УДК 625.2.011.1

Нагруженность литых несущих конструкций трехэлементной тележки 18-100 при наличии дефектов на поверхности катания колес

О. Г. КРАСНОВ, Г. С. НОЗДРАЧЕВ, А. С. ГАСЮК

Открытое акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (ОАО «ВНИКТИ»), Коломна, 140402, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментальных исследований по нагруженности боковых рам и надрессорной балки трехэлементной тележки 18-100 при наличии на поверхности катания дефектов в виде ползунов и неравномерного проката. Установлено, что при наличии на поверхности катания ползунов глубиной более 3 мм в зоне *R*55 буксового проема, расположенного наиболее близко к колесу с дефектом, возникают напряжения, превышающие предел выносливости для боковой рамы σ_{-1} = 45 МПа. Рекомендовано при отцепке вагонов с ползунами более 3 мм проводить дефектоскопию боковых рам тележек методами неразрушающего контроля.

Ключевые слова: тележка; боковая рама; надрессорная балка; ползун; неравномерный прокат; нагруженность

Актуальность проблемы. Наличие на поверхности колес подвижного состава дефектов в виде ползунов, наваров, неравномерного проката приводит к появлению сил инерции неподрессоренных масс, которые в отдельных случаях могут превышать в 2 – 3 раза и более силы статического воздействия колеса на рельс [1, 2, 3].

При наличии таких дефектов при качении колес по рельсам возникают повторяющиеся ударные нагрузки большой интенсивности, воздействие которых усугубляется ввиду высокой жесткости контактирующих поверхностей. Наличие сил инерции такого уровня приводит к интенсивному расстройству пути, воздействует на элементы ходовых частей вагонов, снижая их надежность, ускоряет процесс развития дефектов.

В ПТЭ и ряде других нормативных документов [4, 5] установлены размерные критерии, а в ГОСТ Р 55050 «Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний» регламентированы силовые критерии, ограничивающие эксплуатацию подвижного состава с дефектами более нормированного размера. Вместе с тем до выявления в условиях ПТО вагонов с колесами, имеющими дефекты на поверхности катания с размерами более нормируемых, отмечены случаи их эксплуатации со сверхнормативными размерами дефектов. Ниже рассмотрены случаи нагруженности литых несущих конструкций тележки 18-100 при наличии дефектов на поверхности катания, в том числе и сверхнормативных размеров.

Рост изломов боковых рам грузовых вагонов с тележками модели 18-100 определил значительное количество работ, направленных на установление причин нарушения условий безопасной эксплуатации литых деталей тележек грузовых вагонов и разработку мероприятий по повышению их надежности [6, 7, 8].

По данным ВНИИЖТ, поломки боковых рам тележки модели 18-100 от вертикальной нагрузки происходят в основном по радиусу *R*55 сопряжения верхнего и наклонного поясов рамы по внутреннему углу буксового проема [6, 7, 9]. В надрессорных балках усталостные трещины в эксплуатации возникают с вероятностью 0,0046 [8]. Они охватывают 11 зон, но из них только трещины по нижнему поясу угрожают безопасности движения, так как их развитие приводит к разрушению балок с тяжелыми последствиями. Доля их в общем объеме трещин составляет примерно 20% [8, 10].

Таким образом, для ходовых частей вагонов дополнительным источником динамических воздействий могут являться дефекты на поверхности катания колес в виде ползунов, выщербин, наваров, неравномерного проката, которые оказывают воздействие при каждом обороте колеса, что может приводить к накоплению повреждаемости в элементах ходовых частей вагонов.

Условия проведения испытаний. Для получения качественной и количественной картины нагруженности боковых рам и надрессорных балок грузовых вагонов при наличии дефектов на поверхности катания колес проведены исследования по оценке уровней напряжений в рессорном и буксовом проемах боковых рам и надрессорной балке трехэлементной тележки 18-100 при наличии дефектов на поверхности катания колес.

Испытания выполнены на вагоне-цистерне, на одной из тележек которой устанавливалась колесная пара с дефектом на одном колесе в виде ползуна или неравномерного проката.

Перед испытаниями обе тележки опытного вагона-цистерны оборудовались тензорезисторами. Схема

E-mail: krasnovog@mail.ru (О. Г. Краснов)

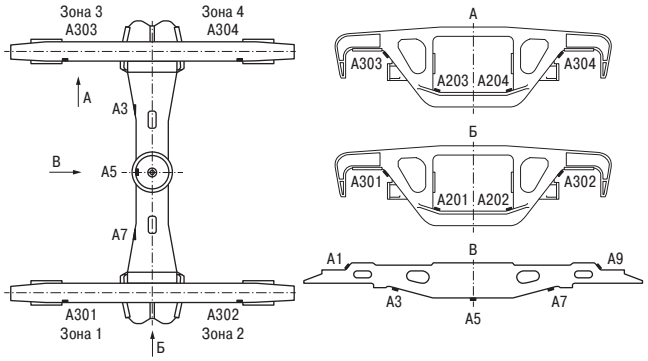

Рис. 1. Схема размещения тензорезисторов на боковых рамах и надрессорной балке тележки модели 18-100 (тележка А)
Fig. 1. Layout of the strain gauges on the side frames and bolster bogie model 18-100 (bogie A)

размещения тензорезисторов показана на рис. 1. На опытной тележке А производилась замена передней колесной пары без дефектов на колесную пару с дефектом на поверхности катания колес. Вторая тележка Б использовалась как эталон с колесами без дефектов.

При первом варианте испытаний поочередно подкатывались колесные пары с ползунами глубиной 1 и 3 мм. Колесо с ползуном располагалось в зоне 3 боковой рамы тележки (точка А303), напряжения регистрировались во всех четырех буксовых проемах — соответственно зоны 1, 2, 3, 4 (см. рис. 1).

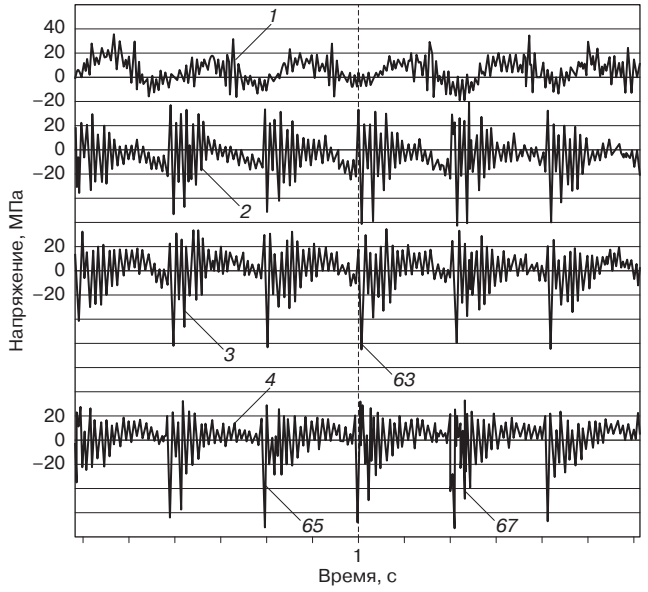

Рис. 2. Характер изменения напряжений в буксовых проемах боковых рам тележек при движении в прямой груженого грузового вагона со скоростью 50 км/ч (ползун $h = 3$ мм):
1 — напряжение в эталонной тележке т. Б303; *2* — напряжение в опытной тележке т. А301; *3* — напряжение в опытной тележке т. А302; *4* — напряжение в опытной тележке т. А303
Fig. 2. The nature of stress changes in axle openings of side frames when driving loaded freight wagon through straight section at speed of 50 km/h (slider $h = 3$ mm):
1 — stress in the reference bogie t. B303; *2* — stress in the test bogie t. A301; *3* — stress in the test bogie t. A302; *4* — stress in the test bogie t. A303

Для испытаний был сформирован опытный поезд, включающий вагон-цистерну с опытной и эталонной тележками, вагон-лабораторию и две секции тепловоза 2ТЭ116; каждая из секций расположена с обеих сторон опытного поезда для возможности движения передним и задним ходом.

Опытные поездки выполнялись в зимнее время на участке Голутвин — Озеры Московской железной дороги. Верхнее строение пути включало: звеньевой путь, рельсы Р65, шпалы деревянные и железобетонные, балласт щебеночный; оценка состояния пути в период испытаний: «отлично» — 50%, «хорошо» — 40%, «удовлетворительно» — 10%. Поездки выполнялись при движении по прямому участку, в кривой радиусом 600 м, по стрелочному переводу на боковое направление, в прямом и обратном направлениях, со скоростями от 30 до 100 км/ч. В процессе испытаний измерялись динамические напряжения, возникающие в исследуемых несущих элементах тележек.

Результаты испытаний. В результате проведенных ходовых испытаний груженого и порожнего вагона – цистерны с колесами, имеющими дефекты на поверхности катания, определено влияние ползунов и неравномерного проката, их геометрических параметров, скорости движения на уровни напряжений в наиболее нагруженных зонах боковых рам и надрессорной балки тележки 18-100.

Анализ опытных данных показал: при наличии ползуна глубиной до 1 мм амплитуды напряжений в боковой раме тележки А при движении по прямому участку, в кривой радиусом 600 м, по стрелочным переводам на боковой путь практически не отличаются от амплитудных значений напряжений в тележке Б (эталонной); при скоростях движения в диапазоне от 40 до 70 км/ч — возрастают на 10 – 15%; при скоростях 80 км/ч и выше — совпадают с напряжениями в боковых рамах тележки-эталона.

Напряжения в надрессорной балке тележки А по сравнению с аналогичными напряжениями на тележке-эталоне практически не отличаются.

При установке под вагон колесной пары с ползуном глубиной 3 мм напряжения в боковых рамах тележки А резко возрастают, при скоростях 40 – 70 км/ч — до 50 – 65 МПа. На рис. 2 представлены осциллограммы напряжений в зонах углов буксовых проемов на эталонной (точка Б303) и опытной тележках в зоне 1 (точка А301), зоне 2 (точка А302), зоне 3 (точка А303). На осциллограммах в буксовых проемах боковых рам тележки А с ползуном 3 мм четко выделяются всплески напряжений, которые превышают почти в два раза аналогичные напряжения в тележке-эталоне. Указанные всплески — кратковременного действия (длительность импульсов примерно 0,005 – 0,01 с) и повторяются с частотой вращения колесной пары. Последующее затухание всплесков сопровождается двумя-тремя

повышениями напряжений. Процесс изменения напряжений состоит из низкочастотного тренда, характерного для колебаний надрессорных масс и высокочастотных флуктуаций, определяемых ударным взаимодействием колеса с ползуном и рельсами железнодорожного пути. Высокочастотный колебательный процесс характеризуется 2 – 5 импульсами изменения напряжений с величиной максимальных значений амплитуд до 60 – 65 МПа. Следует отметить, что наиболее высокий уровень напряжений наблюдался в буксовом проеме (зона 3), расположенном наиболее близко к колесу с дефектом. После импульсного возбуждения колебательного процесса, инициируемого ударным взаимодействием ползуна с рельсом, колебательный процесс затухал до следующего цикла взаимодействия после одного оборота колеса.

Интервал между импульсом изменения напряжения составлял ±0,02 с при скорости движения опытного поезда 50 км/ч.

Характерным было повышение динамических напряжений в боковых рамах эталонной тележки Б в момент, близкий к ударному взаимодействию колеса с рельсом, которые были в 2 – 3 раза ниже, чем на опытной тележке, и наблюдались со смещением 0,05 с за счет временной задержки передачи ударного силового импульса от зоны взаимодействия колеса с дефектом к несущим конструкциям эталонной тележки Б.

Характер изменения напряжений в надрессорных балках тележек А и Б показан на рис. 3. Для надрессорной балки опытной тележки характер изменения напряжений аналогичен процессу в боковых рамах и включает низкочастотный тренд, определяемый

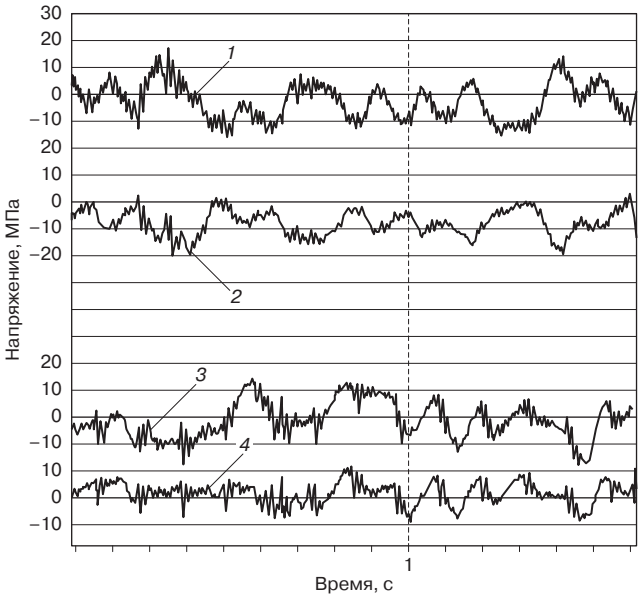

Рис. 3. Характер изменения напряжений в надрессорных балках тележек при движении в прямой со скоростью 50 км/ч:
1 — напряжение в точке Б1 эталонной тележки; *2* — напряжение в точке Б2 эталонной тележки; *3* — напряжение в точке А1 опытной тележки с ползуном $h = 3$ мм; *4* — напряжение в точке А5 опытной тележки с ползуном $h = 3$ мм

Fig. 3. Nature of stress changes in the bolster of bogie when driving on a straight section at a speed of 50 km/h:
1 — stress at the point B1 of the reference bogie; *2* — stress at the point B2 of the reference bogie; *3* — stress at a point A1 of test bogie with the slider $h = 3$ mm; *4* — stress at point A of test bogie 5 with the slider $h = 3$ mm

колебаниями надрессорных масс вагона и высокочастотными колебаниями в момент ударного взаимодействия колеса с рельсом, при этом амплитуда

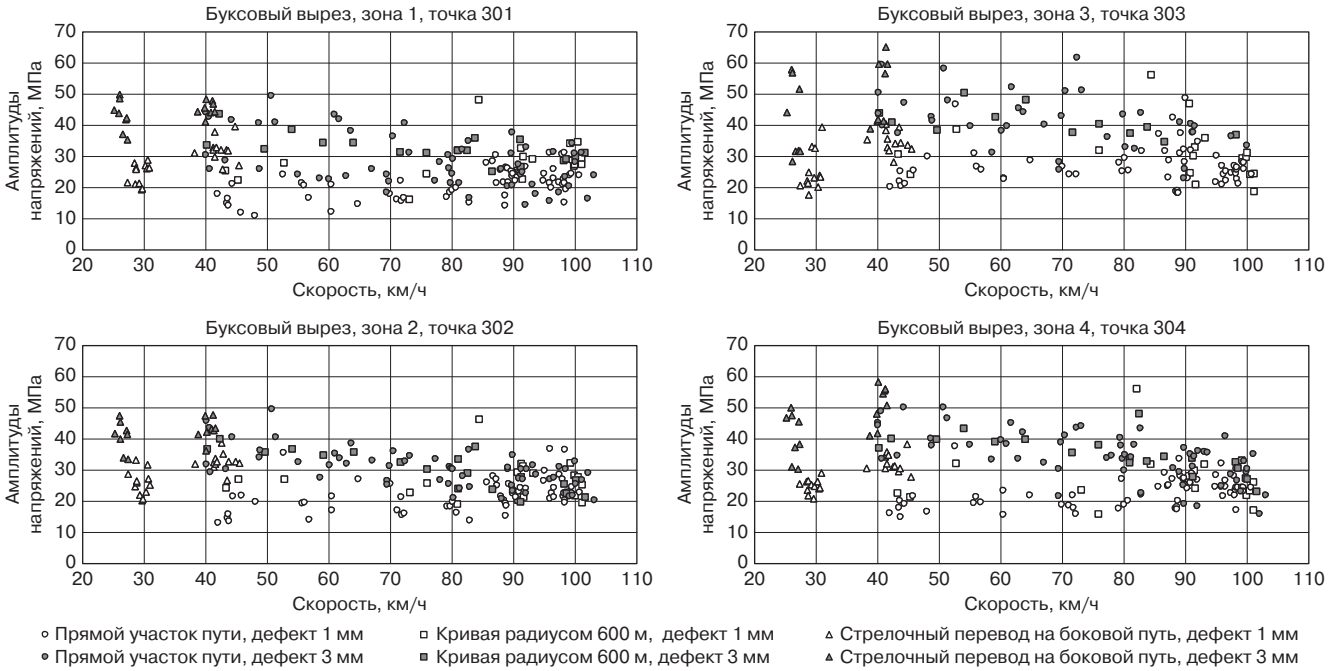

Рис. 4. Точечные диаграммы амплитуд напряжений в буксовых проемах боковых рам опытной тележки, ползун $h = 3$ мм

Fig. 4. Scatter charts of stress amplitudes in axle box openings of side frames of test bogie, the slider $h = 3$ mm

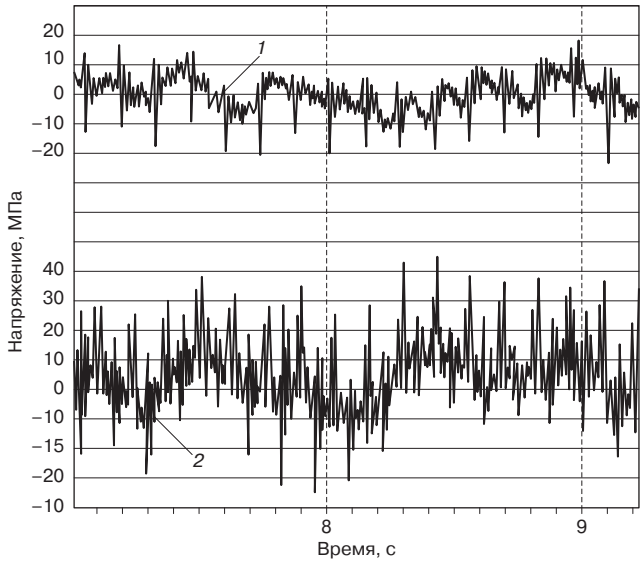

Рис. 5. Характер изменения напряжений в боковых рамах тележек А и Б при колесных парах с неравномерным прокатом (НП). Скорость движения 80 км/ч по прямому участку пути:
1 — напряжения в опытной тележке в точке А301 при НП — h = 2 мм; *2* — напряжения в эталонной тележке в точке Б301 при НП — h = 4 мм

Fig. 5. Nature of stress changes in the side frames of bogies A and B with wheelsets with an uneven wear (UW). The speed is 80 km/h on the straight section of the track:
1 — stress at point A301 in the test bogie with UW — h = 2 mm;
2 — stress at point B301 in the reference bogie with UW — h = 4 mm

высокочастотных колебаний динамических напряжений не превышает 20 – 26 МПа. На надрессорной балке эталонной тележки амплитуды напряжений от ударного взаимодействия колес и рельсов не превышали 8 – 10 МПа, причем их возбуждение смещено по отношению к основному ударному сигналу на величину до 0,05 – 0,07 с.

В надрессорной балке тележки ползун глубиной до 1 мм заметного изменения напряжений не вызывает, а ползун глубиной 3 мм приводит к увеличению амплитуд напряжений на 15 – 20%.

Для подробного анализа уровней напряжений в буксовых проемах боковых рам от скорости движения построены точечные диаграммы амплитуд напряжений для зон 1, 2, 3, 4 опытной тележки (рис. 4).

При движении в кривой радиусом 600 м и по прямому участку пути наиболее высокие уровни амплитуд напряжений зарегистрированы при скоростях движения 40 – 70 км/ч и составляли 50 – 60 МПа.

При дальнейшем увеличении скорости до 100 км/ч уровни амплитуд напряжений снижались до 35 – 45 МПа в зоне 3. При скорости 80 км/ч имели место отдельные повышения амплитуд напряжений до 50 – 55 МПа при движении обратным ходом.

После завершения цикла опытов с ползунами исследование нагруженности боковых рам и надрессорных балок продолжилось при использовании двух колесных пар с дефектами в виде неравномерного проката. Для этого на двух колесных парах был сформирован неравномерный прокат с характерным профилем. Профиль определялся из выражения

$$h = 1 - \cos \omega t,$$

где h — глубина проката; $\cos \omega t$ — ордината неровности в определенном месте поверхности катания на длине L; L — длина неравномерного проката.

На одной колесной паре на одном колесе формировался неравномерный прокат с максимальной глубиной 2 мм, на другой колесной паре — 4 мм. Колесные пары с дефектами устанавливались вместо первых колесных пар в тележках А и Б так, что при движении прямым и обратным ходом одна из колесных пар с неравномерным прокатом являлась набегающей.

При этом были исключены некоторые измерительные схемы — оставлены измерительные точки на боковых рамах и надрессорных балках, в которых были зарегистрированы наиболее высокие напряжения.

Характер изменения напряжений в наиболее нагруженных зонах боковых рам тележек А и Б с колесами, имеющими неравномерный прокат соответственно глубиной 2 и 4 мм, показан на рис. 5.

Из осциллограмм видно, что при наличии дефектов в виде неравномерного проката на поверхности катания колеса наблюдается импульсное усиление напряжений в буксовых проемах боковых рам. Как и при ползунах, наиболее нагруженным является буксовый проем, расположенный ближе к колесу с дефектом (точки А301, Б301). При скорости движения 80 км/ч величины амплитуды напряжений в буксовом проеме достигали 30 – 38 МПа при h = 4 мм и 20 – 28 МПа при h = 2 мм. Повышение напряжений наблюдалось с каждым оборотом колеса. При h = 2 мм после пикового импульса колебательный процесс быстро затухал, уже второй импульс имел значение ниже в 2,5 – 3 раза основного всплеска. При h = 4 мм колебательный процесс также интенсивно затухал, при этом вторичные импульсы в 2 – 3 раза ниже основных двух сохранялись до очередного взаимодействия дефекта с рельсом.

После завершения этапа испытаний колес с неравномерным прокатом при груженом состоянии цистерны были проведены испытания порожней цистерны.

Для подробного анализа уровней напряжений при колесах с неравномерным прокатом от скорости движения построены точечные диаграммы амплитуд напряжений для зоны 3 опытной и эталонной тележек (рис. 6).

При всех режимах движения для груженой и порожней цистерны при величинах неравномерного проката до 4 мм уровни амплитуд напряжений в буксовых проемах боковых рам увеличивались с повышением скорости движения, но не превышали 40 МПа.

Амплитуды напряжений в буксовом проеме смежной боковой рамы (точки Б301, Б302) имели существенно более низкие значения, которые при прокате 4 мм до скорости движения 70 км/ч не превышали 12 – 15 МПа,

а при скорости 80 км/ч составили 15 – 18 МПа. При величине проката 2 мм в буксовом проеме (точка А301) уровни амплитуд напряжений изменились в пределах 16 – 22 МПа при скоростях 50 – 70 км/ч, повышались до 20 – 28 МПа при увеличении скорости до 80 км/ч.

Для порожней цистерны наиболее высокие напряжения также зафиксированы в буксовом проеме, расположенном наиболее близко с колесом, имеющим прокат 4 мм (см. рис. 6). Уровни динамических напряжений имели разброс в пределах 12 – 16 МПа при скоростях 30 – 60 км/ч. При этом наиболее высокий уровень наблюдался при движении опытного поезда передним ходом, когда колесная пара с дефектом была набегающей. При скорости 80 км/ч амплитуды динамических напряжений в буксовом проеме возросли до 24 – 28 МПа.

В элементах надрессорных балок при ударном взаимодействии колес с неравномерным прокатом также просматривались характерные импульсные изменения напряжений по всей ее длине в точках А1 – А9. Динамический процесс изменения напряжений аналогичен по форме в боковых рамах и состоит из низкочастотного тренда, определяемого колебаниями надрессорных масс, и импульсных колебаний, характерных для моментов взаимодействия колеса с неравномерным прокатом и рельса. Пиковые величины амплитуд напряжений надрессорной балки тележки А, где установлено колесо с прокатом 2 мм, составляет 19 – 23 МПа, при 4 мм амплитуды напряжений были выше и достигали 22 – 26 МПа. Установленные уровни амплитуд напряжений в надрессорных балках ниже значений их предела выносливости, который, согласно [10, 11], для современных балок тележки модели 18-100, изготовленных из конструкционной легированной стали марки 20ГЛ, при вероятности неразрушения 0,95 составляет по напряжениям (амплитудным нагрузкам) $(\sigma_{aN})_{0,95}$ = 30 МПа (P_a(0,95) = 165,3 кН), и не оказывают практического влияния на их прочность.

Анализ опытных данных. Проведенные исследования нагруженности литых несущих конструкций трехэлементной тележки 18-100 показали, что дефекты на поверхности катания колес являются мощным источником силового нагружения литых несущих конструкций тележек грузовых вагонов. В таблице представлены максимальные значения амплитуд напряжений,

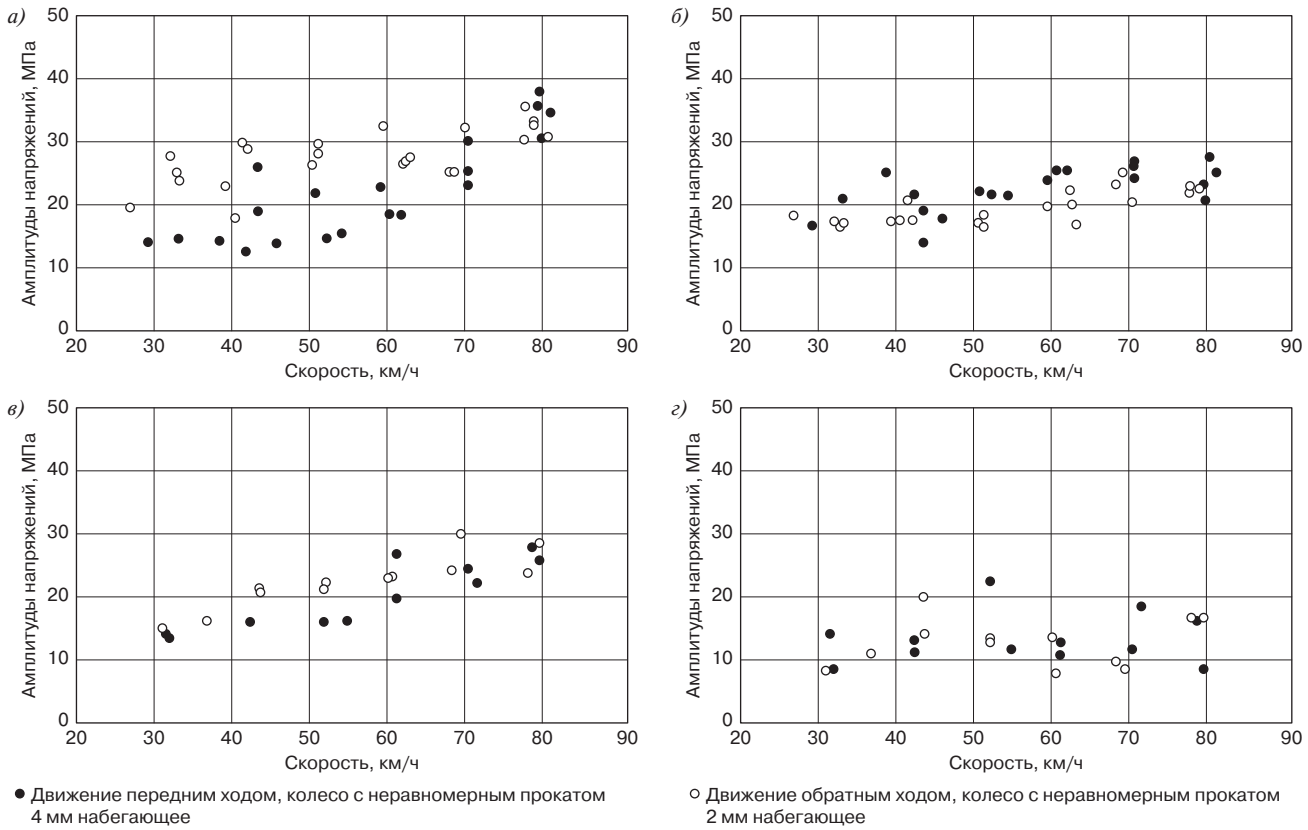

Рис. 6. Точечные диаграммы амплитуд напряжений в буксовых проемах боковых рам при колесной паре с неравномерным прокатом: *а* — точка Б301 боковой рамы при неравномерном прокате 4 мм (цистерна груженая); *б* — точка А301 боковой рамы при неравномерном прокате 2 мм (цистерна груженая); *в* — точка Б301 боковой рамы при неравномерном прокате 4 мм (цистерна порожняя); *г* — точка А301 боковой рамы при неравномерном прокате 2 мм (цистерна порожняя)

Рис. 6. Scatter charts of stress amplitudes in axle box openings of side frames with wheelsets with an uneven wear: *а* — point B301 of the side frame with irregular wear of 4 mm (loaded tank); *б* — point A 301 of the side frame with uneven wear 2 mm (loaded tank); *в* — point B301 of the side frame with irregular wear 4 mm (empty tank); *г* — point A 301 of the side frame with uneven wear 2 mm (empty tank)

Максимальные амплитудные значения напряжений в литых несущих конструкциях трехэлементной тележки 18-100 при наличии дефектов на поверхности катания колесных пар
The maximum amplitude values of stresses in the cast supporting structures of three-piece bogie 18-100 in the presence of defects on the rolling surface of wheelsets

№ п/п	Типы дефектов, их геометрические параметры h, мм, скорость движения v, км/ч	Профиль пути	Амплитуды максимальных динамических напряжений, МПа			
			Боковая рама		Надрессорная балка	
			Буксовый проем	Рессорный проем	Среднее сечение нижнего пояса	Нижний пояс у карманов под клинья
1	Ползун $h = 1$ мм, $v = 30 \div 40$ км/ч, цистерна груженая	Прямая	4...6	4...6	4...5	4...6
		Стрелочный перевод 1/11*	10...12	8...10	5...6	4...8
2	Ползун $h = 3$ мм, $v = 30 \div 40$ км/ч цистерна груженая	Прямая	50...60	24...28	20...23	18...21
		Стрелочный перевод 1/11*	60...65	26...32	20...26	20...25
3	Неравномерный прокат $h = 2$ мм, $v = 80$ км/ч, цистерна груженая	Прямая	20...28	10...16	19...23	16...18
4	Неравномерный прокат $h = 4$ мм, $v = 80$ км/ч, цистерна груженая		30...38	14...22	22...26	18...22
5	Неравномерный прокат $h = 2$ мм, $v = 80$ км/ч, цистерна порожняя		14...20	10...16	8...12	8...10
6	Неравномерный прокат $h = 4$ мм, $v = 80$ км/ч, цистерна порожняя		24...28	16...18	10...16	9...12

*Движение на боковой путь.

зарегистрированных в боковых рамах и надрессорной балке тележки 18-100 грузового вагона при наличии дефектов на поверхности катания колес.

Наиболее высокие уровни напряжений наблюдались при наличии на поверхности катания ползунов глубиной более 3 мм в буксовом проеме, расположенном ближе к колесу с дефектами. Максимальные значения амплитуд напряжений имели место при движении по стрелочному переводу марки 1/11 на боковой путь при скоростях движения 30 – 40 км/ч и достигали 60 – 65 МПа. При движении в кривой радиусом 600 м и по прямому участку пути наиболее высокие уровни амплитуд напряжений зарегистрированы при скоростях движения 40 – 70 км/ч и составляли 50 – 60 МПа. При дальнейшем увеличении скорости до 100 км/ч уровни амплитуд напряжений снижались до 35 – 45 МПа.

Во всех случаях напряжения в буксовых проемах опытной тележки при движении вагона передним ходом выше приблизительно в 1,5 – 2 раза, когда колесо с ползуном было набегающим. При скорости 80 км/ч имели место отдельные повышения амплитуд напряжений до 50 – 55 МПа при движении обратным ходом.

При всех режимах движения для груженой и порожней цистерны при величинах неравномерного проката до 4 мм уровни амплитуд напряжений в буксовых проемах боковых рам увеличивались с повышением скорости движения, но не превышали 40 МПа, что ниже, чем при воздействиях от ползунов глубиной более 3 мм, на 25 – 50%.

Процесс взаимодействия колес с неравномерным прокатом и железнодорожного пути инициировал два пика повышения напряжений в буксовых проемах боковой рамы со снижением их уровня в промежутке между пиками, что связано с динамическим характером изменения вертикальных сил от взаимодействия дефекта с рельсами. Увеличение неравномерного проката с 2 до 4 мм определяло рост напряжений, что связано с повышением сил взаимодействия дефектного колеса с рельсом. В буксовом проеме смежной боковой рамы амплитуды напряжений имели значения в 1,8 – 2,2 раза ниже, чем в буксовом проеме боковой рамы, расположенной рядом с колесом, имеющим дефект.

Для порожней цистерны наиболее высокие напряжения также зафиксированы в буксовом проеме, расположенном наиболее близко с колесом, имеющим дефект. При скорости порожней цистерны $v = 80$ км/ч, имеющей колесо с неравномерным прокатом 4 мм, амплитуды динамических напряжений в буксовом проеме достигали 24 – 28 МПа, что ниже в 1,25 – 1,4 раза, чем на груженой. При этом уровни статических нагрузок на колесо различались в 3,8 раза. Уровни динамических напряжений имели значительный разброс в пределах 12 – 16 МПа при скоростях 30 – 60 км/ч. При этом наиболее высокие уровни наблюдались при движении опытного поезда передним ходом, когда колесная пара с дефектом была набегающей.

Установленные уровни амплитуд напряжений в надрессорных балках ниже значений их предела выносливости и не оказывают практического влияния на их прочность.

В работах [9, 12, 13] определены уровни напряжений в наиболее нагруженных зонах боковых рам тележек 18-100. Согласно работе [9], средние напряжения цикла в зоне $R55$ от статической нагрузки брутто составляют $\sigma_m = 85$ МПа, предел выносливости боковой рамы в рассматриваемой зоне при вероятности неразрушения 0,95 $\sigma_{-1} = 45 \div 47{,}3$ МПа.

В работе [9] показано, что уровни напряжений в зоне *R*55 буксового и рессорного проемов боковой рамы тележки модели 18-100 от вертикальной нагрузки примерно одинаковы. При этом в условиях эксплуатации изломы происходят исключительно по *R*55, а при стендовых испытаниях, по данным ВНИИЖТ, — по радиусу рессорного проема. Авторы статьи объясняют это тем, что в эксплуатации в зоне *R*55 к напряжениям от вертикальной нагрузки добавляются напряжения от боковых сил, возникающих в процессе соударения и торможения при проведении маневровых работ на сортировочных горках.

В представленных исследованиях установлен дополнительный фактор, влияющий на ресурс боковых рам, — динамические напряжения, возникающие от дефектов на поверхности катания со сверхнормативными геометрическими параметрами. Несмотря на то что по [12] расчетный срок эксплуатации колес с ползунами принимается 15% общего, напряжения от ударных сил генерируются при каждом обороте колеса и приводят к быстрому накоплению повреждений в зоне *R*55 буксовых проемов, снижая ресурс боковых рам.

Для обеспечения сопротивления усталости боковых рам тележек 18-100 рекомендуется не допускать эксплуатацию грузовых вагонов с ползунами более 3 мм. При отцепке вагонов с ползунами более 3 мм необходимо проводить дефектоскопию боковых рам тележек методами неразрушающего контроля.

Заключение. Выполненные исследования нагруженности несущих конструкций трехэлементной тележки 18-100 показали:

• дефекты на поверхности катания в виде ползунов глубиной более 3 мм в зимних условиях эксплуатации являются мощным источником силового нагружения литых несущих конструкций тележек грузовых вагонов;

• при наличии на поверхности катания колес ползунов глубиной более 3 мм в зоне *R*55 буксового проема, расположенного наиболее близко к колесу с дефектом, возникают напряжения, превышающие предел выносливости для боковой рамы $\sigma_{-1} = 45$ МПа;

• остальные зоны боковых рам и надрессорных балок испытывают динамическое нагружение от ударного взаимодействия колеса с дефектом и рельса, однако уровни амплитуд напряжений в этих местах в 2 – 3 раза ниже и оказывают незначительное влияние на их прочность;

• колеса с неравномерным прокатом до 4 мм увеличивают уровни напряжений в буксовых проемах боковых рам с повышением скорости движения экипажа. При этом величины амплитуд напряжений не превышают 40 МПа, что ниже, чем при воздействиях от ползунов глубиной более 3 мм, на 25 – 50%;

• для обеспечения сопротивления усталости боковых рам тележек 18-100 эксплуатация грузовых вагонов с ползунами более 3 мм недопустима. При отцепке вагонов при обнаружении колес с ползунами более 3 мм необходимо проводить дефектоскопию боковых рам тележек методами неразрушающего контроля на предмет наличия трещин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрявцев Н. Н. Исследование динамики необрессоренных масс вагонов // Труды ВНИИЖТ. Вып. 97. М.: Транспорт, 1965. 168 с.

2. Кудрявцев Н. Н. Динамики движения колеса с ползуном // Вестник ВНИИЖТ. 1960. № 2. С. 30 – 34.

3. Вериго М. Ф., Коган А. Я. К вопросу о процессах взаимодействия необрессоренных масс и пути // Вестник ВНИИЖТ. 1969. № 6. С. 22 – 25.

4. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации: утв. приказом Минтранса России от 21 декабря 2010 г. № 286. 112 с.

5. ЦВ-944. Инструкция по осмотру, освидетельствованию, ремонту и формированию вагонных колесных пар. М.: Транспорт, 2008. 84 с.

6. Соколов А. М. О формировании комплексной программы научно-исследовательских работ по проблеме изломов боковых рам тележек грузовых вагонов // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2012. № 3. С. 3 – 11.

7. Кутянина М. Н., Рейхарт В. А. К оценке качества литых боковых рам // Вагоны и вагонное хозяйство. 2012. № 1. С. 25 – 29.

8. Сенько В. И., Пастухов И. Ф., Пастухов М. И. Итоги комплексной оценки остаточного ресурса литых деталей тележек грузовых вагонов // Вестник ГТТУ им. П. О. Сухого. 2006. № 1 – 2. С. 5 – 10.

9. Оганьян Э. С., Красюков Н. Ф. Условия безопасной эксплуатации литых деталей тележек грузовых вагонов // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2013. № 3. С. 13 – 20.

10. О несущей способности надрессорных балок тележек грузовых вагонов / В. И. Сенько [и др.] // Вестник ГТТУ им. П. О. Сухого. 2009. № 1. С. 16 – 20.

11. Методика испытаний на усталость. Надрессорые балки и боковые рамы литых двухосных тележек грузовых вагонов колеи 1520 мм / ОАО «ВНИИЖТ» — ОАО «НИИ вагоностроения». 2010. 14 с.

12. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М.: ГосНИИВ — ВНИИЖТ, 1996. 319 с.

13. Краснов О. Г., Ефименко А. В., Акашев М. Г. Влияние дефектов на поверхности катания колес на ресурс боковых рам грузовых вагонов // Вагоны и вагонное хозяйство. 2014. № 2. С. 45 – 48.

14. Вероятностное обоснование запасов усталостной прочности литых деталей тележек грузовых вагонов / Ю. Б. Камаев [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 1977. № 3. С. 26 – 29.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КРАСНОВ Олег Геннадьевич,
канд. техн. наук, заведующий отделом пути и специального подвижного состава, ОАО «ВНИКТИ»

НОЗДРАЧЕВ Геннадий Сергеевич,
заведующий лабораторией испытаний отдела пути и специального подвижного состава, ОАО «ВНИКТИ»

ГАСЮК Александр Сергеевич,
заведующий лабораторией рамных и корпусных конструкций отдела прочности, ОАО «ВНИКТИ»

Статья поступила в редакцию 29.01.2016 г., актуализирована 22.03.2016 г., принята к публикации 31.03.2016 г.

Loading of cast supporting structures of three-piece bogie 18-100 in the presence of defects on the surface of wheel rolling

O.G. KRASNOV, G.S. NOZDRACHEV, A.S. GASYUK

Joint Stock Company "Russian scientific research and technological institute of rolling stock" (JSC "VNIKTI"), Kolomna, Moscow Region, 140402, Russia

Abstract. Results of the loading study of support structures of bogies 18 – 100 with the presence of defects in the form of slides and uneven wheel wear on the rolling surface were shown. Research carried out by strain measurement. Strain gauges were installed in the area of spring and axle boxes openings of the side frames and bolster. Defects on the rolling surface formed at VNIKTI test site. Wheelset with defects rolls instead of the first wheelset in one of the bogies which was considered experimental. Stress levels are defined at values 1 and 3 mm for the sliders, 2 and 4 mm for uneven rolling. Trial runs were conducted during experimental train motion on direct track section, as well as on turnouts of 1/11 mark, when turning to a side track and in a curve of 600 m radius, at a speed range 30 to 100 km/h both forward and reverse.

Stress levels in the most loaded areas of the side frame and bolster were set experimentally. It was shown that defects with limit-exceeding geometric parameters are a huge source of force loading of axle box openings of the side frames. The remaining areas of side frames and bolsters experience additional loading during dynamic impact interaction with the wheel defects and the rail, but the stress levels at these locations is 2 – 3 times lower than in the zone adjacent to the defective wheel. It was found that for the fatigue resistance of the side frames exploitation of cars with slides more than 3 mm is not allowed. During uncoupling of cars, when wheel with slides more than 3 mm is detected, it needs to carry out flaw detection of side frames by NDT methods.

Keywords: bogie; side frame; bolster; slide; uneven wear; loading

REFERENCES

1. Kudryavtsev N.N. *Issledovanie dinamiki neobressorennykh mass vagonov* [Study of the dynamics of unsprung masses of cars]. Trudy VNIIZhT, vyp. 97. [Works of VNIIZhT (Railway Research Institute), is. 97]. Moscow, Transport Publ., 1965, 168 p.

2. Kudryavtsev N.N. *Dinamiki dvizheniya kolesa s polzunom* [Dynamics of wheel motion with the slider]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 1960, no. 2, pp. 30 – 34.

3. Verigo M.F., Kogan A.Ya. *K voprosu o protsessakh vzaimodeystviya neobressorennykh mass i puti* [On the question of the processes of interaction between the unsprung mass and the track]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 1969, no. 6, pp. 22 – 23.

4. *Rules of technical operation of railways of Russian Federation*. Approved by the order of Russian Ministry of Transport on December 21, 2010, № 286, 112p. (in Russ.).

5. *TsV-944. Instructions for inspection, examination, repair and formation of wagon wheelsets.* Moscow, Transport Publ., 2008, 84 p. (in Russ.).

6. Sokolov A.M. *O formirovanii kompleksnoy programmy nauchno-issledovatel'skikh rabot po probleme izlomov bokovykh ram telezhek gruzovykh vagonov* [On the formation of a comprehensive program of scientific research on the issue of lateral fractures of bogie frames of freight cars]. Byulleten' ob'edinennogo uchenogo soveta OAO RZhD [Bulletin of Joint Scientific Council of JSC "Russian Railways"], 2012, no. 3, pp.3 – 11.

7. Kutyanina M.N., Reykhart V.A. *K otsenke kachestva litykh bokovykh ram* [On assessing the quality of cast side frames]. Vagony i vagonnoe khozyaystvo [Cars and car facility], 2012, no. 1, pp. 25 – 29.

8. Sen'ko V.I., Pastukhov I.F., Pastukhov M.I. Itogi kompleksnoy otsenki ostatochnogo resursa litykh detaley telezhek gruzovykh vagonov [Results of a comprehensive assessment of residual resource of cast parts of freight cars bogies]. Vestnik GTTU im. Sukhogo [Vestnik of Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoy], 2006, no. 1 – 2, pp. 3 – 10.

9. Oganyan E.S., Krasyukov N.F. *Usloviya bezopasnoy ekspluatatsii litykh detaley telezhek gruzovykh vagonov* [Terms and conditions of safe operation of cast parts of freight car bogies]. Byulleten' ob'edinennogo uchenogo soveta OAO RZhD [Bulletin of Joint Scientific Council of JSC "Russian Railways"], 2013, no. 3, pp.13 – 20.

10. Sen'ko V.I., Pastukhov I.F., Makeev S.V., Pastukhov M.I. *O nesushchey sposobnosti nadressornykh balok telezhek gruzovykh vagonov* [On support capacity of bolsters of freight car bogies]. Vestnik GTTU im. Sukhogo [Vestnik of Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoy], 2009, no.1, pp.16 – 20.

11. *Methods of fatigue testing. Bogie bolsters and side frames of cast two-axle bogies of freight cars for 1520 mm gauge railways.* JSC "VNIIZhT" — JSC "NII vagonostroenia", 2010, 14 p. (in Russ.).

12. *Norms of calculation and design of wagons for Ministry of Railways 1520 mm gauge railways. Not self-propelled.* Moscow, GosNIIV-"VNIIZhT", 1996, 319 p. (in Russ.).

13. Krasnov O.G., Efimenko A.V., Akashev M.G. *Vliyanie defektov na poverkhnosti kataniya koles na resurs bokovykh ram gruzovykh vagonov* [Influence of defects on the rolling surface of wheel on the resource of side frames of freight cars]. Vagony i vagonnoe khozyaystvo [Cars and car facility], 2014, no. 2, pp. 45 – 48.

14. Kamayev O.B., Survilo A.B., Prikhod'ko A. P., Shakhov V.I. *Veroyatnostnoe obosnovanie zapasov ustalostnoy prochnosti litykh detaley telezhek gruzovykh vagonov* [Probabilistic justification reserves of fatigue strength of cast parts of freight car bogies]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 1977, no. 3, pp. 26 – 29.

ABOUT THE AUTHORS

KRASNOV Oleg Gennad'yevich,
Cand. Sci. (Eng.), Head of Track and Special Rolling Stock Department, JSK VNIKTI

NOZDRACHYEV Gennadiy Sergeyevich,
Head of Testing Laboratory of Track and Special Rolling Stock Department, JSK VNIKTI

GASYUK Aleksandr Sergeyevich,
Head of Laboratory "Frame and Body Structures" of Department "Strength", JSK VNIKTI

Received 29.01.2016
Revised 22.03.2016
Accepted 31.03.2016

E-mail: krasnovog@mail.ru (O.G. Krasnov)