

К ВОПРОСУ ПОЯВЛЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

В.Г.СОЛОНЕНКО, Ж.С.МУСАЕВ, Т.М.ДЮСЕНГАЛИЕВА

E.mail. ksucta@elcat.kg

Макалада жүк ташуучу вагондордун куюлган тетиктеринин эскирип бузулуулары изилденген. Жүк ташуучу вагондордун жүрүү бөлүгүнүн куюлган тетиктеринин ишенимдүүлүк көрсөткүчтөрүн пайдалануу маалыматтары боюнча статистикалык иштен чыгуу жана аныктоо жүргүзүлгөн. Жүк ташуучу вагондордун тележкаларынын куюлган тетиктеринин анык ишенимдүүлүк көрсөткүчтөрүн баалоо эскирүү жаракалары пайда болуу критерийи боюнча нормаланган ишенимдүүлүк көрсөткүчтөрүн белгилөө үчүн жүргүзүлгөн.

В статье выполнено исследование усталостных повреждений литых деталей тележек грузовых вагонов. По эксплуатационным данным проведены статистическая обработка и определение показателей надежности литых деталей ходовых частей грузовых вагонов. Для назначения нормированных показателей надежности по критерию появления усталостных трещин проведена оценка фактических показателей надежности литых деталей тележек грузовых вагонов.

In the article investigation of fatigue damage castings bogies of freight cars. Revealed that the operating and manufacturing defects, represent the main mass of fatigue cracks that occur in the most stressed areas or have a factory marriage manufacturers. For operational data carried out statistical analysis and determination of reliability castings undercarriages of freight cars. For the purpose of the normalized reliability indices by the appearance of fatigue cracks assess the actual reliability of cast parts carts wagons.

Современные условия эксплуатации грузовых вагонов предъявляют повышенные требования к надежности тележек, особенно к надежности литых деталей тележек. Поэтому обеспечение безопасности на железных дорогах АО «НК КТЖ» традиционно является одним из приоритетов в деятельности Департамента вагонного хозяйства (ЦВ) МЖС и АО «Казтеміртранс». Важную роль играет контроль технического состояния боковой рамы и надрессорной балки, при котором выявляются эксплуатационные и заводские дефекты, представляющие собой в основной массе усталостные трещины, которые возникают в наиболее напряженных зонах или имеют заводской брак производителей.

Аналогичные проблемы испытывают страны содружества СНГ и Балтии, где традиционно используется колея 1520 мм и вагонный парк производителей вагонов – России и Украины. Парк грузовых вагонов РК приведен в табл. 1.

Таблица 1

Общий парк грузовых вагонов РК (на 01.02.2012 г.)

Парк	Общее количество	Род вагона						
		полувагоны	цистерны	крытые	зерновозные	платформы	фитинг платформы	прочие
Инвентарный	55954	27386	6087	8643	5187	3735	3467	1449
Приватный (собственный)	52523	19639	25404	1357	0	425	426	5272

Всего:	108477	47025	31491	10000	5187	4160	3893	6721
--------	--------	-------	-------	-------	------	------	------	------

Наиболее полная статистика по трещинам боковых рам грузовых вагонов собрана в ОАО «РЖД» /1/. Как показывает проведенный анализ, негативная динамика изломов началась с 2004 года – 857 случаев.

По данным АО «Казтеміртранс», с 2008 по январь 2012 г. на территории Казахстана произошло 37 случаев излома боковых рам, из них 13 – старые трещины, 24 – литейные дефекты при изготовлении в новых вагонах.

Поскольку вагонный парк РК обновлялся в основном за счет приобретения вагонов ЗАО «Азовэлектросталь», совместно с заводом проводились работы по дефектоскопированию литых деталей с клеймом «1291», изготовленных в 2008-2010 гг.

Результат неутешителен: из 5155 обследованных вагонов дефекты в боковых рамах выявлены в 5623 деталях и в 983 надрессорных балках.

Осмотр литых деталей тележек производится при техническом обслуживании вагонов во время их эксплуатации, а также при поступлении вагонов в заводской и деповской ремонты.

Следует отметить, что в пунктах технического обслуживания (ПТО) и пунктах подготовки вагонов к погрузке (ППВ) осмотр проходит на открытом воздухе при различных, часто неблагоприятных погодных условиях, недостаточной освещенности и загрязненных поверхностях деталей. Кстати, 80 % изломов боковых рам приходится на октябрь-март в период наиболее низких температур. Расположение многих зон контроля требует осмотра снизу или применения зеркал. Продолжительность контроля ограничена нормативами технического обслуживания и составляет 5-6 с на каждую боковую раму и надрессорную балку. Поэтому вероятность выявления усталостных трещин в литых деталях визуальным осмотром на технических станциях довольно низка.

В ОАО «РЖД» принята высокая стимуляция выявления трещин в литых деталях тележек. Так, в 2010 году осмотрщиками вагонов на ПТО выявлено и подтверждено средствами дефектоскопии более 12 тысяч дефектных боковых рам. В ОАО «РЖД» большое внимание уделяется стимулированию персонала, занятого в перевозочной деятельности, по предотвращению аварийности. Отличившимся по выявлению опасных дефектов в 2010 году выплачено более 77 миллионов рублей /1/. АО «НК КТЖ» аналогично стимулирует работников: разработана специальная премиальная система для работников, выявивших в процессе выполнения своих должностных обязанностей опасные дефекты подвижного состава. Однако стимулирование осмотрщиков вагонов не может стать гарантией выявления трещин во всех без исключения боковых рамах, да и это просто невозможно.

Тем не менее, вагоны, в которых при осмотре обнаружены трещины в литых деталях тележки, поступают в текущий оцепочный ремонт. Статические сведения о поступлении вагонов в текущий оцепочный ремонт содержат лишь факт наличия трещины в детали без указания места ее расположения и года изготовления (срока службы) детали. Кроме того, в сведениях указано общее число вагонов, поступающих в текущий оцепочный ремонт по всем видам неисправностей. Обозначим через ω долю отказов вагонов по неисправностям боковых рам или надрессорных балок от общего числа отказов вагонов. Вероятность выявления трещины при осмотре $P_{\text{выявл.}}$ определим как отношение числа деталей, в которых при осмотре обнаружена трещина, к общему числу осмотренных деталей.

$$P_{\text{выявл.}} = \frac{\omega}{k} \cdot \frac{N_{\text{тр}}}{N_{\text{осм}}}, \quad (1)$$

где k – коэффициент, учитывающий число боковых рам ($k=4$) или надрессоренных балок ($k=2$) у вагона; $N_{\text{тр}}/N_{\text{осм}}$ – отношение числа вагонов, поступающих в текущих оцепочный

ремонт, к общему числу осмотренных вагонов за определенный период времени, например, за год:

$$\frac{N_{mp}}{N_{осм}} = \frac{N_{р.п.} \cdot \omega_{mp}}{N_{р.п.} \cdot \omega_{ос}} = \frac{\omega_{mp}}{\omega_{ос}},$$

где $N_{р.п.}$ – число вагонов рабочего парка; ω_{mp} – частота поступления вагонов в текущий оцепочный ремонт; $\omega_{ос}$ – частота осмотров грузового вагона.

Тогда

$$P_{выявл.} = \frac{\omega}{k} \cdot \frac{\omega_{mp}}{\omega_{ос}} \text{ или } P_{выявл.} = \frac{n}{k \cdot 1000 \cdot \omega_{ос}}, \quad (2)$$

где n – число вагонов, поступающих в текущий оцепочный ремонт по отказу – появлению трещины в боковой раме (надрессорной балке), приходящееся на 1000 вагонов рабочего парка.

По статистическим данным за 2009-2010 гг. $\omega_{mp} = 4,45$, $\omega_{ос} = 670$. Основные статистические данные сведены в табл. 2.

Таблица 2

Статистические данные по поступлению вагонов в ремонт и осмотрам грузовых вагонов на территории Казахстана

Годы обследования	Число вагонов, поступивших в текущий оцепочный ремонт, на 1000 ед. рабочего парка, n	Частота отказов, ω	Вероятность выявления за один осмотр, $P_{выявл.}$
2009	4/8	0,00095/0,0019	$0,32 \cdot 10^{-5} / 0,32 \cdot 10^{-5}$
2010	3/8	0,00067/0,0018	$0,24 \cdot 10^{-5} / 0,32 \cdot 10^{-5}$

Примечание: в числителе – по трещинам надрессорных балок, в знаменателе – по трещинам боковых рам.

Вероятность выявления усталостной трещины в боковых рамах на ПТО и ППВ не превышает $0,4 \cdot 10^{-5}$. Таким образом, основной контроль технического состояния надрессорных балок и боковых рам в эксплуатации происходит при поступлении вагонов в депо и заводской ремонт. В вагонных депо и на вагоноремонтных заводах контроль осуществляется в закрытом отапливаемом помещении, при этом тележку разбирают, детали очищают, промывают и осматривают на кантователе, проверяют с помощью дефектоскопии. Естественно, что основная часть повреждений, а также дефектов линейного происхождения выявляется именно здесь.

Таблица 3

Расчётная вероятность выявления трещин в литых деталях тележек

Годы обследования	Общее число осмотренных деталей	Число деталей с трещинами	Вероятность выявления трещин
2009	45801/8643	342/556	0,0074/0,0645
2010	46825/19639	502/189	0,0107/0,0096

Примечание: в числителе – по трещинам надрессорных балок, в знаменателе – по трещинам боковых рам.

Вероятность выявления детали с трещиной при контроле во время деповского или заводского ремонта может быть вычислена как:

$$P_{\text{выявл.}} = Q_T / Q_o, \quad (3)$$

где Q_T – число деталей с трещинами; Q_o – общее число обследованных деталей.

Как и ожидалось, $P_{\text{выявл.}}$ при контроле деталей при поступлении вагонов в деповской или заводской значительно выше, чем при контроле их на ПТО и технических станциях, где они осматриваются 1-2 раза в день, при этом выявляются критические повреждения, которые в ближайшее время могут привести к аварийным последствиям.

Для разработки научно обоснованных положений, на основе которых могут быть назначены нормированные показатели надежности по критерию появления усталостных трещин, необходима оценка фактических показателей надежности литых деталей тележек существующего парка. Такая оценка может быть проведена на основе результатов контроля деталей при поступлении вагонов в деповской ремонт.

Проверка по критерию однородности χ^2 (при уровне значимости $\alpha = 0,05$) /1/ показала, что для каждого года обследования (2008-2010 гг.) результаты осмотра, предоставляемые отдельно группами надежности и работниками вагонных депо, не имеющими групп надежности, противоречат гипотезе об однородности выборок. По этой причине объединение этих данных в общую выработку не является допустимым, и статистическую обработку и определение показателей надежности проводили только по эксплуатационным данным, представляемым группами надежности, как наиболее достоверным.

В работе /2/ был предложен способ определения показателей надежности по данным эксплуатационных осмотров. С использованием этого метода были получены эмпирические функции распределения наработок до отказа литых деталей (надрессорной балки и боковой рамы) тележки грузового вагона для разных лет обследования технического состояния деталей (2008-2010 гг.).

Для боковой рамы эксплуатационными дефектами являются усталостные трещины (рис. 1, а) в зонах нижнего 3 и верхнего 4 углов рессорного проема, буксовом проеме 2 и в углу консольной части 1. Кроме того, выявляются также рамы с продольными трещинами в зоне буксового проема 5.

Статистические эксплуатационные данные обрабатывались дифференцированно для каждой из указанных зон. Трещины в зоне 5 не угрожают безопасности движения. Появление трещин в зонах 1, 2, 3, 4 может привести к разрушению боковой рамы под поездом, и при ее обнаружении рама выбраковывается. Поэтому для оценки надежности этой детали по трещинам были проанализированы отказы от суммы трещин в зонах 1, 2, 3, 4. Статистические выборки по трещинам в каждой из зон 1, 2, 3, 4 и 5, а также по сумме трещин в зонах $\Sigma (1+2+3+4)$ за каждый год обследования были проверены по критерию однородности. В общую выборку для каждого типа трещины включали выборки за те годы обследования, которые удовлетворяли этому критерию.

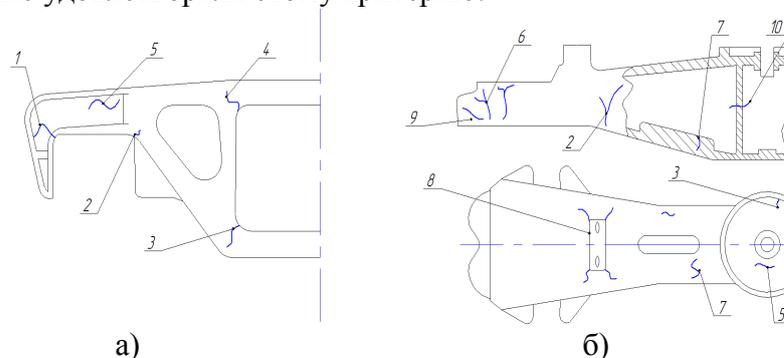


Рис. 1. Зоны появления усталостных трещин в боковой раме (а) и надрессорной балке (б)

С целью выявления закона распределения вероятности отказов (или вероятности безотказной работы) от наработки полученные в параметрической форме функции распределения наработок до отказа были построены на различных вероятностных бумагах. Было выявлено, что эмпирические данные лучше всего описываются законом Вейбулла (рис. 2). Параметры закона распределения были подобраны с помощью метода наименьших квадратов. В дальнейшем, зная закон распределения, параметры функции распределения наработки до отказа, интенсивность отказов и доверительные интервалы можно определять согласно работе [3].

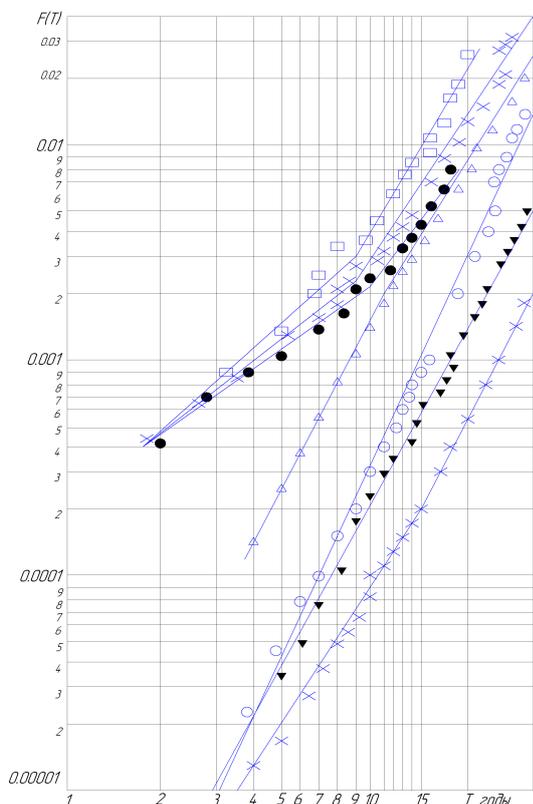


Рис. 2. Функция распределения наработки до отказа боковой рамы по появлению усталостных трещин:

- 1, 2, 3, 4, 5 – соответственно в зонах 3, 2, 1, 4, 5;
- 6 – суммарная в зонах 1, 2, 3 и 4;
- 7 – суммарная кривая по всем зонам

были выделены в отдельную группу. При статистической обработке трещины верхнего пояса объединены в одну общую группу Σ (1+4); трещины боковой стенки также объединены: Σ (2+7+9). Данные по трещинам зеркала подпятника 5 выделены в отдельную группу, а также обработаны совместно с данными по дефектам бурта подпятника и колонок Σ (3+5+10) – подпятниковая зона. Обработку данных по отказам проводили аналогично обработке данных по боковой раме; установлено, что распределение наработки на отказ надressорной балки также удовлетворяет закону Вейбулла.

Наибольшее число надressорных балок выходит из строя по трещинам в подпятниковом узле (рис. 3). За 30 лет службы вероятность выхода из строя по этим отказам составляет 57,8 %, что намного превышает нормативное значение. За первые десять лет эксплуатации выходит из строя 12 % балок; первые трещины обнаруживаются уже после первого года эксплуатации. Большой выход из строя надressорных балок и по трещинам в верхнем поясе: 3 % – за 10 лет и 21 % – за 30 лет эксплуатации.

Вероятность отказа по всем типам трещин составляет после первых 10 лет эксплуатации 0,45 %. Вероятность появления угрожающих безопасности движения трещин после 10 лет эксплуатации составляет 0,3 %; после 20 лет эксплуатации (т.е. для боковых рам изготовления до 1964 г.) эта величина составляет уже 1,7 %. Вероятность отказа за весь срок службы боковой рамы составляет 6 %, из них по трещинам в опасных сечениях – 4 %. Из приведенного графика также видно, что первые усталостные трещины начинают появляться после трех-четырёх лет эксплуатации.

Характерными отказами в эксплуатации надressорной балки (см. рис. 1, б) являются поперечные трещины верхнего пояса 1, трещины боковой стенки 2 и 9, трещины внешнего бурта подпятника 3, продольные трещины верхнего пояса 4, трещины опорной поверхности (зеркала) подпятника 5, трещины опорной наклонной плоскости 6, трещины нижнего пояса 7, трещины опорной колонки 10. По своей значимости для безопасности движения наиболее опасными являются трещины нижнего пояса 7; данные по этим отказам

Вероятность отказа наддресорной балки по трещинам, угрожающим безопасности движения, составляет за 10 лет эксплуатации 0,02 %, а за 80 лет – 0,4 %. Это очень незначительная доля от вероятности выхода из строя по другим видам трещин. Первые трещины такого типа появляются после 7 лет эксплуатации. Общий выход из строя наддресорных балок по всем видам трещин очень высок и составляет 15 % за 10 лет эксплуатации и 83 % – за 30 лет эксплуатации.

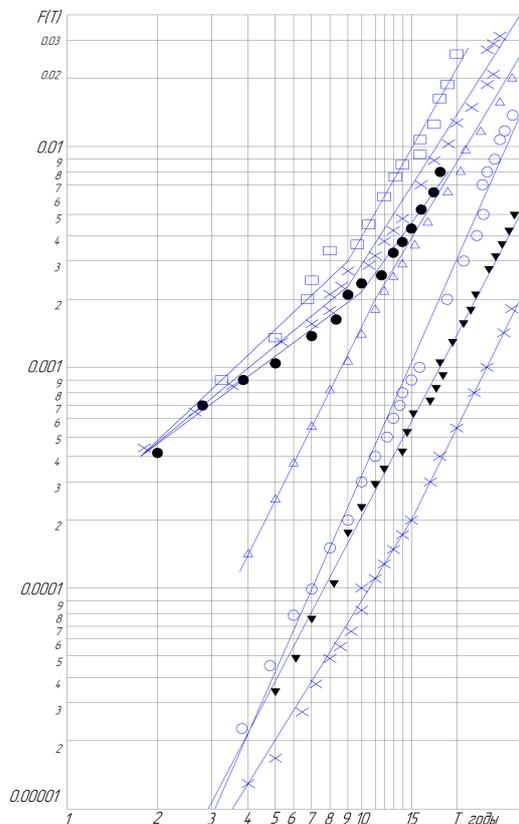


Рис. 3. Функция распределения наработки до отказа наддресорной балки по появлению усталостных трещин:

1, 2, 4 – соответственно в зонах 7, 4, 5; 3 – суммарная в зонах 1 к 4; 5 – суммарная в зонах 6, 9 и 2; 6 – суммарная в зонах 3, 5 и 10

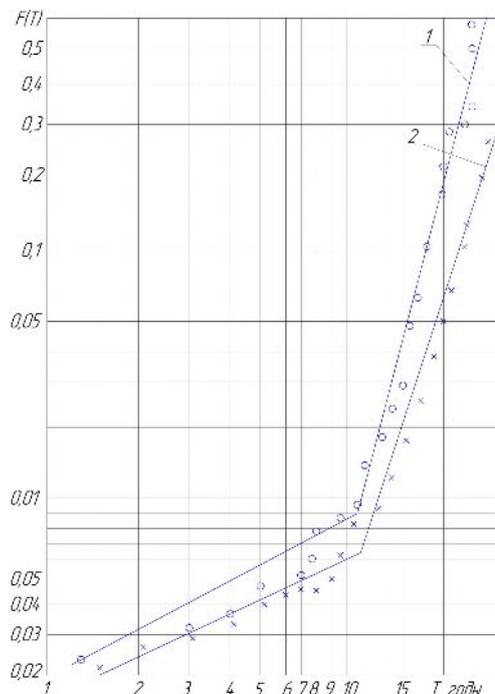


Рис. 4. Функция распределения наработки до отказа наддресорной балки по появлению усталостных трещин:

1 – в тележках под полувагонами;
2 – в тележках под всеми типами вагонов

Выход из строя боковых рам значительно меньше, чем наддресорных балок: он составляет 0,45 % за 10 лет и 6 % за 30 лет эксплуатации (см. рис. 2), но значительная часть этих отказов приходится на долю отказов, угрожающих безопасности движения (0,8 и 4 % соответственно для 10 и 80 лет эксплуатации).

Выводы. Повышенная осевая нагрузка, прежде всего, сказывается на эксплуатации тележек под полувагонами, поскольку в последних наиболее полно из всех типов вагонов используется грузоподъемность. Хотя тележки грузовых вагонов и обезличены, на практике тележка, поступающая в деповской ремонт с полувагоном, зачастую эксплуатировалась с ним достаточно долго, если не весь срок службы. Поэтому были построены функции распределения наработки на отказ наддресорной балки тележек полувагонов по данным обследования 2008 г. при поступлении их в деповской ремонт (рис. 4). Как и следовало ожидать, вероятность отказа вследствие появления усталостных трещин в литых деталях тележек полувагонов выше вероятности таких отказов, усредненной для всех типов вагонов.

Список литературы

1. Комиссаров А.Ф. Анализ отказов боковых рам тележек грузовых вагонов // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 1(17). – С. 65-68.
2. Северинова Т.П. Оценка надежности литых деталей тележек грузовых вагонов по данным эксплуатации // Вестник ВНИИЖТ. – 2005. – № 8. – С. 34-37.
3. Надежность в технике. Система сбора и обработки информации. Методы оценки показателей надежности в случае многократно усеченных выборок: Методические рекомендации /Госстандарт, ВНИИ МАШ. – М., 2001. – 101 с.