

УДК 629.463.027.23

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ НАГРУЖЕННОСТЬ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Рейдемейстер А. Г., Шикунов А. А.

INFLUENCE OF SPRING SUSPENSION PARAMETERS ON THE DYNAMIC LOADING OF CAST PARTS OF FREIGHT WAGON BOGIES

Reidemeister A. G., Shykunov O. A.

Приведены результаты исследования влияния основных параметров рессорного подвешивания на прочность боковой рамы трехэлементной тележки грузового вагона с использованием математической модели движения грузового вагона на трехэлементных тележках и конечно-элементной модели боковой рамы. Апробация математической модели проведена при сравнении результатов моделирования и ходовых динамических испытаний вагона модели 12-7039-01 на тележках модели 18-9836.

На первом этапе работы, при помощи математической модели колебаний вагона определены силы, действующие на боковую раму трехэлементной тележки, при различных значениях основных параметров рессорного подвешивания. В качестве варьируемых параметров приняты компоненты жесткости пружин рессорного комплекта и упругого элемента в буксовом адаптере, а также коэффициент относительного трения гасителя колебаний.

Далее, при помощи конечно-элементной модели, по результатам анализа распределения полей напряжений в боковой раме при I и III расчетном режиме, определены контрольные точки, по которым в дальнейшем проводилась оценка ее напряженного состояния. Для каждой внешней силы, действующей на раму, определены коэффициенты влияния силы на компоненты напряжений. По полученным из математической модели колебаний вагона силам и коэффициентам влияния определены напряжения в модели при различных значениях параметров рессорного подвешивания. По результатам моделирования получены зависимости амплитуды напряжений в контрольных точках от компонент жесткости пружин рессорного комплекта и упругого элемента в буксовом узле, а также от коэффициента относительного трения фрикционного гасителя колебаний.

Ключевые слова: тележка, боковая рама, динамическая нагруженность, изломы, грузовой вагон

Введение. Безопасность движения грузового вагона в значительной степени зависит от работы ходовых частей, причем эта зависимость двояка – с

одной стороны, конструкцией и параметрами тележки вообще и рессорного подвешивания в частности в значительной мере определены динамические силы взаимодействия элементов вагона друг с другом и вагона с верхним строением пути, с другой – элементы тележки, как и другие несущие элементы конструкции вагона, должны обеспечивать достаточный уровень прочности и сопротивления усталости.

Постановка Проблемы. С 2000-х годов на пространстве колеи 1520 мм отмечен рост частоты изломов боковых рам трехэлементных тележек грузовых вагонов [2, 4, 12]. Хрупкий излом одной из наиболее ответственных деталей ходовых частей вагона сильно снижает его надежность в целом.

Указывают следующие причины возникновения изломов:

1) некачественное литье, как из-за несовершенства технологии (либо из-за того, что технология в процессе изготовления не соблюдается) [5], так и из-за несоответствия материала требованиям нормативной документации [1];

2) несоответствие требований, предъявляемых к прочности элементов тележки и возникающих при ее эксплуатации нагрузок [9, 18];

3) недостаточный запас прочности боковой рамы, что особенно актуально в рамках увеличения осевой нагрузки с 23,5 тс до 25 тс, а в перспективе – до 30 тс.

Указанным обстоятельством обусловлена актуальность исследований, направленных на повышение прочности боковых рам.

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ исследований, направленных на повышение надежности боковой рамы, показал, что основное внимание уделяют повышению ее прочности за счёт усиления или изменения

конструкции самой боковой рамы [11, 13, 15, 16]. При этом почти не рассматривается возможность снижения нагрузок, действующих на нее, что позволяет увеличить надежность без изменения конструкции рамы. Хотя исследования влияния изменения динамических качеств изношенных тележек на их нагруженность ведутся [6, 7, 14].

Цель статьи. Целью исследования является оценка влияния параметров рессорного комплекта на напряжения, возникающие в боковой раме трёхэлементной тележки.

Основная часть исследования. Для определения влияния сил, возникающих в эксплуатации, на напряжения в боковой раме тележки, на первом этапе исследования была разработана математическая модель движения вагона по участкам пути произвольного плана [17]. Адекватность модели проверена путем сравнения результатов моделирования движения вагона модели 12-7039-01 на тележках модели 18-9836 с результатами динамических испытаний этого вагона. В качестве иллюстрации на рисунке 1 приведены графики зависимости коэффициента вертикальной динамики от скорости движения, полученные экспериментальным и расчетным путем.

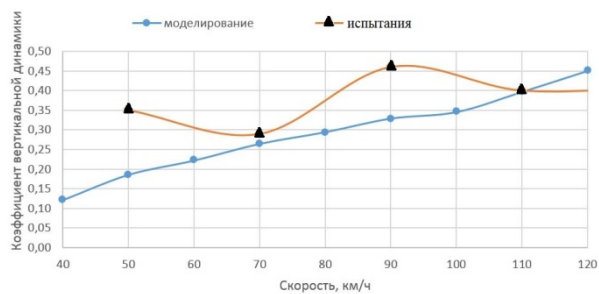


Рис. 1. Зависимость коэффициента вертикальной динамики от скорости движения для полувагона модели 12-7039-01

Нагрузки, действующие на боковую раму, возникают в местах взаимодействия ее с другими элементами трехэлементной тележки – надрессорной балкой (через пружины и фрикционные клинья рессорного подвешивания) и колесными парами (через буксы). Полные силы взаимодействия представляют собой сумму статической и динамической составляющей. Именно ее можно уменьшить за счет рационального выбора параметров ходовых частей.

При помощи созданной модели исследовано движение полувагона на тележках модели ZK1. От тележки модели 18-100 она отличается наличием упругой вставки в буксовом адаптере, диагональными связями между боковыми рамами и комплектом рессорного подвешивания из девяти двухрядных пружин с билинейной силовой характеристикой (рис. 2).

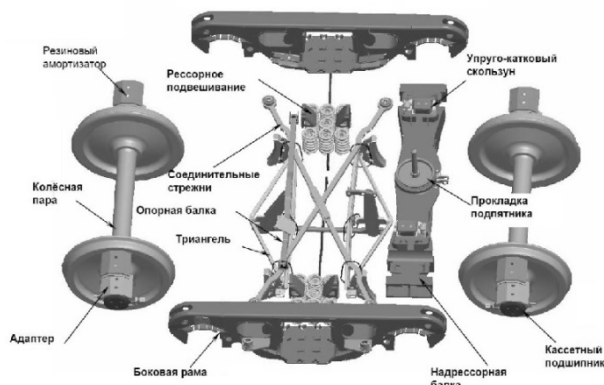


Рис. 2. Тележка модели ZK-1 [3]

Были определены силы, действующие на тележку при движении по прямым и кривым участкам со скоростью 120 км/ч и различных значениях параметров рессорного подвешивания.

В качестве варьируемых параметров были приняты компоненты жесткости комплекта рессорного подвешивания и упругой вставки в буксовом узле, а также коэффициент относительного трения фрикционного гасителя колебаний. Параметры изменяли в диапазоне 30% в обе стороны от номинальных. На рисунках 3-5 приведены зависимости сил, действующих на боковую раму от рассматриваемых параметров.

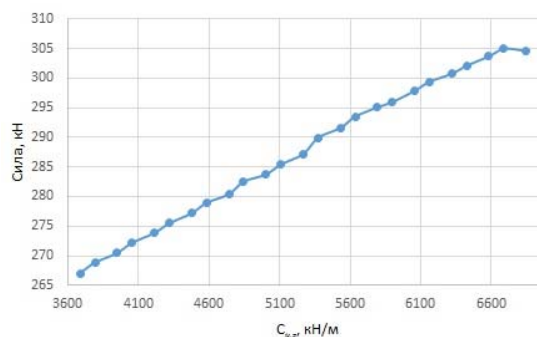


Рис. 3. Зависимость вертикальной силы в рессорном комплекте от его жесткости в вертикальном направлении $C_{u,z}$

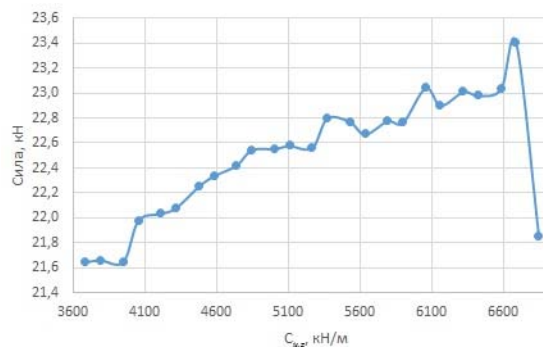


Рис. 4. Зависимость горизонтальной силы в рессорном комплекте от его жесткости в вертикальном направлении $C_{u,z}$

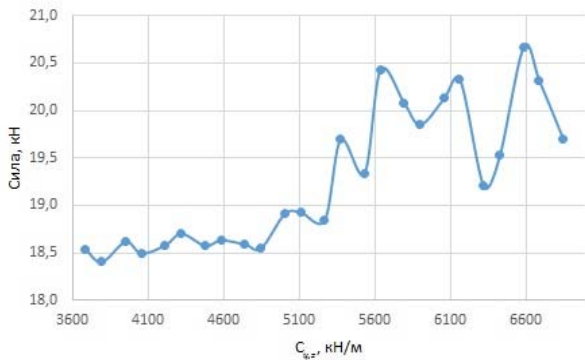


Рис. 5 Зависимость вертикальной силы в буксовом узле от жесткости рессорного комплекта в вертикальном направлении $C_{u,z}$

Для оценки влияния динамических нагрузок на напряжения в боковой раме разработана ее конечно-элементная модель. Применены объемные 10-узловые элементы с характерным размером ребра 30 мм. Размеры элементов варьируются по объему модели и уменьшаются в местах наличия отверстий, радиусных переходов и других возможных концентраторов напряжений.

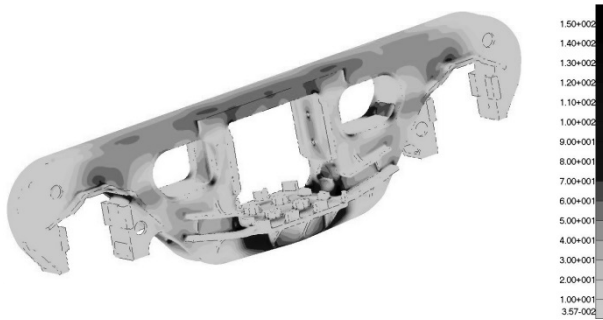


Рис. 6. Распределение напряжений в боковой раме при III расчетном режиме, МПа

К модели были приложены силы, соответствующие I и III расчетному режиму [8], и определены места возникновения максимальных напряжений. На рисунке 6 хорошо видны сильно нагруженные области в районе нижнего угла центрального рессорного приёма, на нижнем поясе, в углу буксового приёма и в районе технологического окна.

Для последующей оценки влияния параметров рессорного комплекта на напряжения в боковой раме, на основании полученных результатов и требований [10], выбраны 27 точек (рис. 7).

Для дальнейшего исследования были определены коэффициенты чувствительности тензоров напряжений к внешним нагрузкам, действующим на боковую раму. Для этого к местам взаимодействия рамы с рессорным комплектом и опирания на буксовый узел были последовательно приложены единичные силы, действующие в трех направлениях и уравновешенные силами инерции, распределенными по объему боковой рамы.

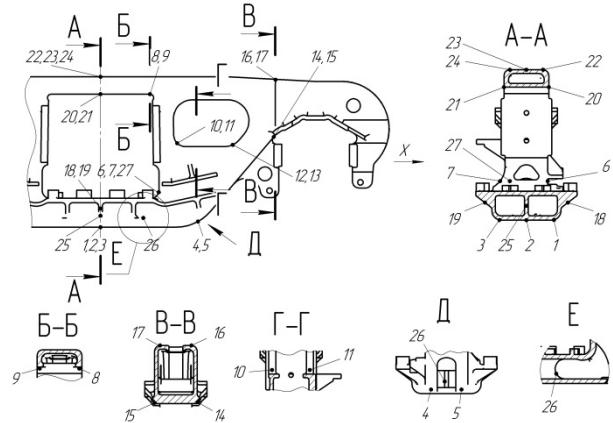


Рис. 7. Контрольные точки

Затем на основании полученных результатов – динамических сил, возникающих при движении по участкам пути различного очертания, и коэффициентов чувствительности – найдены значения напряжений в контрольных точках при различных параметрах ходовых частей.

На рисунках 8 и 9 представлены зависимости амплитуды напряжений в нижнем поясе (точка 1) и углу буксового проема от вертикальной жесткости пружин центрального рессорного проема.

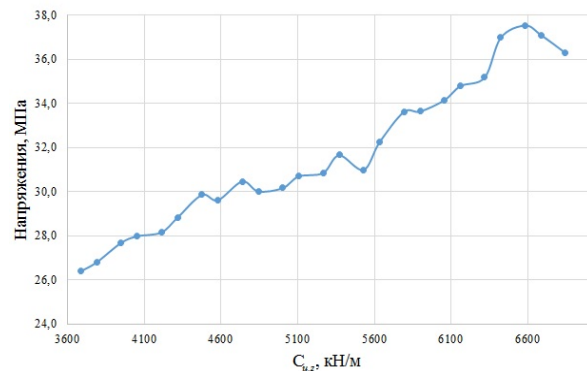


Рис. 8. Амплитуда напряжений в нижнем поясе (точка 1)

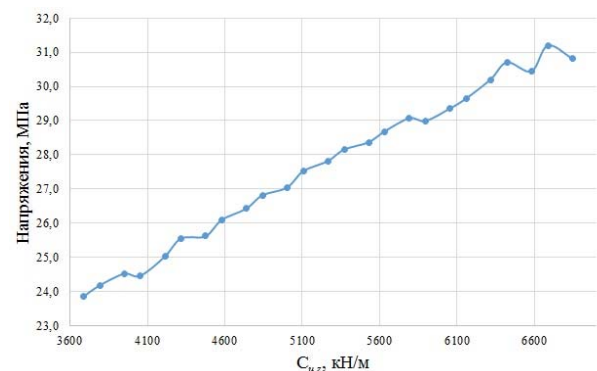


Рис. 9. Амплитуда напряжений во внутреннем углу буксового проема (точка 15)

В таблице 1 приведены точки с максимальными изменениями амплитуд напряжений от отдельных параметров рессорного подвешивания. В таблице 2 приведены изменения амплитуд напряжений в точках с максимальными значениями напряжений при действии нагрузок по I и III расчетному режиму. В таблице приняты обозначения:

$C_{i,j}$ – компоненты жесткости упругого элемента;

k – коэффициент относительного трения гасителя колебаний;

i – место установки упругого элемента;

b – буксовый узел;

ζ – центральный рессорный проем;

j – направления x , y или z .

Как видно из таблиц, наибольшее влияние на амплитуды напряжений в боковой раме оказывают параметры центрального рессорного комплекта – горизонтальная жесткость на нижний пояс и технологическое окно, вертикальная жесткость и коэффициент относительного трения на все приведенные точки. Параметры жесткости буксовой ступени оказывают на раму меньшее воздействие, при этом наименьшее воздействие оказывает продольная жесткость буксовой ступени.

Выводы.

1. Напряжения в боковой раме зависят от всех компонент жесткости центральной ступени подвешивания и только от поперечной и вертикальной жесткости в буксовой ступени подвешивания, а также от характеристик гасителя колебаний.
2. Чувствительность напряжений к параметрам рессорного комплекта низкая, но она вполне ощутимо влияет на сопротивление усталости и срок службы боковой рамы (при принятом в нормативной документации показателе кривой усталости $m=4$, уменьшение напряжений на 10% влечет увеличение срока службы в 1.46 раза)
3. Приведенные в статье результаты исследования могут быть использованы при подборе оптимальных параметров рессорного подвешивания трехэлементной тележки для повышения долговечности ее элементов. Наличие в буксовом узле упругих элементов, работающих в поперечном и вертикальном направлениях, положительно сказывается на напряженно-деформированном состоянии боковой рамы тележки.

Таблица 1

Точки максимального изменения амплитуды напряжений

Параметр рессорного подвешивания	№ точки	Расположение точки	Изменение амплитуды напряжений %
$C_{b,x}$	26	Усиливающее ребро в нижнем поясе	9
$C_{b,y}$	12	Наружный угол технологического окна	15
$C_{b,z}$	26	Усиливающее ребро в нижнем поясе	13
$C_{\zeta,xy}$	18	Ребро усиления на нижнем поясе	57
$C_{\zeta,z}$	2	Нижний пояс	53
k	19	Ребро усиления на нижнем поясе	58

Таблица 2

Изменения амплитуды напряжений в характерных точках

№ точки	Расположение точки	Изменение амплитуды напряжений %					
		$C_{b,x}$	$C_{b,y}$	$C_{b,z}$	$C_{\zeta,xy}$	$C_{\zeta,z}$	k
1, 2, 3, 25, 26	Нижний пояс	1-9 (26)*	2-14 (26)	7-13 (26)	8-45 (1)	31-53 (2)	24-51 (1, 3)
6,7,27	Нижний угол центрального рессорного проема	2-4 (7)	3-10 (7)	4-9 (6)	4-21 (7)	26-53 (6)	14-32 (7)
12, 13	Наружный угол технологического окна	4-6 (11)	9-15 (12)	6-9 (12)	18-36 (11)	22-40 (12)	25-51 (12)
14, 15	Внутренний угол буксового проема, зона r55	1-7 (14)	3-12 (14)	5-8 (14)	12-26 (14)	26-47 (15)	19-47 (15)

* – в скобках приведены номера точек с максимальным изменением амплитуды

Л и т е р а т у р а

1. Волченков, Н. Стальное литье и методы повышения качества [Электронный ресурс] / Н. Волченков, В. Моисеенков, Е. Сургаева // ИИС "Металлоснабжение и сбыт". – 2011. – Режим доступа: <http://www.metainfo.ru/ru/news/49443>, свободный. – Загл. с экрана. – Проверено: 22.08.2016.
2. Демин, Р. О разрушениях рам тележек грузовых вагонов [Электронный ресурс] / Р. Демин // Магистраль – 22.02.2012 – Режим доступа: <http://www.magistral-uz.com.ua/articles/o-razrushenijah-ram-telezhok-gruzovyh-vagonov.html> – Загл. с экрана. – Проверено: 20.12.2016.
3. Динамические качества грузовых вагонов, имеющих тележки с диагональными связями [Текст] / Е.П. Блохин, К.Т. Алпысбаев, Р.Б. Грановский [и др.] // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2012. – № 5, ч. 1. – С. 12-16.
4. Ишмухамметов, Ф. Рамы грузовых тележек продолжают ломаться [Электронный ресурс] / Ф. Ишмухамметов // Коммерсант.ru – 03.03.2014 – Режим доступа: <http://www.kommersant.ru/doc/2421946> – Загл. с экрана. – Проверено: 20.12.2016.
5. Конькова, Т.Е. О путях повышения эксплуатационной надежности стальных литых деталей тележек грузовых вагонов [Текст] / Т. Е. Конькова, В. Б. Беловодский, А. В. Великанов // Вестник ВНИИЖТ. – 2009. – № 1. – С. 22 – 26.
6. Мурадян Л. А. Залежність величини зносу пари тертя «п'ятник-підп'ятник» від пробігу вантажного вагона [Текст] / Л. А. Мурадян, Д. О. Подосьонов, В. Ю. Шапошник // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2017.– № 6 (72). – С. 61-69.
7. Мямлін, С. В. Технічний стан ковзунів як один із факторів впливу на динаміку вантажних вагонів [Текст] / С. В. Мямлін, Л. О. Недужа, А. О. Швець // Зб. наук. праць ДонІЗТ. ISSN 1993-5579. – 2013. – Вип. 35. – С. 65-72.
8. Національний стандарт України ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних); надано чинності 2014-01-02 К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 162 с.
9. Определение параметров пространственного нагружения литых деталей тележки 18-9855 при проведении стендовых испытаний [Текст] / Д.В. Шевченко, Т.С. Куклин, А.М. Орлова, Р.А. Савушкин, С.В. Дмитриев, А.В. Белякин // Техника железных дорог. – М., 2016. Вып. 1 (33). – С. 68-74.
10. РД 24.050.37.95 «Вагоны грузовые и пассажирские - Методы испытания на прочность и ходовые качества». – М. : ГосНИИВ, 1995.
11. Рейдемейстер, А. Г. Способы увеличения прочности боковых рам трехэлементных тележек [Текст] / А. Г. Рейдемейстер, А. А. Шикунов // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2015. – №. 5 (59). – С. 141-149.
12. Шупелов, Н. Анализ изломов боковых рам (2006 ÷ 2014 гг.) [Электронный ресурс] / Н. Шупелов// MyShared. – Режим доступа: <http://www.myshared.ru/slide/992141/> – Загл. с экрана. – Проверено: 20.12.2016.
13. Kim, J. H. Optimum design on suspension joint parts of GFRP composite bogie frame with H-shaped side beams for urban railway trains [Text] / J. H. Kim, K. B. Shin, J. S. Kim // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. 2012. – Vol. 13. №. 1. – P. 71-76.
14. Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars [Текст]/ S. Myamlin, O. Lunys, L. Neduzha, O. Kyryl'chuk // Proc. of 21st Intern. Scientific Conf. «Transport Means. 2017». – Kaunas. – 2017. – P. 973-976.
15. Park, B. H. Bogie frame design in consideration of fatigue strength and weight reduction [Text] / B. H. Park, K. Yo. Lee // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 2006. – Vol. 220. №. 3. – P. 201-206.
16. Park, B. H. Optimum design of tilting bogie frame in consideration of fatigue strength and weight [Text] / B. H. Park, N. P. Kim, Ju. S. Kim, K. Yo. Lee // Vehicle System Dynamics. 2006. – Vol. 44. №. 12. – P. 887-901.
17. Reidemeister O. H., Kalashnyk V. O., Shykunov O. A. Method of Constructing the Dynamic Model of Movement of the Multi-Mass System //Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. – 2017. – №. 5 (71). – С. 99-106.
18. Shykunov, O. A. Three-element bogie side frame strength [Text] / O. A. Shykunov // Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. 2017. – №. 1 (67). – P. 183-193.

R e f e r e n c e

1. Volchenkov, N. Steel Casting and Methods of Improving Quality [Electronic resource] / N. Volchenkov, V. Moiseenkov, E. Surgaeva // IIS "Metal Supply and Sales". – 2011. – Access mode: <http://www.metainfo.ru/en/news/49443>, free. – Title from the screen. – Checked on: 08/22/2012.
2. Demin, R. On the destruction of the frames of trolleys of freight cars [Electronic resource] / R. Demin // Magistral – 22.02.2012 – Access mode: <http://www.magistral-uz.com.ua/articles/o-razrushenijah-ram-telezhok-gruzovyh-vagonov.html> – Title from the screen. – Checked on: 12/20/2016.
3. Dynamic qualities of freight wagons having trolleys with diagonal links [Text] / Е.П. Blokhin, К.Т. Alpybaev, R.B. Granovsky [and others] // News of the East Ukrainian National University Volodymyr Dahl. – 2012. – № 5, part 1. – P. 12-16.
4. Ishmuhammetov, F. The frames of the trucks continue to break [Electronic resource] / F. Ishmuhammetov // Kommersant.ru – 03/03/2014 – Access mode: <http://www.kommersant.ru/doc/2421946> – Title from the screen. – Checked on: 12/20/2016.
5. Konkova, T.E. About ways of increase of operational reliability of steel cast parts of carriages of freight cars [Text] / T.E. Konkova, V.B. Belovodsky, A.V. Velikanov // VNIIZhT Bulletin. – 2009. – No. 1. – P. 22 - 26.
6. Muradyan L.A. The chargeability of the magnitude of the word "couple-pyatnik-pidpyatnik" for the test of the wagon [Text] / L.A. Muradyan, D.O. Podsonov, V. Yu. Shaposhnik // Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, 2017.– No.6 (72). – P. 61-69.
7. Myamlin, S. V. Technical condition of sliders as one of the factors influencing the dynamics of freight cars [Text] / S.V. Miamlin, L.O. Nedouzh, A.O. Shvets // Sb. sciences works DonIZT. ISSN 1993-5579. – 2013. – Issue 35. – P. 65-72.
8. National standard of Ukraine DSTU 7598: 2014. Freight cars. General requirements for calculations and designing of new and upgraded railroad weights of 1520 mm (non-self propelled); Enforced 04/01/2014: State Enterprise "UkrNDCs", 2017. – 162 with.

9. Determination of the parameters of the spatial loading of the cast parts of the trolley 18-9855 when carrying out bench tests [Text] / D.V. Shevchenko, T.S. Kuklin, A.M. Orlova, R.A. Savushkin, S.V. Dmitriev, A.V. Belyankin // Technique of railways. – M., 2016. Issue. 1 (33). – P. 68-74.
10. RD 24.050.37.95 "Freight and passenger cars – Test methods for strength and driving performance". – M.: GosNIIV, 1995.
11. Reidemeister, A.G. Methods of increasing the strength of side frames of three-element trolleys [Text] / A.G. Reidemeister, A.A. Shykunov // Science and progress of transport. Bulletin of the Dnepropetrovsk National University of Railway Transport. – 2015. – No. 5 (59). – P. 141-149.
12. Shupelov, N. Analysis of fractures of side frames (2006 ÷ 2014) [Electronic resource] / N. Shupelov // MyShared. – Access mode: <http://www.myshared.ru/slide/992141/> – Title from the screen. – Checked out: 12/20/2016.
13. Kim, J. H. Optimum design on suspension joint parts of GFRP composite bogie frame with H-shaped side beams for urban railway trains [Text] / J. H. Kim, K. B. Shin, J. S. Kim // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. 2012. – Vol. 13. №. 1. – P. 71-76.
14. Mathematical Modeling of Dynamic Loading of Cassette Bearings for Freight Cars [Текст] / S. Myamlin, O. Lunys, L. Neduzha, O. Kyryl'chuk // Proc. of 21st Intern. Scientific Conf. «Transport Means. 2017». – Kaunas. – 2017. – P. 973-976.
15. Park, B. H. Bogie frame design in consideration of fatigue strength and weight reduction [Text] / B. H. Park, K. Yo. Lee // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 2006. – Vol. 220. №. 3. – P. 201-206.
16. Park, B. H. Optimum design of tilting bogie frame in consideration of fatigue strength and weight [Text] / B. H. Park, N. P. Kim, Ju. S. Kim, K. Yo. Lee // Vehicle System Dynamics. 2006. – Vol. 44. №. 12. – P. 887-901.
17. Reidemeister, O. H. Method of Constructing the Dynamic Model of Movement of the Multi-Mass System /, O.H. Reidemeister, V. O. Kalashnyk, O. A. Shykunov // Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. – 2017. – №. 5 (71). – C. 99-106.
18. Shykunov, O. A. Three-element bogie side frame strength [Text] / O. A. Shykunov // Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. 2017. – №. 1 (67). – P. 183-193.

Рейдемейстер О. Г., Шикунів О. А. Вплив параметрів ресорного підвищення на динамічну навантаженість литих деталей візків вантажних вагонів

Наведено результати дослідження впливу основних параметрів ресорного підвищення на міцність бічної рами трьохелементного візка вантажного вагона з використанням математичної моделі руху вантажного вагона на трьохелементних візках і скінченно-елементної моделі бічної рами. Апробація математичної моделі проведена при порівнянні результатів моделювання і ходових динамічних випробувань вагона моделі 12-7039-01 на візках моделі 18-9836.

На першому етапі роботи, за допомогою математичної моделі коливань вагона визначено сили, що діють на бічну раму трьохелементного візка, при різних значеннях основних параметрів ресорного підвищення. В якості параметрів, що варіюються прийняті компоненти жорсткості пружин ресорного комплексу і пружного

елемента в буксовому адаптері, а також коефіцієнт відносного тертя гасника коливань.

Далі, за допомогою скінченно-елементної моделі, за результатами аналізу розподілу полів напружень в бічній рамі при I і III розрахунковому режимі, визначені контрольні точки, за якими в подальшому проводилася оцінка її напруженого стану. Для кожної зовнішньої сили, що діє на раму, визначені коефіцієнти впливу на компоненти напружень.

За отриманими з математичної моделі коливань вагона силами і коефіцієнтами впливу визначені напруження в моделі, при різних значеннях параметрів ресорного підвищення. За результатами моделювання отримано залежності амплітуди напружень в контрольних точках від компонент жорсткості пружин ресорного комплексу і пружного елемента в буксовому вузлі, а також від коефіцієнта відносного тертя фрикційного гасителя коливань.

Ключові слова: візок, бічна рама, динамічна навантаженість, злами, вантажний вагон.

Reidemeister A. G., Shykunov O. A., Influence of spring suspension parameters on the dynamic loading of cast parts of freight wagon bogies

The results of a study of the influence of spring suspension parameters on the strength of the side frame of a three-piece bogie for freight cars are presented. These results are obtained with using the mathematical model of the freight car movement and the finite element model of the side frame. The approbation of the mathematical model was carried out by comparison the results of modeling and running dynamic tests of the car model 12-7039-01 on the bogies model 18-9836.

With the mathematical model of the wagon oscillations the forces acting on the lateral frame of the three-element bogie are determined for different values of spring suspension parameters. The stiffness of the spring suspension and the stiffness of the elastic axlebox as well as coefficient of relative friction of the wedge dampers are considered as variable parameters.

Further the control points were determined on the basis of stress field calculation with the finite element model of the side frame. For each external force acting on the frame, the coefficients of influence on stress in control points are determined.

The stresses in the frame for various values of the spring suspension parameters are determined.

Keywords: bogie, side frame, dynamic loading, kinks, freight car

Рейдемейстер Олександр Геннадійович – к.т.н, доцент кафедри «Вагони та вагонне господарство» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. E-mail: reidemeister.a@gmail.com, ORCID 0000-0001-7490-7180

Шикунів Олександр Анатолійович – асистент кафедри «Вагони та вагонне господарство» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. E-mail: tri_s@ua.fm, ORCID 0000-0002-8256-2634

Рецензент: д.т.н., проф. **Глікін М.А.**

Стаття подана 15.06.2018