Сходы / случаи без схода	Крушения и аварии	
	5...10 изломов на 100 000 рам в год 2...5 дефектов на 1000 рам в год	$(5...10) \times 10^{-5}$ $(2...5) \times 10^{-3}$	Недопустимый риск	Недопустимый риск	Недопустимый риск	Недопустимый риск
	2...5 изломов на 100 000 рам в год 1...2 дефекта на 1000 рам в год	$(2...5) \times 10^{-5}$ $(1...2) \times 10^{-3}$	Нежелательный риск	Недопустимый риск	Недопустимый риск	Недопустимый риск
	1...2 излома на 100 000 рам в год 5...10 дефектов на 10 000 рам в год	$(1...2) \times 10^{-5}$ $(5...10) \times 10^{-4}$	Допустимый риск	Нежелательный риск	Недопустимый риск	Недопустимый риск
	5...10 изломов на 1 000 000 рам в год 2...5 дефектов на 10 000 рам в год	$(5...10) \times 10^{-6}$ $(2...5) \times 10^{-4}$	Не принимаемый в расчет риск	Допустимый риск	Нежелательный риск	Недопустимый риск
	2...5 изломов на 1 000 000 рам в год 1...2 дефекта на 10 000 рам в год	$(2...5) \times 10^{-6}$ $(1...2) \times 10^{-4}$	Не принимаемый в расчет риск	Не принимаемый в расчет риск	Допустимый риск	Нежелательный риск
	1...2 излома на 1 000 000 рам в год 5...10 дефектов на 100 000 рам в год	$(1...2) \times 10^{-6}$ $(5...10) \times 10^{-5}$	Не принимаемый в расчет риск	Не принимаемый в расчет риск	Не принимаемый в расчет риск	Допустимый риск
	5...10 изломов на 10 000 000 рам в год 2...5 дефектов на 100 000 рам в год	$(5...10) \times 10^{-7}$ $(2...5) \times 10^{-5}$	Не принимаемый в расчет риск	Не принимаемый в расчет риск	Не принимаемый в расчет риск	Не принимаемый в расчет риск
			Незначительный (вагон поврежден незначительно, необ- ходим текущий ремонт)	Несущественный (вагон поврежден, необходим средний или депоовский ремонт)	Критический (вагон поврежден, необходим капитальный ремонт)	Катастрофический (вагон поврежден до степени исключения из инвентаря)
			Уровень тяжести последствий			

Рис. 2. Общий вид матрицы рисков, связанных с изломами и дефектами боковых рам заданного изготовителя за интервал наблюдения

В ячейках матрицы размещают точки, соответствующие уровню последствий и уровню частоты для заданного риска, связанного с рамами данного изготовителя по всем партиям, выпущенным за заданный интервал наблюдения.

Пример построения матрицы рисков

Рассмотрим построение матрицы рисков для партий изготовителя «Бежицкий сталелитейный завод», выпущенных за период наблюдения с 2002 по 2013 г. по состоянию на 1 апреля 2013 г.

Исходные данные для матриц рисков, связанных с изломами и дефектами рам Бежицкого сталелитейного завода (БСЗ) за интервал наблюдения с 2002 по 2013 г. представлены в столбцах 1-5 таблицы 1 [4, 5]. Для количества изломов интервал наблюдения равен сроку службы рамы, а для трещин и других неустраняемых дефектов, выявленных при техническом обслуживании вагона – 4,3 года, поскольку данные по дефектам известны только начиная с 2009 г. Данные по количеству трещин и дефектов, выявленных при деповском ремонте, не представлены.

Таблица 1. Данные по количеству изломов и дефектов по партиям Бежицкого сталелитейного завода, изготовленным с 2002 по 2013 г.

Год выпуска партии	Объем партии	Кол-во изломов (крушения и аварии)	Кол-во изломов (сходы и сл. без схода)	Кол-во дефектов	Ч-та изломов (крушения и аварии), 1/год	Ч-та изломов (сходы и сл. без схода), 1/год	Ч-та дефектов, 1/год
2002	23761	0	0	87	0	0	$8,52 \times 10^{-4}$
2003	34353	0	0	249	0	0	$1,69 \times 10^{-3}$
2004	47708	0	0	208	0	0	$1,01 \times 10^{-3}$
2005	36933	0	0	133	0	0	$8,37 \times 10^{-4}$
2006	46419	0	0	120	0	0	$6,01 \times 10^{-4}$
2007	41909	0	0	168	0	0	$9,32 \times 10^{-4}$
2008	38920	0	0	111	0	0	$6,63 \times 10^{-4}$
2009	21374	0	1	67	0	$1,09 \times 10^{-5}$	$7,29 \times 10^{-4}$
2010	40966	0	0	25	0	0	$1,85 \times 10^{-4}$
2011	44390	0	0	10	0	0	$9,79 \times 10^{-4}$
2012	48959	0	0	7	0	0	$1,10 \times 10^{-4}$
2013	13930	0	0	0	0	0	0

Выполним оценку частот событий по выражению (1):

- рассчитаем частоты катастрофических событий для партий 2002-2013 гг. изготовителя БСЗ, используя количество изломов, вызвавших крушения и аварии. Результаты вносим в столбец 6 таблицы 1;
- рассчитаем частоты критических событий для партий 2002-2013 гг. изготовителя БСЗ, используя количество изломов, вызвавших сходы и события без схода. Результаты вносим в столбец 7 таблицы 1.
- рассчитаем частоты незначительных событий для партий 2002-2013 гг. изготовителя БСЗ, используя количество дефектов, выявленных при техническом обслуживании. Результаты вносим в столбец 7 таблицы 1.

По формуле (2) выполним сглаживание временных рядов частот в столбцах 5, 6 и 7 таблицы 1. Результат представлен в таблице 2.

Полученные комбинации тяжести последствий и соответствующих им сглаженных значений частот из таблицы 2 наносим на шаблон матрицы рисков (рис. 2). В результате получаем матрицу рисков, связанных с изломами и дефектами для партий БСЗ 2002-2013 гг. (рис. 3).

Уровень частоты, 1/год		Выявленные дефекты при техническом обслуживании	Сходы / случаи без схода	Крушения и аварии
5...10 изломов на 100 000 рам в год	$(5...10) \times 10^{-5}$			
2...5 дефектов на 1000 рам в год	$(2...5) \times 10^{-3}$			
2...5 изломов на 100 000 рам в год	$(2...5) \times 10^{-5}$			
1...2 дефекта на 1000 рам в год	$(1...2) \times 10^{-3}$	03		
1...2 излома на 100 000 рам в год	$(1...2) \times 10^{-5}$	02		
5...10 дефектов на 10 000 рам в год	$(5...10) \times 10^{-4}$	04		
5...10 изломов на 1 000 000 рам в год	$(5...10) \times 10^{-6}$	05		
2...5 дефектов на 10 000 рам в год	$(2...5) \times 10^{-4}$	06	09	
2...5 изломов на 1 000 000 рам в год	$(2...5) \times 10^{-6}$	07		
1...2 дефекта на 10 000 рам в год	$(1...2) \times 10^{-4}$	08		
1...2 излома на 1 000 000 рам в год	$(1...2) \times 10^{-6}$	10		
5...10 дефектов на 100 000 рам в год	$(5...10) \times 10^{-5}$	11	08 10	
5...10 изломов на 10 000 000 рам в год	$(5...10) \times 10^{-7}$	12		
2...5 дефектов на 100 000 рам в год	$(2...5) \times 10^{-5}$			
		13	02 03 04 05 06 07 11 12 13	00 00 00 00 00 00 1 1 1 1 1 1 13
		Незначительный (вагон поврежден незначительно, необходим текущий ремонт)	Критический (вагон поврежден, необходим капитальный ремонт)	Катастрофический (вагон поврежден до степени исключения из инвентаря)

Аналогично строятся матрицы рисков для партий других изготовителей.

Мероприятия и принятие решений

Принятие решения о дальнейшей эксплуатации вагонов с партией рам, выпущенных конкретным изготовителем в заданный год, проводится на основе категории риска на матрице рисков.

Следует отметить, что недопустимые риски характеризуют продукцию изготовителя как потенциально опасную, не обеспечивающую безопасность и надежность перевозочного процесса. Такие риски должны исключаться.

При обработке риска необходимо обратить внимание на соблюдение требований на следующих основных этапах жизненного цикла боковой рамы тележки:

- проектирование;
- изготовление;
- ремонт;
- эксплуатация.

На этапе проектирования необходимо проанализировать соблюдение требований:

- к конструкции рамы;
- к конструкции тележки;
- к свойствам материала.

На этапе изготовления необходимо проанализировать соблюдение требований технологии, которая включает:

- структуру технологического процесса изготовления;
- оборудование, применяемое при изготовлении (например, применение ледниковых стержневых систем);
- свойства материала;
- методы выходного неразрушающего контроля.

При проведении ремонта необходимо проанализировать соблюдение требований технологии, которая включает:

- структуру технологического процесса ремонта;
- методы входного неразрушающего контроля;
- методы выходного неразрушающего контроля.

На этапе эксплуатации необходимо проанализировать соблюдение требований:

- контроля при техническом обслуживании тележек;
- соблюдение условий эксплуатации подвижного состава.

Рассмотренный метод оценки рисков, связанных с изломами и дефектами боковых рам тележек грузовых вагонов позволяет осуществить поддержку принятия решений по дальнейшей эксплуатации грузовых вагонов, использующих боковые рамы определенной партии. На основе оценки рисков может быть повышена эффективность рекламационной работы владельца инфраструктуры и собственника вагонов с изготовителями боковых рам.

Авторы выражают признательность д.т.н., профессору Шубинскому И.Б. за помощь, оказанную при подготовке данной статьи.

Список использованных источников

1. Методические рекомендации по практическому применению ГОСТ Р 54505-2011 «Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте». Утверждены ОАО «РЖД» 03.03.2012 г.
2. **Методические рекомендации по оценке рисков на железнодорожной инфраструктуре ОАО «РЖД». Утверждены ОАО «РЖД» 21.11.2011 г.**
3. Проект документа «Методика отнесения грузовых вагонов к категории со сниженным уровнем эксплуатационной безопасности по показателям надежности и функциональной безопасности литых деталей тележек (рам боковых и балок надрессорных). Часть 1. Рамы боковые».
4. Анализ технического состояния несущих литых деталей тележек грузовых вагонов за 2012 год. ПКБ ЦВ, 2013 г., 114 стр.
5. Данные отчетности, сформированные в соответствии с Оперативным приказом ОАО «РЖД» от 29 декабря 2009 г. № ЦВр-179.