

УДК 629.463.63
DOI: 10.12737/23233

М.В. Мануева, Д.Я. Антипин, В.В. Кобищанов

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УЧЁТА УПРУГИХ СВОЙСТВ ПОДВЕШИВАНИЯ АВТОПОЕЗДА НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАГОНА-ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ КОНТРЕЙЛЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Выполнена оценка влияния учета упруго-диссипативных свойств подвешивания автопоезда, установленного на вагон-платформу для контрейлерных перевозок, при движении по реальным неровностям пути. Оценка динамических характеристик рамы платформы выполнена на основе конеч-

ноэлементных моделей с применением программного комплекса «Универсальный механизм».

Ключевые слова: контрейлерные перевозки, вагон-платформа, автопоезд, упруго-диссипативные свойства, конечноэлементная модель, динамические характеристики.

M.V. Manueva, D.Ya. Antipin, V.V. Kobishchanov

ASSESSMENT OF CONSIDERATION INFLUENCE OF ELASTIC PROPERTIES IN ROAD-TRAIN SUSPENSION UPON DYNAMIC CHARACTERISTICS OF FLAT-CAR FOR PIGGYBACK TRANSPORTATIONS

The assessment of consideration influence of elastic-dissipative properties in a road-train located upon a flat-car for piggyback transportations at the motion on real surface road imperfections is carried out. The assessment of dynamic characteristics in a flat-car frame is carried out on the basis of finite-

element models with the use of “Universal Mechanism” software complex.

Key words: piggyback transportations, flat-car, road-train, elastic-dissipative properties, finite-element model, dynamic behavior.

Контрейлерные перевозки являются современным и перспективным видом транспортировки грузов на дальние расстояния. Для организации контрейлерных перевозок в России требуется специализированный подвижной состав. В связи с этим предложена конструкция вагона-платформы с применением ферменных конструкций боковых балок [1-4]. На основе метода конечных элементов выбрана рациональная конструктивная схема рамы и проведен анализ её прочности, который показал, что конструкция соответствует всем прочностным требованиям и в дальнейшем целесообразна оценка динамических качеств платформы с использованием методик, описанных в [5-8].

В качестве инструмента для исследований принят отечественный промышленный программный комплекс моделирования динамики систем тел «Универсальный механизм» [9].

Формирование компьютерных моделей вагона-платформы выполнено в среде предпроцессора программного комплекса

«Универсальный механизм» UM Input на основе трехмерных моделей основных несущих элементов тележки, рамы вагона-платформы и различных типов грузов, разработанных в САД-комплексе Компас-3D.

При разработке всех моделей использован метод подсистем. В каждую математическую модель вагона-платформы в виде подсистемы включена твердотельная математическая модель тележки типа 18-100 [10], представляющая собой систему твердых тел, связанных силовыми элементами и шарнирами.

Рама вагона-платформы представляется в модели абсолютно твердым телом с реальными геометрическими размерами и инерциальными характеристиками.

Для анализа динамических характеристик и нагруженности вагона-платформы в эксплуатации разработана группа его компьютерных моделей для варианта загрузки вагона-платформы автопоездом (рис. 1). При этом рассматриваются твердотельные модели.

Отличительной особенностью трех вариантов модели вагона-платформы является степень детализации описания взаимодействия автопоезда с рамой.

В первом, упрощенном варианте абсолютно твердые тела, моделирующие тягач и полуприцеп, соединяются с колесными упорами рамы вагона-платформы группой контактных силовых элементов типа «точка - плоскость» 1, 2 (рис. 1). При этом упруго-диссипативные свойства контактного взаимодействия автомобильного колеса с упором учитываются приближенно через задание соответствующих коэф-

фициентов жесткости и диссипативного взаимодействия.

Второй вариант предусматривает уточненный учет упруго-диссипативных свойств автомобильного колеса при взаимодействии с упором рамы. Учет осуществляется в рамках модели, предложенной в [11] и предусматривающей введение между твердыми телами, моделирующими автопоезд, и рамой группы специальных частотно-зависимых упруго-диссипативных элементов 3 (рис. 1). Свойства упруго-диссипативных элементов 3 принимаются в соответствии с [12].

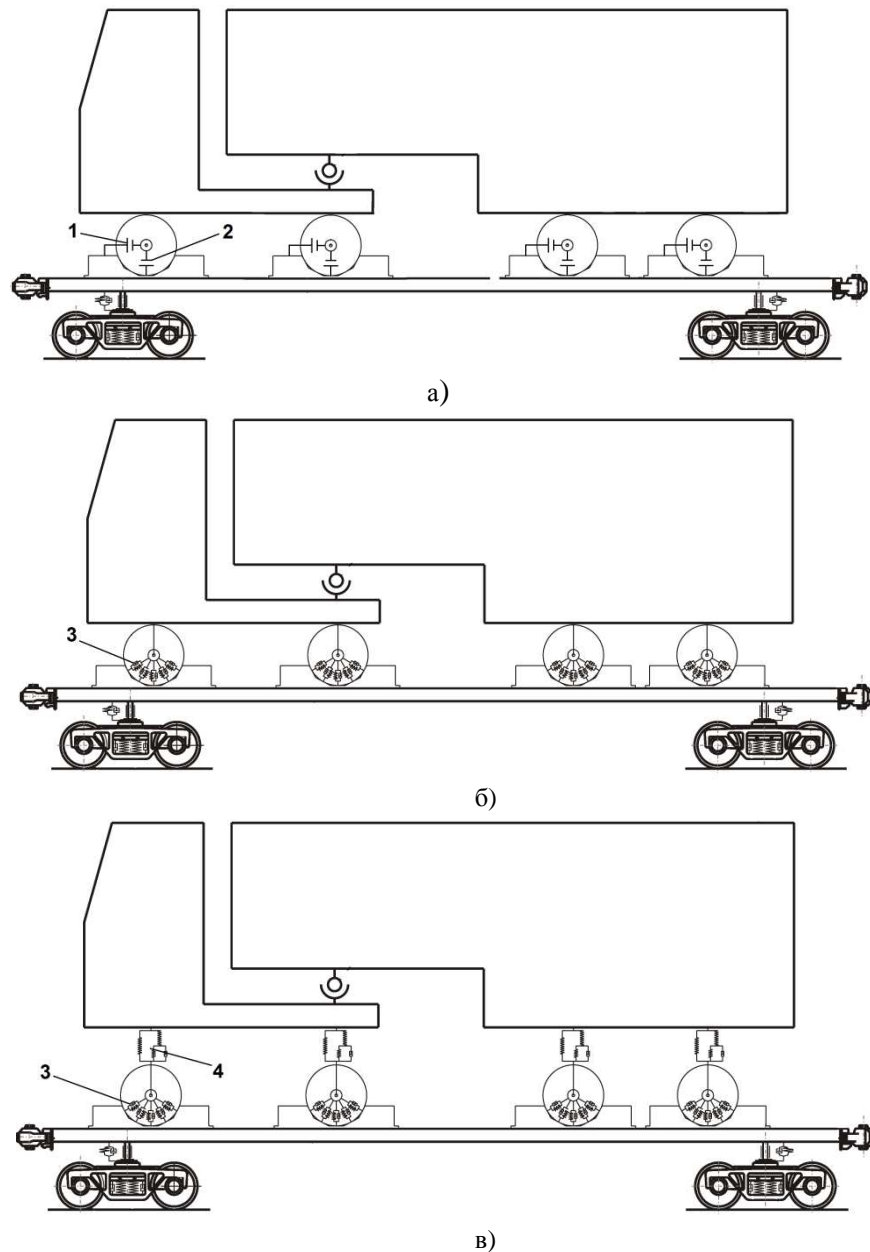


Рис. 1. Варианты динамической модели вагона-платформы, загруженного автопоездом: а – с упрощенным учетом упруго-диссипативных свойств автомобильного колеса; б – с уточненным учетом упруго-диссипативных свойств автомобильного колеса; в – с учетом упруго-диссипативных

свойств автомобильного колеса и элементов подвески автопоезда

Третья модель отличается от второго варианта введением дополнительных твердых тел, моделирующих оси колес 1 (рис. 2).

Твердотельные модели осей колес 1 аналогично второму варианту соединены группой специальных частотно-зависимых упруго-диссипативных элементов 2 с упорами рамы вагона-платформы. Твердо-

тельные модели кузова полуприцепа и тягача соединяются с осью колеса специальными упруго-диссипативными элементами 3, моделирующими пневмоподвеску автопоезда. В случае выключенной пневмосистемы подвески автомобиля вводятся частотно-зависимые упруго-диссипативные элементы 4, моделирующие резиновые опоры подвески тягача и полуприцепа.

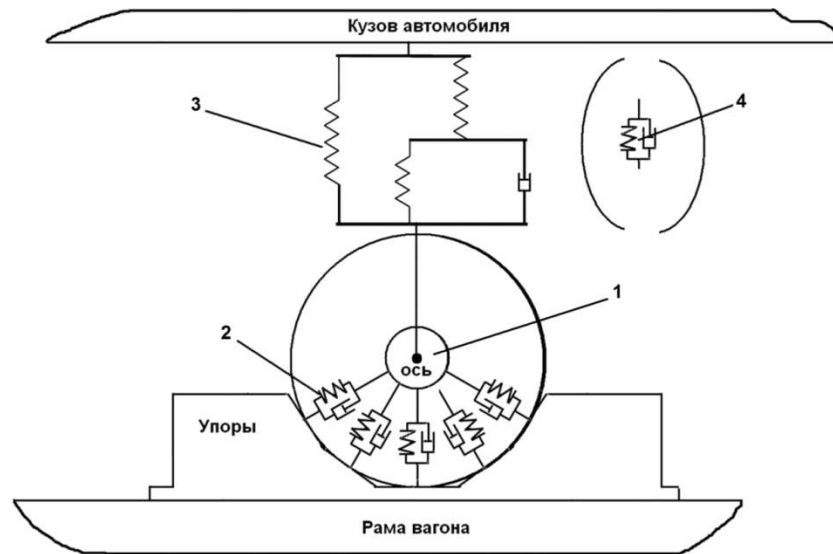


Рис. 2. Схема динамической модели взаимодействия автопоезда с рамой вагона-платформы:

1 – твердотельная модель оси колес автомобиля; 2 – упруго-диссипативный частотно-зависимый элемент, моделирующий взаимодействие пневматического колеса с упором; 3 – специальный упруго-диссипативный элемент, моделирующий пневморессору автомобиля; 4 – упруго-диссипативный элемент, моделирующий подвеску колес тягача автопоезда, не оборудованного пневморессорами

Анализ влияния учета упругих свойств колес и подвески автопоезда и полуприцепа на динамические показатели вагона-платформы осуществлялся путем сопоставления параметров ходовой динамики, полученных при моделировании его движения по прямым и кривым участкам пути с помощью трех вариантов твердотельных моделей.

На рис. 3-9 представлены результаты моделирования движения вагона-платформы, загруженного автопоездом, по прямому участку пути и в кривых со скоростями в интервале 20–120 км/ч. Кривая,

соответствующая варианту 1, получена с использованием упрощенной динамической модели (рис. 1 а); варианту 2 – с использованием модели, уточненно учитывающей упруго-диссипативные свойства автомобильного колеса (рис. 1 б); варианту 3 – с использованием наиболее полной модели, учитывающей упруго-диссипативные свойства автомобильных шин и подвески автопоезда (рис. 1 в).

На рис. 3 представлены графики зависимости ускорений кузова в пятниковой зоне от скорости движения вагона по прямому участку пути.

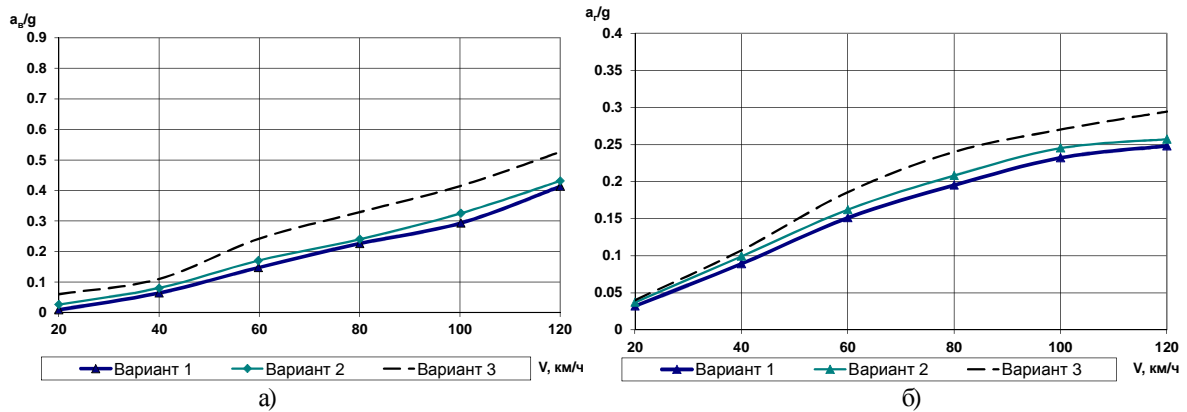


Рис. 3. Графики зависимости ускорений кузова в пятниковой зоне от скорости движения порожнего вагона-платформы по прямому участку пути: а – вертикальных; б – горизонтальных (поперечных)

На рис. 4, 5 представлены графики зависимости рамной силы и силы отжатия

рельса от скорости движения вагона-платформы по прямому участку пути.

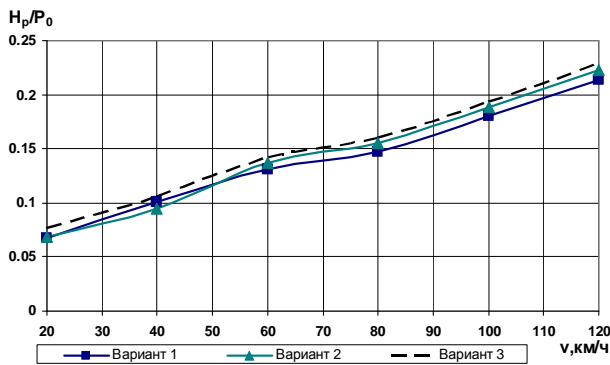


Рис. 4. Графики зависимости рамной силы от скорости движения вагона-платформы по прямому участку пути

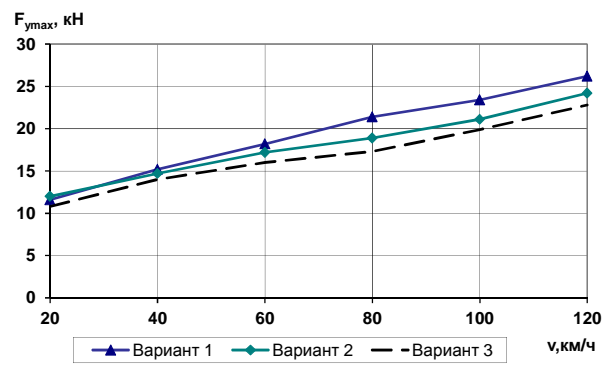


Рис. 5. Графики зависимости силы отжатия рельса от скорости движения порожнего вагона-платформы по прямому участку пути

На рис. 6 – 9 представлены графики зависимости от скорости движения вагона в кривых следующих параметров ходовой динамики:

- вертикальных и горизонтальных ускорений кузова (рис. 6);

- рамной силы (рис. 7);
- силы отжатия рельса(рис. 8);
- коэффициента безопасности в отношении вкатывания колеса на рельс (рис. 9).

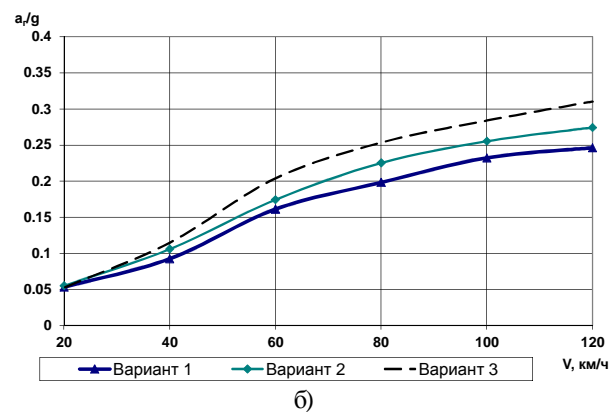
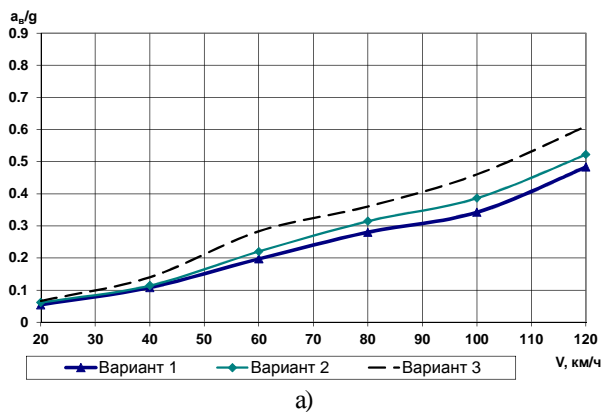


Рис. 6. Графики зависимости ускорений кузова в пятниковой зоне от скорости движения порожнего вагона-платформы в кривых: а – вертикальных; б – горизонтальных (поперечных)

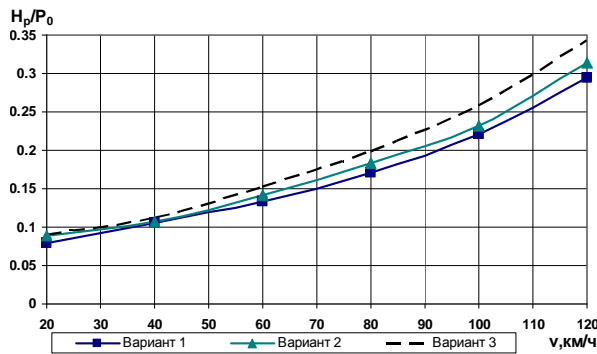


Рис. 7. Графики зависимости рамной силы от скорости движения вагона-платформы в кривых

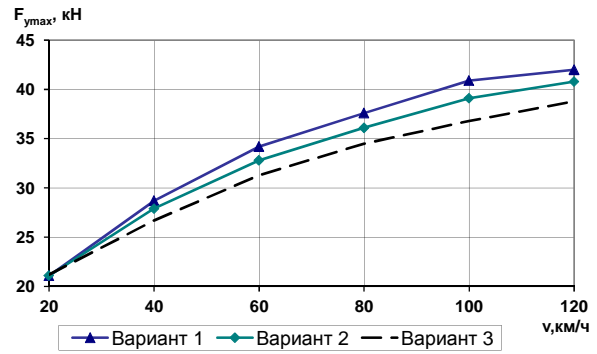


Рис. 8. Графики зависимости силы отжатия рельса от скорости движения порожнего вагона-платформы в кривых

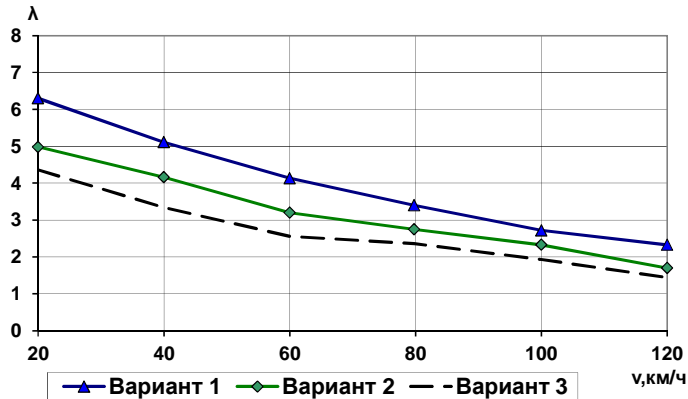


Рис. 9. Графики зависимости коэффициента безопасности в отношении вкатывания колеса на рельс от скорости движения вагона-платформы в кривых

Принимая первый вариант модели вагона-платформы за базовый для сопоставления, можно сделать следующие выводы:

1. Учет в модели упруго-диссипативных характеристик автомобильных колес автопоезда приводит:

- к повышению вертикальных ускорений кузова на 10% при движении на прямом участке пути и на 12% в кривых;

- повышению горизонтальных ускорений на 6% при движении на прямом участке пути и на 12% в кривых;

- увеличению рамных сил при движении на прямом участке пути на 12% и на 16% в кривых;

- снижению сил отжатия рельса на прямом участке пути на 10% и на 11% в кривых;

- снижению коэффициента безопасности в отношении вкатывания колеса на рельс в кривых на 18 %.

2. Учет в модели упруго-диссипативных характеристик автомо-

бильных колес и подвески автопоезда приводит:

- повышению вертикальных ускорений кузова на 34% при движении на прямом участке пути и на 42% в кривых;

- повышению горизонтальных ускорений на 22% при движении на прямом участке пути и на 25% в кривых;

- увеличению рамных сил при движении на прямом участке пути на 23% и на 30% в кривых;

- снижению сил отжатия рельса на прямом участке пути на 9% и на 10% в кривых;

- снижению коэффициента безопасности в отношении вкатывания колеса на рельс в кривой на 31%.

Анализируя приведенное сопоставление результатов моделирования движения вагона-платформы, загруженного автопоездом, можно сделать вывод, что учет влияния упруго-диссипативных свойств шины и элементов подвески тягача и полуприцепа оказывает значительное влияние (до 42%) на параметры ходовой дина-

мики вагона. В связи с этим для дальнейших исследований целесообразно использовать динамическую модель вагона-

платформы, уточненно учитывающую упруго-диссипативные свойства колес и подвески автопоезда (рис. 1 в).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. на полез. модель № 69001. Платформа для крупногабаритной колесной техники и крупнотоннажных контейнеров. - Зарегистрирован в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 10 декабря 2007 г.
2. Кобищанов, В.В. Длиннобазные платформы для контейнерных перевозок/ В.В. Кобищанов, Д.Я. Антипин, М.В. Сударева// Мир транспорта. – 2008. – № 4. – С. 66-70.
3. Кобищанов, В.В. Длиннобазная платформа/ В.В. Кобищанов, Д.Я. Антипин, М.В. Мануева// Железнодорожный транспорт. – 2011. – №9. – С. 65.
4. Мануева, М.В. Обоснование рациональной конструкции платформы для перевозки автопоездов и крупнотоннажных контейнеров/ М.В. Мануева// Вестн. ВНИИЖТ. – 2011. – №4. – С. 53-55.
5. Антипин, Д.Я. Динамическая нагруженность рамы вагона-платформы для перевозки крупнотоннажных контейнеров и автопоездов/ Д.Я. Антипин, В.В. Кобищанов, М.В. Мануева// Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – №2(33). – С. 73-78.
6. Антипин, Д.Я. Использование промышленных программных комплексов для исследования динамической нагруженности конструкций рельсового транспорта/Д.Я. Антипин, П.И. Шалупина// Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: сб. науч.тр. 5-й междунар.науч.-практ. конф. – Курск: Университетская книга, 2015. – С. 342-345.
7. Мотьянко, Т.А. Исследование динамической нагруженности четырехосного вагона-самосвала/ Т.А. Мотьянко, Д.Я. Антипин// Trans-mech-art-chem: тр. X междунар. науч.-практ. конф. –М.: МГУПС, 2014. – С. 73-74.
8. Гончаров, Д.И. Исследование динамических характеристик самоходной автомотрисы методами математического моделирования/ Д.И. Гончаров, В.В. Кобищанов, Д.Я. Антипин//Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – № 4 (44). – С. 16-19.
9. Программный комплекс «Универсальный механизм». - Режим доступа: <http://www.umlub.ru>.
10. Антипин, Д.Я. Анализ усталостной долговечности и живучести литых боковых рам тележки модели 18-100 при продлении их срока службы/ Д.Я. Антипин//Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – № 4 (39). – С. 42-47.
11. Pacejka, H.B. Tire and Vehicle Dynamics/ H.B. Pacejka// SAE International and Elsevier. - 2005. – 642 p.
12. Christian Gerdes, J. Safety Performance and Robustness of Heavy Vehicle AVCS/ J. Christian Gerdes, P. Yih, K. Satyan // Year One Report for MOU 390 / California PATH Program. - 2002. – 72 p.
1. Useful Model Pat. № 69001. *Flat-car for Big-volume Wheel Machinery and Large-capacity Containers*. – Registered in the State Register of Useful Models of the Russian Federation December 10, 2007.
2. Kobishchanov, V.V. Long-based flat-cars for piggyback transportations/ V.V. Kobishchanov, D.Ya. Antipin, M.V. Sudareva// *World of Transport*. – 2008. – № 4. – pp. 66-70.
3. Kobishchanov, V.V. Long-based flat-car/ V.V. Kobishchanov, D.Ya. Antipin, M.V. Manueva// *Railway Transport*. – 2011. – №9. – pp. 65.
4. Manueva, M.V. Substantiation of efficient flat-car design for transportation of road-trains and large-capacity containers/ M.V. Manueva// *Bulletin of ARRIERC*. – 2011. – №4. – pp. 53-55.
5. Antipin, D.Ya. Dynamic load of flat-car frame for transportation of large-capacity containers and road trains/ D.Ya. Antipin, V.V. Kobishchanov, M.V. Manueva// *World of Transport and Technological Machinery*. – 2011. – №2(33). – pp. 73-78.
6. Antipin, D.Ya. Use of industrial software complexes for researches of dynamic load of rail transport structures/D.Ya. Antipin, P.I. Shalupina// *Innovations, Quality and Service in Techniques and Technologies: Proceedings of the V-th Inter. Sc.-Pract. Conf.* – Kursk: University Book, 2015. – pp. 342-345.
7. Motyanko, T.A. Investigation of dynamic load of tetra-axial dump car/ T.A. Motyanko, D.Ya. Antipin// Trans-mech-art-chem: *Proceedings of the X-th Inter. Sc.-Pract. Conf.* –M.: MSUC, 2014. – pp. 73-74.
8. Goncharov, D.I. Investigation of dynamic characteristics of self-propelled automobile rail car through methods of mathematical modeling/ D.I. Goncharov, V.V. Kobishchanov, D.Ya. Antipin//*Bulletin of Bryansk State Technical University*. – 2014. – № 4 (44). – pp. 16-19.
9. “Universal Mechanism” Software Complex. – Access Mode: <http://www.umlub.ru>.
10. Antipin, D.Ya. Analysis of fatigue life and vitality in cast side frames of bogie of 18-100 model at their life extension//*World of Transport and Technological Machinery*. – 2012. – № 4 (39). – pp. 42-47.

11. Pacejka, H.B. Tire and Vehicle Dynamics/ H.B. Pacejka// SAE International and Elsevier. - 2005. – 642 p.
12. Christian Gerdes, J. Safety Performance and Robustness of Heavy Vehicle AVCS/ J. Christian

Gerdes, P. Yih, K. Satyan // Year One Report for MOU 390 / California PATH Program. - 2002. – 72 p.

*Статья поступила в редколлегию 27.02.2016.
Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета
Тихомиров В.П.*

Сведения об авторах:

Кобищанов Владимир Владимирович, д.т.н., профессор кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета, тел.: +7(910)3373197, e-mail: wagon@tu-bryansk.ru.

Антипин Дмитрий Яковлевич, к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического универ-

ситета, тел.: 8(4832)56-04-66, e-mail: adya24@rambler.ru

Мануева Марина Владимировна, к.т.н., доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета, тел.: +7(920)6061231, e-mail: mari_s@mail.ru.

Kobishchanov Vladimir Vladimirovich, Dr.Sci.Tech., professor of "Rolling Stock of the Railroads" department of the Bryansk state technical university, ph.: +7(910)3373197, e-mail: wagon@tu-bryansk.ru.

Antipin Dmitry Yakovlevich, PhD in Technological Sciences, associate professor, department chair "The

rolling stock of the railroads" of the Bryansk state technical university, ph.: 8(4832)56-04-66, e-mail: adya24@rambler.ru

Manuyeva Marina Vladimirovna, PhD in Technological Sciences, associate professor "The rolling stock of the railroads" of the Bryansk state technical university, ph.: +7(920)6061231, e-mail: mari_s@mail.ru.