

УДК 629.4.027.018

Канд. техн. наук В. С. ПЛОТКИН, инженеры А. М. КРАСНОБАЕВ, Т. Е. КОНЬКОВА,
О. А. КРАСНОБАЕВ

К вопросу совершенствования методик оценки прочности конструкций грузовых вагонов и их элементов при проектировании и испытаниях и уточнению некоторых расчетных нагрузок

Аннотация. При обосновании выбора марок сталей для изготовления литых деталей, являющихся сменными элементами вагонов, установления назначенных сроков службы и межремонтных пробегов вагонов необходимо учитывать жесткие климатические условия эксплуатации на сети дорог Российской Федерации.

Показана целесообразность исследования образцов металла, вырезанных из зон крепления тонкостенных котлов эксплуатируемых вагонов-цистерн к рамам вагонов со сроком службы 10 и 20 лет, для выявления возможной потери пластичности материала котлов за время эксплуатации.

Оценку прочности сварных элементов вагонов с целью подтверждения соответствия следует выполнять статическими испытаниями и испытаниями на соударение с оценкой по I и III режимам действующих норм для расчета и проектирования вагонов железных дорог.

Рассмотрены вопросы дальнейшего совершенствования нормативов расчетов и испытаний на прочность литых деталей и сварных конструкций вагонов.

Ключевые слова: железнодорожные грузовые вагоны; уточнение некоторых расчетных нагрузок; напряженно-деформированное состояние; расчеты и испытания; подтверждение соответствия продукции

Настоящая статья написана на основе и в продолжение работ [1, 2], посвященных оценке прочности литых деталей тележек, с целью распространить результаты этих работ на оценку прочности вагонных конструкций, изготовленных из проката, а также уточнить некоторые расчетные нагрузки и вопросы оценки прочности литых деталей грузовых вагонов. В работе [1], в частности, было показано, что:

1. Экспериментальные значения модуля упругости E для сталей, применяемых для изготовления крупного и среднего литья грузовых вагонов (детали тележек и автосцепного устройства), варьируются, главным образом, в пределах 190...290 ГПа с модальным значением 260 ГПа, что превышает нормативное значение модуля упругости E для литой стали, равное 180 ГПа [3]. Это приводит к существенному занижению напряжений, определяемых в литых деталях при тензометрировании.

2. Целесообразно принять в [3] расчетные значения модулей упругости одинаковыми для прокатных и литых сталей и равными 210 ГПа.

В работе [2] показано, что:

1. Определение напряжений с помощью тензореосторов, наклеиваемых на испытываемую деталь, вносит недопустимую погрешность в результаты испытаний из-за возможной существенной разницы фактических и нормативных значений модулей упругости E материала исследуемой детали. Поэтому экспериментальную оценку соответствия следует проводить при испытаниях литых деталей на усталость по силам, а не напряжениям.

2. Дан ряд рекомендаций по существенной доработке действующих методик испытаний литых деталей на усталость трехэлементных тележек грузовых вагонов колеи 1520 мм [4] с частичным учетом опыта испытаний таких деталей, проводимых Ассоциацией американских железных дорог [5–6]. Методику статических испытаний этих деталей [7] для оценки соответствия рекомендовано отменить.

3. Приближенную оценку прочности в соответствии с требованиями «Норм...» [3] на этапе проектирования следует сохранить, но не использовать эти результаты для целей подтверждения соответствия [8].

Как показано в работе [1], фактическое значение модуля упругости литых сталей, применяемых для несущих деталей тележек грузовых вагонов, может превышать расчетное (минимальное) в 1,5 раза, а среднее значение — в 1,44 раза. Во столько же раз напряжения, определяемые по закону Гука $\sigma = E\varepsilon$, будут занижены по сравнению с фактическими. По ГОСТР 51282–99 [9] при назначении допускаемого коэффициента запаса статической прочности также учитывают коэффициент дополнительного запаса к разрушающей нагрузке (n_2), зависящей от соотношения $\frac{\sigma_T}{\sigma_B}$ (таблица).

На рис. 1 приведено распределение $\frac{\sigma_T}{\sigma_B}$, построенное на основе результатов вышеупомянутых [1] испытаний 291 стандартного цилиндрического образца, из которых следует, что для литых деталей тележек с вероятностью 0,9 следует принять коэффициент n_2 не менее 1,20.

Отметим, что из 291 образца, вырезанного из боковых рам, 240 образцов (т. е. 82,5%) взяты из боковых

рам, которые были изъяты из-за разрушения, находясь в эксплуатации не более 7 лет. Дополнительно были построены распределения $\frac{\sigma_T}{\sigma_B}$ для 164 образцов (без дефектов) и 127 (с дефектами), которые представлены на рис. 2. Можно видеть, что подавляющее большинство образцов без дефектов материала тележек (80%) имели отношение $\frac{\sigma_T}{\sigma_B}$ около 0,7, что соответствует $n_2 = 1,05$, а среди дефектных образцов более 15% имели отношение $\frac{\sigma_T}{\sigma_B}$ не менее 0,9, что соответствует $n_2 = 1,2$. Таким образом, наличие даже незначительных дефектов, присущих литым деталям, приводит к необходимости использования повышенного значения n_2 . Как показано ниже, при сроках службы более 11 – 13 лет величину n_2 следует принимать равной 1,3.

Если дополнительно учесть, что фактическое значение модуля упругости E может в 1,5 раза превышать нормативное значение, становится понятным, почему назначенные допускаемые напряжения при квазистатическом приложении нагрузок по I режиму «Норм...» [3] $(0,85 - 0,95)\sigma_T$ серьезных запасов не имеют. Это также подтверждает факт условности оценок прочности по III режиму [10]. Допускаемые напряжения по I режиму при ударных продольных нагрузках приняты с учетом работы [11] равными σ_T и более.

На самом деле все обстоит существенно серьезнее. Так, в работе [12] по результатам исследований материалов надрессорных балок и боковых рам, прошедших «рядовую эксплуатацию под вагонами на сети железных дорог», установлено, что в процессе эксплуатации произошло снижение прочности деталей из стали марок 20Л и 20ГФЛ до $\sigma_B^2 = (0,92...0,93)\sigma_B^{\text{исходн}}$ и увеличение предела текучести до $\sigma_T^2 = (1,48...1,58)\sigma_T^{\text{исходн}}$, значительно снизились характеристики пластичности: относительное удлинение и относительное сужение. Коэффициент охрупчивания низколегированной стали типа 20ГФЛ после срока службы 13 лет больше, чем у малоуглеродистой стали 20Л после 25 лет службы.

Аналогичный результат получен в работе [13]. На примере автосцепного устройства показано, что в местах с высокими напряжениями в зонах трещинообразования увеличены пределы текучести, снижены пределы прочности и повышены связанные с этими характеристиками критические температуры хрупкости, а также уменьшено сопротивление развитию трещин усталости. Эти явления начинают сказываться после 11...13 лет эксплуатации. Отношение значений $\frac{\sigma_T^2}{\sigma_T^{\text{исходн}}}$ составило от 1,03 после 7 лет эксплуатации до 1,46 после 25 лет эксплуатации, а отношение $\frac{\sigma_B^2}{\sigma_B^{\text{исходн}}}$ имело значение 0,98 – 0,99 [12].

Значения коэффициента n_2

Материал	Коэффициент n_2 при соотношении $\frac{\sigma_T}{\sigma_B}$				
	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Сталь	1,02	1,05	1,10	1,20	1,30
Алюминиевые сплавы	1,10	1,15	1,22	—	—

Примечание. Для промежуточных значений $\frac{\sigma_T}{\sigma_B}$ коэффициент n_2 определяют линейной интерполяцией.

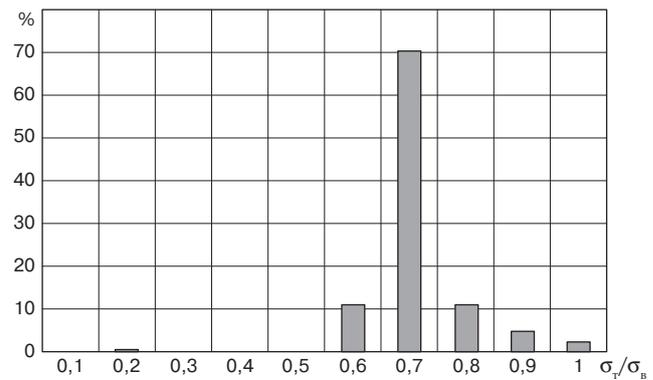


Рис. 1. Распределение $\frac{\sigma_T}{\sigma_B}$ по результатам испытаний 291 стандартного образца

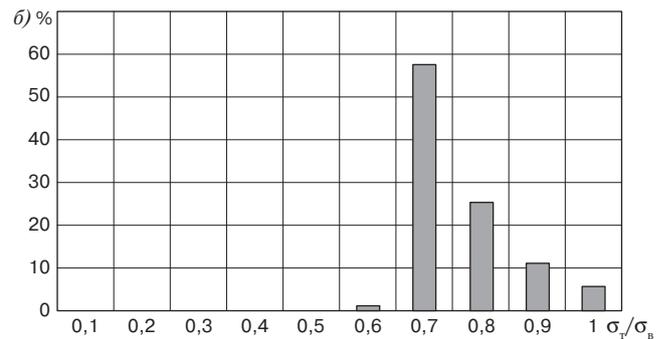
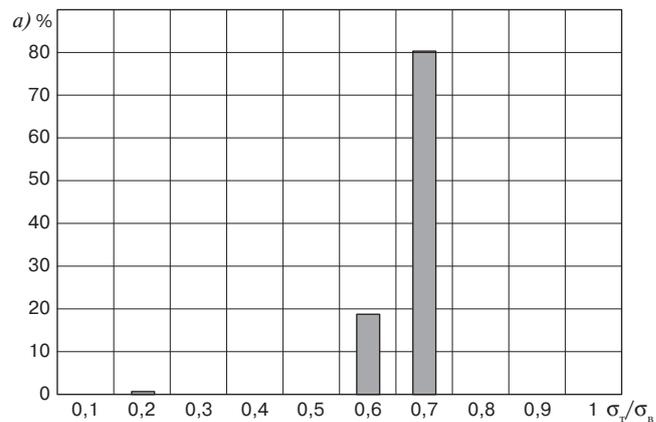


Рис. 2. Распределение $\frac{\sigma_T}{\sigma_B}$ по результатам испытаний стандартных образцов:
а – 164 образца без дефектов; б – 127 образцов с дефектами

Некоторое снижение σ_b материала литых деталей и увеличение σ_T в 1,5 раза свидетельствует о постепенном накоплении остаточных деформаций в процессе эксплуатации от действия сверхнормативных нагрузок.

В работе [14] по результатам испытаний на усталость при температурах +20 и –60 °С двух партий надрессорных балок (по 10 балок), изготовленных Бежицким сталелитейным заводом из стали 20ГТЛ, установлено, что предел выносливости при –60 °С на 26% выше, чем при +20 °С. При этом после потери несущей способности хрупкий долом при температуре –60 °С распространялся практически на все сечение балки. Заслуживает внимания до сих пор актуальная фраза из работы [14]: «Изучение хладоломкости элементов конструкции в значительной степени отстает от работ металлосведов».

Согласно данным работы [15], хрупкие разрушения боковых рам тележек в зимний период эксплуатации вагонов наблюдались по углу буксового проема и консоли, что приводило к серьезным последствиям экономического, экологического и технического характера. Заметим, что в работах института по анализу причин разрушений в зимнее время боковых рам в эксплуатации за последние 10 лет отмечалось наличие пластических деформаций в зонах долома.

Принимая во внимание результаты работ [12–15], при обосновании выбора марок сталей для изготовления литых деталей вагонов (являющихся сменными элементами), назначенных сроков службы, межремонтных пробегов необходимо учитывать жесткие климатические условия эксплуатации на сети дорог Российской Федерации.

Также целесообразно проведение исследований образцов, вырезанных из наиболее нагруженных зон тонкостенных котлов вагонов-цистерн (в местах их крепления к рамам вагонов) со сроком службы 10 и 20 лет, для выявления возможной потери пластичности материала котлов за время их эксплуатации.

Для расчета и проектирования вагонов железных дорог многие десятки лет применяют два основополагающих документа:

1. «Нормы...» [3], содержащие нормативы сил для оценки прочности и ходовых качеств вагонов, перечень основных материалов (с их характеристиками), используемых при проектировании вагонов (опробованных многолетней эксплуатацией на сети отечественных железных дорог), и значения допускаемых напряжений для всех режимов нагружения элементов вагонов.

2. РД [16] — важнейший документ, который не дублирует «Нормы...», а дополняет их методами проведения испытаний, измерений и обработки результатов экспериментальных данных и нормативами их оценки.

Как отмечено выше, на основе работы [2] для литых деталей тележек рекомендуется: методику статических

испытаний этих деталей [7] для оценки соответствия отменить, а приближенную оценку их прочности в соответствии с требованиями «Норм...» [3] на этапе проектирования сохранить, но не использовать эти результаты для целей подтверждения соответствия [8].

С подтверждением соответствия сварных конструкций вагонов с целью оценки их прочности ситуация совершенно иная. Многолетняя практика эксплуатации пассажирских и грузовых вагонов показала, что кузова вагонов не повреждаются трещинами усталости. Поэтому прочность кузовов вагонов для оценки их соответствия следует выполнять статическими испытаниями и на соударения с оценкой по режиму I и III. Исключение составляют рамы длиннобазных платформ конструкций разных заводов, со сварными продольными балками, которые в течение года эксплуатации получили массовые повреждения сварных швов. Поэтому они были изъяты из эксплуатации для доработки технологий их сварки и ремонта. Были испытаны по одному экземпляру платформ до появления первой трещины, которую блокируют и ведут испытания дальше. Результаты этих испытаний рам длиннобазных платформ на сопротивление усталости [17] были использованы для подтверждения соответствия их прочности. Испытания отдельных сварных элементов на усталость многократно проводились с учетом требований «Норм...» [3] и РД [16] для повышения прочности сварных конструкций по специально разработанным методикам, утвержденным в установленном порядке. К ним следует отнести:

- методику испытаний заделок стоек полувагонов [18];
- схемы испытаний шкворневых узлов платформ.

Результаты таких исследований, включая схемы нагружения, опубликованы в работах [19–23]. В связи с переработкой РД [16] следует внести в РД апробированные схемы испытаний на усталость следующих узлов:

- заделок стоек полувагонов и шкворневых узлов рам платформ (испытания следует вести на одном режиме по 4–5 образцов сравниваемых конструкций с оценкой результатов по средним и минимальным значениям циклов до разрушения);
- рам вагонов-платформ увеличенной длины [17] (испытания достаточно проводить на одном экземпляре конструкции);
- надрессорных балок нагрузками, имитирующими перевалку кузова (испытания проводят на одном режиме).

При испытаниях на сопротивление усталости шкворневых узлов и рам вагонов-платформ увеличенной длины для контроля стабильности нагрузок следует устанавливать в регулярных частях конструкции (но не в зонах концентрации напряжений) один (для заделок стоек) или несколько тензорезисторов. Важно

отметить, что показания этих тензорезисторов тарируют известными силами, их регистрируют и контролируют в процессе испытаний, чтобы исключить перераспределение нагрузок между элементами конструкции в процессе нарушения их целостности. Важность этого положения определяется тем, что оценка сопротивления усталости более достоверна по факту разрушения конструкции, а не по появлению трещины, которую можно вовремя не заметить. Кроме того, результаты испытаний по трещинам имеют большее расхождение ввиду субъективности их оценки.

В отличие от ходовых динамических и ходовых прочностных испытаний, которые проводят на аттестованных испытательных участках железнодорожного пути длиной 30–40 км, раз в 15–20 лет необходимо проводить эксклюзивные испытания на сети железных дорог длиной 5000–6000 км для определения эквивалентных динамических нагрузок, действующих в эксплуатации на ходовые части вагонов, знание которых необходимо для определения коэффициентов запаса сопротивления усталости боковых рам и надрессорных балок, а также, при необходимости, других вагонных деталей. Проводить чаще такие испытания нецелесообразно, так как конструкция пути и его содержание не могут существенно измениться за меньший промежуток времени, а проведение испытаний на сети железных дорог значительно затратнее и технически сложнее, чем на специально оборудованных опытных полигонах.

Поскольку при движении по маршруту длиной несколько тысяч километров возможны повреждения измерительных схем, во избежание срыва испытаний необходимо резервирование измерений показателей элементов передней и задней тележки (она на обратном пути станет передней), при этом достаточно установить на них всего 10 измерительных тензодатчиков (с компенсаторами) — по одному на боковых рамах и по три на надрессорных балках. При этих испытаниях не определяется в полной мере нагруженность зоны буксового проема боковых рам, поскольку максимальные нагрузки в этой зоне возникают при проходе вагонов через сортировочные горки. Проведение таких испытаний представляет самостоятельную задачу [24]. Спектр действующих при этом нагрузок пока не изучен, а усложнять испытания другими задачами не имеет смысла.

Зона буксового проема испытывается на усталость с помощью приспособления [25]. В углах буксового проема следует установить тензорезисторы (для регистрации, контроля и поддержания стабильности нагружения боковой рамы вплоть до ее разрушения) с предварительной их калибровкой известной силой. Необходимость проведения таких испытаний была вызвана статистикой повреждений этой зоны боковых рам в эксплуатации, приведенной в работе [23]

(в боковых рамах в зоне над буксой и наружном углу буксового проема — 45,5 и 15...26,5%), а также тем, что существующие методики испытаний на усталость боковых рам эту зону проверяют в неполной мере. Следует заметить, что частота повреждений в эксплуатации этих зон боковых рам трехэлементных тележек грузовых вагонов мало изменилась за прошедшие 30 лет [26].

Стенды для проведения испытаний нормативными статическими нагрузками на растяжение-сжатие и на соударение вагонов создавались полвека назад для проверки существующих расчетных методов. Важность этих стендов для исследовательских целей остается, но результаты таких испытаний не могут использоваться для оценки соответствия: для этого служат результаты испытаний на сопротивление усталости тех элементов вагона, которые имеют по данным эксплуатации более высокий уровень повреждаемости.

В последние годы заводами проведены работы по совершенствованию конструкций и технологий изготовления литых деталей тележек, повышающие их сопротивление усталости. Поэтому наблюдается тенденция сократить число испытываемых образцов на усталость до 5–6 деталей, что, учитывая опыт испытаний таких конструкций, считаем оправданным. В этой связи в РД [16] при его пересмотре необходимо переработать табл. 6.2 (критические значения коэффициента корреляции ρ), дополнив ее для числа деталей $n = 5...7$ и исключив для числа деталей $n = 11...13$.

Кроме того, необходимо уточнить входящие в формулу (6.20) РД [16] величины s_0 и s_s , записав их в виде $s_0 = \frac{s_p}{\sqrt{n}}$ и $s_s = \frac{s_p}{\sqrt{2(n-1)}}$ [4], в соответствии с первоисточником [27].

Касаясь дополнений еще одного норматива усилий, действующих на вагон, укажем на табл. 2.7 «Норм...» [3], в которой отсутствуют расчетные нагрузки на приспособления для закрепления вагонов при их перевозке на морских паромов. В п. 2.16 «Норм...» даны расчетные ускорения паромов, на которые должны рассчитываться вагоны по требованию заказчика. Выполненные в работе [28] уточнения этих нагрузок и расчеты основных типов вагонов на прочность при этих нагрузках показали, что напряжения, возникающие в местах крепления вагонов за скобы для их подтягивания, в 2 и более раза превышают допускаемые напряжения.

Оценка усилий на эти устройства, которые возникают только от вертикального ускорения, для вагонов с нагрузкой от оси на рельс не более 235 кН составляют 235 кН, которые скобы для подтягивания вагонов выдержать не могут. Следует дополнить «Нормы...» рекомендацией дополнительно оборудовать все концы шкворневых балок рам вагонов с осевой нагрузкой 235 кН, предназначенных для перевозки на паромов,

устройствами крепления двумя стяжками, выдерживающими усилие величиной 150 кН каждая в табл. 2.7 «Норм...». Для вагонов с нагрузкой от оси на рельс более 235 кН следует предусмотреть установку дополнительной стяжки с каждой стороны вагона.

Кроме того, нагрузки в п. 2.18 «Норм...» следует принять в соответствии с рекомендациями работы [28]. Общие величины ускорений, действующих на кузова вагонов в условиях волнения моря, составят:

а) при крене $12,2^\circ$ и одновременном действии боковой инерционной силы — до $0,24g$ и вертикальной — до $0,98g$;

б) при дифференте $2,5^\circ$ при одновременном действии ускорения $0,1g$ в продольном и до $1,0g$ в вертикальном направлениях.

В этой же работе описаны последствия перевозок вагонов на морских парамах, не оборудованных такими устройствами.

Ветровая нагрузка при расчете вагонов по «Нормам...» принята равной 500 кПа для зоны Новороссийска. С учетом требований СНиП [29] это соответствует давлению ветра на стандартной высоте $h = 10$ м при 10-минутном осреднении, превышаемом в среднем раз в 5 лет. Максимальная скорость ветра при сильных кратковременных (2...3 с) порывах может на 50...60% превышать значения, осредненные за 10 мин [30]. Расчеты показывают, что на высоте 20 и 40 м ветровая нагрузка увеличивается в 1,39 и 1,56 раза соответственно. В связи со строительством железнодорожного моста через Керченский пролив необходимо учесть увеличение ветровых нагрузок на подвижной состав до 1250 кПа, что потребует введения защитных мер по сохранности перевозимых грузов, в том числе защиты от опрокидывания порожних контейнеров в пути следования по вышеупомянутому мосту, учитывая действие такой нагрузки в течение нескольких недель ежегодно в этом районе. Для остальной сети железных дорог норматив 500 кПа следует сохранить.

В настоящее время заводами актуализированы работы по созданию общесетевых шестиосных вагонов. В методиках [4] отсутствуют схемы и нагрузки испытаний составных частей трехосных тележек. До накопления материалов испытаний этих деталей на усталость внесение соответствующих рекомендаций в перерабатываемые РД считаем преждевременным.

Выводы. 1. При обосновании выбора марок сталей для изготовления литых деталей, являющихся сменными элементами вагонов, и установления назначенных сроков службы, межремонтных пробегов вагонов необходимо учитывать жесткие климатические условия эксплуатации на сети дорог Российской Федерации.

2. Целесообразно исследовать образцы металла, вырезанного из наиболее нагруженных зон тонкостенных котлов эксплуатируемых вагонов-цистерн

(в местах крепления котлов к рамам вагонов) со сроком службы 10 и 20 лет, для выявления возможной потери пластичности материала котлов за время эксплуатации.

3. Оценку прочности сварных элементов вагонов с целью подтверждения соответствия следует выполнять статическими испытаниями и испытаниями на соударение с оценкой по режимам I и III. Исключение составляют рамы длиннобазных платформ со сварными продольными балками. Результаты испытаний рам длиннобазных платформ на сопротивление усталости используются для подтверждения соответствия их прочности.

4. В РД [16] при его пересмотре необходимо переработать табл. 6.2 (критические значения коэффициента корреляции ρ), дополнив ее для числа деталей $n = 5...7$ и исключив для числа деталей $n = 11...13$.

Кроме того, необходимо уточнить входящие в формулу (6.20) РД [16] величины s_0 и s_s , записав их в соответствии с первоисточником [26].

5. Следует дополнительно оборудовать концы шкворневых балок рам вагонов, предназначенных для перевозки на парамах, устройствами крепления двумя стяжками, рассчитанными на нагрузку 150 кН каждая, и указать эту величину 2×150 кН в табл. 2.7 «Норм...». Для вагонов с нагрузкой от оси на рельс более 235 кН следует предусмотреть установку дополнительной стяжки с каждой стороны вагона.

6. Нагрузки в п. 2.18 «Норм...» следует уточнить в соответствии с работой [27].

7. В связи со срочным строительством железнодорожного моста через Керченский пролив необходимо учесть увеличение в этом регионе ветровых нагрузок на подвижной состав до 1250 кПа, что свидетельствует о необходимости введения защитных мер по сохранности перевозимых грузов, в том числе защиты от опрокидывания порожних контейнеров при следовании по вышеупомянутому мосту, учитывая действие такой нагрузки в течение нескольких недель в этом районе. Для остальной сети железных дорог норматив 500 кПа следует сохранить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. К оценке напряжений в литых деталях тележек грузовых вагонов / В.С. Плоткин [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 2014. №4. С. 20 – 24.
2. Плоткин В.С., Краснобаев А.М., Краснобаев О.А. К вопросу совершенствования методик оценки прочности литых деталей тележек грузовых вагонов при их проектировании и испытаниях для цели подтверждения соответствия // Вестник ВНИИЖТ. 2014. №6. С. 33 – 37.
3. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М.: ГосНИИВ — ВНИИЖТ, 1996. 319 с.
4. Надрессорные балки и боковые рамы литые двухосных тележек грузовых вагонов колеи 1520 мм. Методики испытаний на усталость: согласованы Департаментом технической политики

ОАО «РЖД» и Центром технического аудита ОАО «РЖД» / ОАО «ВНИИЖТ» — ОАО «НИИ вагоностроения». 2010. 14 с.

5. Надрессорные балки, литые или конструкционные — проектирование и испытания. Условия М-202. Приняты 1926. Пересмотрены 1997, 2005 // Руководство по стандартам и рекомендованным методикам (РСРМ) Ассоциации американских железных дорог (ААЖД). Литые детали / пер. с англ. 14 с.

6. Боковые рамы тележек, литые — проектирование и испытания. Условия М-203. Приняты 1926. Пересмотрены 1987, 2005 // Руководство по стандартам и рекомендованным методикам (РСРМ) Ассоциации американских железных дорог (ААЖД). Литые детали / пер. с англ. 12 с.

7. Надрессорные балки и боковые рамы литые двухосных тележек грузовых вагонов колеи 1520 мм. Методика статических испытаний на прочность: согласованы Департаментом технической политики ОАО «РЖД» и Центром технического аудита ОАО «РЖД» / ОАО «ВНИИЖТ» — ОАО «НИИ вагоностроения». 2010. 16 с.

8. Федеральный закон от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ (ред. от 28.09.2010 г.) «О техническом регулировании».

9. ГОСТ Р 51282–99. Оборудование технологическое стартовых и технических комплексов ракетно-космических комплексов. Нормы проектирования и испытаний. М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. 21 с.

10. Миронов Н.И., Плоткин В.С. Об условности оценки прочности конструкций грузовых вагонов по III режиму Норм // Исследования и испытания конструкций вагонов и их узлов. Труды ВНИИ вагоностроения, 1983. Вып. 49. С. 23–26.

11. Коллинз Дж. Повреждение материалов в конструкциях: анализ, предсказание, предотвращение / пер. с англ.; под ред. А.М. Васильева. М.: Мир, 1984. 624 с.

12. Северинова Т.П. Исследование трещиностойкости стальных литых деталей тележек грузовых вагонов после длительного периода эксплуатации // Вестник ВНИИЖТ. 1999. № 3. С. 35–40.

13. Костенко Н.А. Особенности разрушения и расчет надежности литых деталей грузовых вагонов, работающих в режиме случайных нагрузок: автореферат докт. дисс. / Брянский институт транспортного машиностроения. Брянск, 1979.

14. Влияние низких температур на несущую способность надрессорных балок тележки грузового вагона / В.И. Шахов [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 1983. № 5. С. 41–42.

15. Северинова Т.П. Спектр нагруженности боковой рамы тележки грузового вагона в эксплуатации // Сборник трудов ВНИИЖТ. М.: Транспорт, 1992. С. 70–80.

16. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. РД 24.050.37.95. Гос НИИВ, 1995. 101 с.

17. Вагоны-платформы увеличенной длины. Методика испытаний на сопротивление усталости. ФГУП «ВНИИЖТ», ФГУП НВЦ «Вагоны», ИЦ «Азовмаштест» ОАО «МЗТМ», 2006. 20 с.

18. Методика проведения усталостных испытаний узлов заделок стоек кузова 4-осных полувагонов / ЦНИИ МПС — ВНИИВ, 1978. 6 с.

19. Плоткин В.С., Дружинин С.С., Ченцов Е.И. Исследование усталостной прочности заделок стоек 4-осных цельнометаллических полувагонов // Теплотехнические и энергетические свойства транспортных средств: труды Всесоюзного научно-исследовательского института вагоностроения. М., 1978. Вып. 35. С. 21–26.

20. Кашкин А.И., Миронов Н.И. Исследование усталостной прочности макетных образцов и натуральных узлов платформ, изготовленных из стали марки 10Г2БД: труды Всесоюзного научно-исследовательского института вагоностроения. Вып. 42. М., 1980. С. 76–90.

21. Исследование сопротивления усталости шкворневого узла универсальной платформы. Проблемы совершенствования вагон-

ных конструкций и методов их исследования / Г.Д. Жевтобрюх [и др.] // Сборник научных трудов Всесоюзного научно-исследовательского института вагоностроения. М., 1984. Вып. 53. С. 63–72.

22. Иорш Е.Т., Плоткин В.С., Радзиховский А.А. Исследование усталостной прочности надрессорных балок тележек грузовых вагонов при нагружении, имитирующем боковую перевалку кузова // Сборник научных трудов Всесоюзного научно-исследовательского института вагоностроения. Вып. 49. М., 1983. С. 27–33.

23. Повышение надежности литых деталей тележек грузовых вагонов / А.А. Радзиховский [и др.] // Сборник научных трудов Всесоюзного научно-исследовательского института вагоностроения. М., 1982. Вып. 46. С. 91–97.

24. Харитонов Б.В. Пути снижения повреждаемости боковых рам тележек грузовых вагонов на сортировочных горках: автореферат канд. дисс. / ВНИИЖТ. МПС РФ. М., 1999. 25 с.

25. Устройство для нагружения переменным усилием челюстных направляющих буксового проема боковой рамы тележки железнодорожного транспортного средства: а. с. 1441229 (СССР). (Отраслевой отдел в г. Кременчуге Всесоюзного научно-исследовательского института вагоностроения) / Е.Т. Иорш, В.С. Плоткин, А.А. Радзиховский, С.В. Бондарев, М.А. Мирошкин, Л.Ш. Ольгард, Ю.А. Трубаев. Заявл. 0206.86 № 4094042/27–11; опубл. 30.11.88. Вып. 44, G01M1700.

26. Орлова А.М. Апробация режимов ресурсных испытаний боковых рам тележки модели 18-9855 на стенде пространственного нагружения. Тихвинские тележки испытали в США // Вагоны и вагонное хозяйство. 2014. № 4 (40). С. 36–37.

27. Методика исследований и оценки усталостной прочности вагонных конструкций и их узлов. М.: ВНИИВ — ЦНИИ МПС, 1968. 35 с.

28. Визняк Р.И., Ловская А.А. Уточнение величин усилий, которые действуют на кузова вагонов при их перевозке железнодорожными парами // Вестник ВНИИЖТ. 2013. № 2. С. 20–27.

29. СНиП 2.01.07–85. Нагрузки и воздействия. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. 36 с.

30. Казакевич М.И. Аэродинамика мостов. М.: Транспорт, 1987. 240 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ПЛОТКИН Владимир Семенович, ведущий научный сотрудник, ОАО «ВНИИЖТ». 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10. Тел.: (499) 260-44-73. E-mail: krasnobaev.oleg@vniizht.ru ✉

КРАСНОБАЕВ Александр Михайлович, старший научный сотрудник, ОАО «ВНИИЖТ». 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10. Тел.: (499) 260-44-74. E-mail: krasnobaevam@gmail.com

КОНЬКОВА Татьяна Евгеньевна, старший научный сотрудник, ОАО «ВНИИЖТ». 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10. Тел.: (499) 260-44-12. E-mail: tk267@yandex.ru

КРАСНОБАЕВ Олег Александрович, заведующий лабораторией, ОАО «ВНИИЖТ». 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10. Тел.: (499) 260-43-01. E-mail: krasnobaev.oleg@vniizht.ru

More on the Development of Rigidity Evaluation Techniques of Freight Car Structures and Their Components in the Design and on Trials. Adjustment of Design Loads

Vladimir S. Plotkin, Candidate of Technical Science, Leading Researcher, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: + 7 (499) 2604473. E-mail: krasnobaev.oleg@vniizht.ru

Alexander M. Krasnobaev, Senior Researcher, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: + 7 (499) 2604474. E-mail: krasnobaevam@gmail.com

Tat'yana Ye. Kon'kova, Senior Researcher, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: + 7 (499) 2604412. E-mail: tk267@yandex.ru

Oleg A. Krasnobaev, Chief of Laboratory, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: + 7 (499) 2604301. E-mail: krasnobaev.oleg@vniizht.ru

Abstract. While justifying selection of steel grades for replaceable cast parts as well as service life and interrepair run guidelines of freight cars to be operated on the JSC RZD network it is necessary to take into account its severe climatic environment.

The authors highlight the appropriateness of examination of metal specimens taken from tank-car thin-walled shells being in service for as long as 10 to 20 years in order to identify loss of the shell material ductility. The specimens must be cut out at areas where shells are fixed to the tank-car frames.

Within the framework of conformity validation strength assessment of welded car components shall be performed on the basis of static and impact tests in terms of the I and III regimes as in the design and calculation norms related to 1520 mm gauge railway cars of MPS-Russia (non-self-propelled ones). Exception to this applies to cars with welded solebars and a long distance between truck centers. In this case strength conformity assessment shall be based on the endurance tests results.

Underframe bolster ends of freight cars intended for transportation by ferry ought to be additionally equipped with two strainers designed for loads 150 kN each. Cars with axle-load exceeding 235 kN ought to be equipped in the midpart with additional strainer on each side.

In the case of bridge constructed across the Kerch Strait at a quickened pace it is necessary to consider wind loading on railway rolling stock at the level of 1,250 kPa retaining the value of 500 kph for the rest of the JSC RZD network.

Keywords: railway freight cars; adjustment of design loads; stress-strain state; calculations and tests; product conformity validation

References

- Plotkin V.S., Krasnobaev A.M., Kon'kova T. E., Krasnobaev O.A. *K otsenke napryazheniy v litykh detal'yakh telezhkek gruzovykh vagonov* [The problem of stress assessment in the cast parts of freight car bogies]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2014, no. 4, pp. 20 – 24.
- Plotkin V.S., Krasnobaev A.M., Krasnobaev O.A. *K voprosu sovershenstvovaniya metodik otsenki prochnosti litykh detaley telezhkek gruzovykh vagonov pri ikh proektirovani i ispytaniyakh dlya tseli podtverzheniya sootvetstviya* [On the improvement of strength assessment procedures of freight car bogie cast parts at the design and test stages as performed for validation purposes]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2014, no. 6, pp. 33 – 37.
- Norms for calculation and design of cars for MR 1520 mm gauge railways (unpowered)*. Moscow, GosNIIV, VNIIZhT Publ., 1996. 319 p. (in Russ.).
- Bolsters and cast side frames of bogie trucks of 1520 mm gauge railway freight cars*. The technique of static strength tests. Coordinated by the Department of technical policy of JSC "Russian Railways" and the Center for technical audit of JSC "Russian Railways". Moscow, JSC "Russian Railways" - JSC "SRI of Car-Building", 2010. 14 p. (in Russ.).
- Truck bolsters, cast or structural — design and testing*. Standard M-202. Casting details. Adopted in 1926. Revised in 1997, 2005. Manual of standards and recommended practices. Section A. Part I. Washington, Association of American Railroads Publ., 2014. 94 p. Available at: <http://www.aar.com/standards/MSRPs/MSRP-A1.pdf>.
- Truck side frames, cast steel — design and testing*. Standard M-203. Casting details. Adopted in 1926. Revised in 1987, 2005. Manual of standards and recommended practices. Section A. Part I. Washington, Association of American Railroads Publ., 2014. 94 p. Available at: <http://www.aar.com/standards/MSRPs/MSRP-A1.pdf>.
- Bolsters and cast side frames of bogie trucks of 1520 mm gauge railway freight cars*. The technique of static strength tests. Coordinated by the Department of technical policy of JSC "Russian Railways" and the Center for technical audit of JSC "Russian Railways". Moscow, JSC "Russian Railways" - JSC "SRI of Car-Building", 2010. 16 p. (in Russ.).

8. *Federal Law of December 27, 2002 № 184-FZ (revised on September 28, 2010) "On Technical Regulation"*. Available at: <http://base.garant.ru/12129354/#friends>. (in Russ.).

9. *GOST 51282 – 99. Launching and technical complexes technological equipment for rocket-space complexes. Designing and test norms*. Moscow, Standards Publ., 1999. 21 p.

10. Mironov N.I., Plotkin V.S. *Ob uslovnosti otsenki prochnosti konstruktivnykh gruzovykh vagonov po III rezhimu Norm* [On conditional evaluation of structural strength of freight cars to III mode Norm]. Issledovaniya i ispytaniya konstruktivnykh vagonov i ikh uzlov. Trudy VNIIZhT [Studies and tests of rail cars and components. Proceedings of the SRI of Car-Building]. 1983, no. 49, pp. 23 – 26.

11. Collins J.A. *Failure of materials in mechanical design: Analysis, prediction, prevention*. New York, Wiley-Interscience Publ., 1981. 672 p. (Russ. ed.: Kollinz Dzh. Povrezhdenie materialov v konstruktivnykh analiz, predskazanie, predotvrashchenie. Moscow, Mir Publ., 1984. 624 p.).

12. Severinova T.P. *Issledovanie treshchinostoykosti staley litykh detaley telezhkek gruzovykh vagonov posle dlitel'nogo perioda eksploatatsii* [Investigation of crack resistance of steel cast parts of freight cars bogies after a long period of operation]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 1999, no. 3, pp. 35 – 40.

13. Kostenko N.A. *Osobennosti razrusheniya i raschet nadezhnosti litykh detaley gruzovykh vagonov, rabotayushchikh v rezhime sluchaynykh nagruzok*. Dokt. tech. nauk diss. Aftoref. [Features of destruction and calculation of reliability of cast details of freight cars operating in a mode of random loads. Dr. tech. diss. Synopsis]. Bryansk, Bryansk Inst. of Transport Engineering Publ., 1979.

14. Shakhov V.I. et al. *Vliyaniye nizkikh temperatur na nesushchuyu sposobnost' nadressornykh balok telezhki gruzovykh vagonov* [The effect of low temperatures on the bearing capacity of bolsters of truck freight cars]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 1983, no. 5, pp. 41 – 42.

15. Severinova T.P. *Spektr nagruzhennosti bokovoy ramy telezhki gruzovogo vagona v eksploatatsii* [The range of loading of the bogie's side frame of the freight car in operation]. Sbornik trudov VNIIZhT [Proceedings of VNIIZhT (Railway Research Institute)], Moscow, Transport Publ., 1992, pp. 70 – 80.

16. *Freight and passenger cars. Test methods for durability and driveability*. RD 24.050.37.95. Moscow, State Scientific Research Inst. of Railcars Publ., 1995. 101 p. (in Russ.).

17. *Flat cars of increased length. Methods of fatigue tests*. VNIIZhT, JSC "Vagony", EC "Azovmashtest", JSC "Mariupol Heavy Machinery Plant". 2006. 20 p. (in Russ.).

18. *Methods of fatigue testing of units terminations of pillars of 4 axle gondola cars*. All-Union Cent. Res. Inst. of Railway Transport — SRI of Car-Building, 1978. 6 p. (in Russ.).

19. Plotkin V.S., Druzhinin S.S., Chentsov E.I. *Issledovanie ustalostnoy prochnosti zadelok stoek 4 osnykh tsel'nometallicheskikh poluavagonov* [Study of fatigue strength of racks terminations of 4 axle metal gondola cars]. Teplotekhnicheskie i energeticheskie svoystva transportnykh sredstv. Trudy Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta vagonostroeniya [Thermal and energy properties of vehicles. Proceedings of the All-Union Scientific Research Institute of Railcars], 1978, no. 35, pp. 21 – 26.

20. Kashkin A.I., Mironov N.I. *Issledovanie ustalostnoy prochnosti maketnykh obraztsov i naturnykh uzlov platform, izgotovlennykh iz stali marki 10G2BD* [Study of fatigue strength of prototypes and full-scale platform units made of steel 10G2BD]. Trudy Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta vagonostroeniya [Proceedings of the All-Union Scientific Research Institute of Railcars], 1980, no. 42, pp. 76 – 90.

21. Zhevtobryukh G.D. et al. *Issledovanie soprotivleniya ustalosti shkvornevogo uzla universal'noy platformy. Problemy sovershenstvovaniya vagonnykh konstruktivnykh i metodov ikh issledovaniya* [The

study of fatigue resistance of pivot assembly of universal platform. Problems of improving the car structures and methods of their study]. Sbornik nauchnykh trudov Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta vagonostroeniya [Collection of scientific papers of All-Union Scientific Research Institute of Railcars], 1984, no. 53, pp. 63 – 72.

22. Iorsh E. T., Plotkin V. S., Radzikhovskiy A. A. *Issledovanie ustalostnoy prochnosti nadressornykh balok telezhek gruzovykh vagonov pri nagruzhении, imitiruyushchem bokovuyu perevalku kuzova* [The study of the fatigue strength of bolsters of freight car trucks at loading, simulating a lateral body handling]. Sbornik nauchnykh trudov Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta vagonostroeniya [Collection of scientific papers of All-Union Scientific Research Institute of Railcars], 1983, no. 49, pp. 27 – 33.

23. Radzikhovskiy A. A. et al. *Povyshenie nadezhnosti litykh detaley telezhek gruzovykh vagonov* [Improving the reliability of cast details of freight cars bogies]. Sbornik nauchnykh trudov Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta vagonostroeniya [Collection of scientific papers of All-Union Scientific Research Institute of Railcars], 1982, no. 46, pp. 91 – 97.

24. Kharitonov B. V. *Puti snizheniya povrezhdaemosti bokovykh ram telezhek gruzovykh vagonov na sortirovochnykh gorkakh*. Kand. tekhn. nauk. diss. Avtoref. [Ways to reduce the side frames damage to freight car bogies on hump yards. Cand. tech. sci. diss. Synopsis]. Moscow, VNIIZhT, RF Ministry of Railways, 1999. 25 p.

25. Iorsh E. T., Plotkin V. S., Radzikhovskiy A. A., Bondarev S. V., Miroshkin M. A., Ol'gard L. Sh., Trubachev Yu. A. *A device for loading by variable effort of jaw guide of pedestal opening of side bogie frame of a railway vehicle*. Author's certificate 1441229 (USSR). Statement 0206.86 № 4094042/27 – 11. Published on November 30, 1988. (in Russ.).

26. Orlova A. M. *Aprobatsiya rezhimov resursnykh ispytaniy bokovykh ram telezhki modeli 18-9855 na stende prostranstvennogo nagruzheniya* [The approbation of endurance test modes of side frames of 18-9855 model bogie on the spatial loading stand]. Vagony i vagonnoe khozyaystvo, 2014, no. 4 (40), pp. 36 – 37.

27. *Methods of research and evaluation of fatigue strength of car structures and their components*. Moscow, SRI of Car-Building – Cent. Res. Inst. of Railway Transport of the RF Ministry of Railways, 1968. 35 p. (in Russ.).

28. Viznyak R. I., Lovskaya A. A. *Utochnenie velichin usilyi, kotorye deystvuyut na kuzova vagonov pri ikh perevozke zheleznodorozhnyimi paromami* [Refinement of forces acting on car bodies in the course of their transportation by ferry-boats]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2013, no. 2, pp. 20 – 27.

29. *Construction rules and regulations 2.01.07 – 85. Pressures and impacts*. Moscow, The Central Institute of Standard Design of the USSR State Construction Committee, 1986. 36 p. (in Russ.).

30. Kazakevich M. I. *Aerodinamika mostov* [Aerodynamics of bridges]. Moscow, Transport Publ., 1987. 240 p.

УДК 656.2:338.47

Д-р экон. наук Е. А. МАКАРОВА, канд. техн. наук К. В. СУРЖИН, инженеры А. В. СОКОЛОВСКИЙ, С. Б. ЕЛИЗАРОВ, А. Г. ПИУНОВ

Методология исследований пассажирских транспортных потоков на сетевом и региональных уровнях управления перевозками

Аннотация. В статье изложены методические подходы к определению тенденций развития спроса по магистральным направлениям сети ОАО «РЖД» и принципов классификации линий в зависимости от динамики объемов перевозок в дальнем сообщении. Методика классификации включает алгоритмы проведения аналитических исследований о пассажиропотоках с использованием современных методов математической статистики и маркетингового анализа, критерии и порядок классификации направлений сети ОАО «РЖД» для определения приоритетов и необходимости развития инфраструктуры. В качестве критериев многомерной (многокритериальной) классификации железнодорожных линий приняты объемы пассажирских перевозок дальнего сообщения, стабильность и тенденции развития спроса (прогноз), сезонные факторы, уровень конкурентоспособности направлений пассажиропотоков. Объектами классификации, формирующими направления, являются отдельные станции и группы станций, входящие в железнодорожные узлы, города, субъекты РФ, железные дороги, а также территориальные кластеры станций, входящие в города-мегаполисы, курортные зоны, районы тяготения аэропортов. Аналитическая база разработана на основе сбора и систематизации исходной информации о реальных пассажиропотоках на направлениях сети ОАО «РЖД» (период 2006 – 2014 гг.) и фактических данных о конкурентном транспортном рынке (авиаперевозчики). Разработанная авторами данной статьи методика выступает в качестве аналити-

ческой базы, она обеспечивает процессы рационализации системы пассажирских железнодорожных сообщений и построения маршрутной сети на основе реальных корреспонденций пассажирских транспортных потоков и тенденций их изменения на перспективу.

Ключевые слова: пассажирские перевозки; дальнейшее сообщение; классификация железнодорожных направлений; критерии классификации пассажиропотоков

Пассажирские транспортные потоки неравномерно распределены по полигонам сети, что обуславливает различную загрузку железнодорожных линий и станций. Обоснование приоритетов и необходимости развития инфраструктуры ОАО «РЖД» для пассажирского движения требует создания и внедрения в практику новых инновационных подходов к процессам исследования структуры и характера пассажиропотоков, особенностей их формирования по сегментам транспортного рынка, построению моделей прогноза спроса на перспективу. Впервые с использованием современных экономико-математических методов и ресурсов аналитической базы данных по пассажирским перевозкам [1] разработаны методические подходы