

УДК 629.463

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ С УЧЕТОМ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Потапенко О.А., Могила В.И.

## INVESTIGATION OF THE DYNAMICS OF MOBILE CONNECTIONS OF FREIGHT CARS WITH CONSIDERING THE CONDITION OF THE RAILWAY TRACK

Potapenko O., Mogila V.

*При взаимодействии подвижного состава и верхнего строения железнодорожного пути возникают интенсивные динамические нагрузки. Они разрушают детали подвижного состава и элементы верхнего строения пути. Процесс взаимодействия колесо – рельс в значительной степени определяется динамическими свойствами вагона как автоколебательной системы, а именно свойством устойчивости невозмущенного движения, управлять которым можно только путем совершенствования конструкции тележки и прежде всего за счет улучшения её динамических свойств: степени демпфирования её собственных форм колебаний и обеспечения устойчивости невозмущенного движения в диапазоне эксплуатационных скоростей движения.*

*В статье рассмотрены проблемы, возникающие в работе тележки 18-100 с учетом ее конструктивного исполнения и влияние состояния верхнего строения пути на динамические характеристики движения грузовых вагонов.*

**Ключевые слова:** железнодорожный путь, рельсы, грузовой вагон, трехэлементная тележка, фрикционный гаситель колебаний, коэффициент динамики, эксплуатация.

**Постановка проблемы.** Парк грузовых вагонов Украины насчитывает свыше 146 тысяч вагонов, из них в рабочем состоянии находится около 95 тысяч, а остальные фактически исключены из эксплуатации и пребывают в запасе или в ремонте. В 2014 году на железных дорогах Украины эксплуатировалось более 170 тыс. грузовых вагонов, в том числе более 110 тыс., принадлежащих Укрзалізнице. Из них около 50 тыс. — полувагоны с износом до 90% [1].

Ежегодно, в результате сходов и повреждений в Украине выходит из строя несколько тысяч единиц грузовых вагонов. На текущий момент около 80% (105 тысяч единиц) грузовых вагонов старше нормативного срока эксплуатации. А возраст некоторых единиц давно перешел за 40 и даже 50 лет [2].

Изменение уровня качественного состояния рельсового пути, технического обслуживания и

условий эксплуатации вагонов в последнее время все чаще приводит к появлению усталостных трещин рам тележек грузовых вагонов, их изломов и разрушений, сходов с рельсов и крушениям поездов [3].

Поэтому важнейшей задачей является максимальное повышение безопасности и эффективности эксплуатации грузовых вагонов с двухосными тележками, как на магистральных дорогах, так и на промышленных предприятиях [4].

Совершенствование конструкции грузовых вагонов, особенно вагонов с повышенной нагрузкой на ось, улучшение их динамических качеств, системы демпфирования и гашения колебаний, снижение силового воздействия на элементы верхнего строения пути один из важнейших вопросов, который постоянно исследуется.

**Цель статьи.** Исследование динамики грузового вагона в зависимости от состояния и характера верхнего строения пути.

**Материалы и результаты исследования.** Динамические характеристики ходовых частей подвижного состава железных дорог напрямую влияют на безопасную эксплуатацию поездов в разных режимах загрузки вагонов и во всем диапазоне скоростей их движения.

Грузовые перевозки в основном выполняются подвижным составом с двухосными трехэлементными тележками типа 18-100 (ЦНИИ-ХЗ-0) [3]. Из-за низких динамических свойств, простые по конструкции и в обслуживании трехэлементные тележки, имеют ряд характерных недостатков. Как показывает практика, у тележки 18-100, в силу особенностей ее конструктивного исполнения, невозмущенное движение является неустойчивым, что приводит к интенсификации колебательных процессов в системе «вагон - путь», угрожает безопасности движения поездов и приводит к перечисленным выше последствиям. При взаимодействии подвижного со-

става и верхнего строения железнодорожного пути возникают интенсивные динамические нагрузки. Они оказывают разрушающее воздействие, как на детали подвижного состава, так и на элементы верхнего строения пути.

Результаты динамических показателей от возмущений, действующих на порожний и груженный полувагон на тележках 18-100, показаны на рис. 1 – 6 [5, 8, 10]. На данных рисунках горизонтальной линией обозначены допустимые значения динамических показателей грузовых вагонов, кривая линия показывает поведение полувагона при увеличении скорости движения.

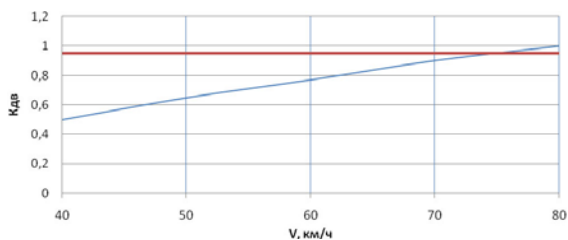


Рис. 1. Коэффициент вертикальной динамики порожнего полувагона

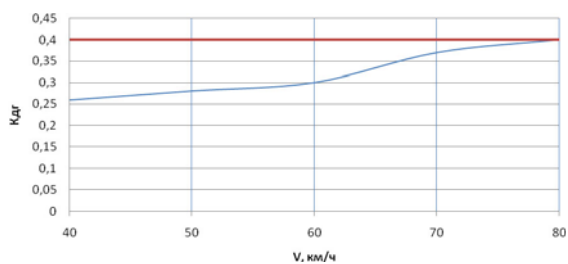


Рис. 2. Коэффициент горизонтальной динамики порожнего полувагона

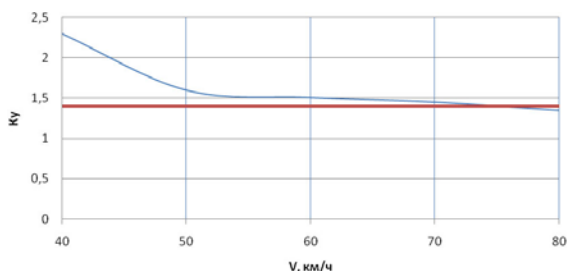


Рис. 3. Коэффициент устойчивости порожнего полувагона

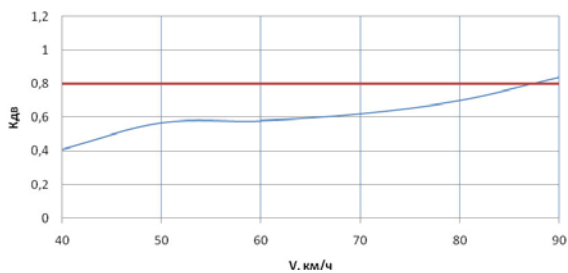


Рис. 4. Коэффициент вертикальной динамики груженого полувагона

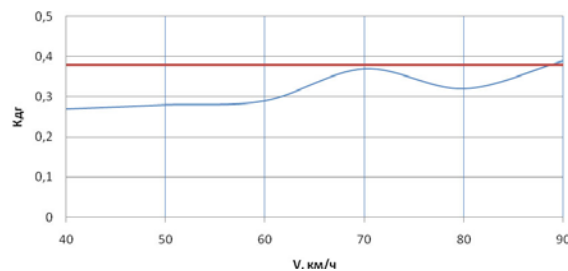


Рис. 5. Коэффициент горизонтальной динамики груженого полувагона

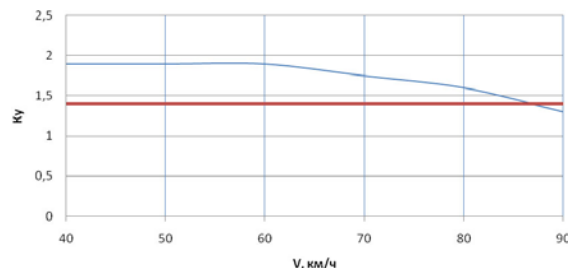


Рис. 6. Коэффициент устойчивости груженого полувагона

Действующие в настоящее время рекомендуемые и допускаемые величины динамических показателей для вагонов приведены в табл. 1 [6, 7, 8].

Таблица 1  
Допускаемые динамические показатели для грузовых вагонов

Критерий	Груженный	Порожний
$K_{дв}$	0,8	0,85
$K_{дг}$	0,40	0,40
$K_{уст}$	1,30	1,30

Как мы видим, все три динамических показателя выходят из допускаемого диапазона значений при скоростях, близких к 80 км/ч для порожнего и 90 км/ч для груженого полувагона. Дальнейшее повышение скорости движения грузовых вагонов приведет к ухудшению динамических показателей.

Вследствие ограничения максимально допустимой величины статического прогиба рессорного подвешивания грузовых вагонов по условиям сцепляемости в порожнем и груженом состояниях, весь диапазон эксплуатационных скоростей лежит в докритической и критической областях колебаний вагона. Это означает, что для обеспечения удовлетворительных ходовых качеств вагонов решающим фактором является демпфирование колебаний.

Различные несовершенства колесных пар, в совокупности с увеличенным модулем упругости пути, являются причиной накопления неисправностей узлов ходовой части вагона и дефектов верхнего строения пути, снижающих их технический ресурс. Выкрашивание металла в головке принимающего рельса, наличие выщербины, наклеп поверхности катания, а также значительный износ боковых поверхностей головок отдающего и принимающего

рельсов, указывают на сложный характер взаимодействия колеса и рельса в зоне стыка и на интенсивность сил взаимодействия колеса с рельсом [9].

В стыке всегда возникает дополнительная динамическая сила  $P$ , передаваемая и пути, и вагону. Для вагона она является источником возникновения колебаний, а для пути – источником повышения просядок шпал в балласте. В результате возникновения этих просядок продольный профиль пути приобретает вид, показанный на рис.7 [10].

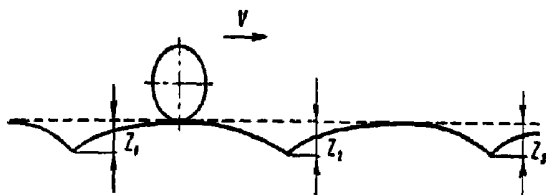


Рис. 7. Схема 3-х стыкового участка продольного профиля железнодорожного пути

Естественно, что при таком продольном профиле пути, колесо вынуждено неравномерно во времени перемещаться в пространстве и это также является одной из причин возникновения колебаний вагонов. К этому следует добавить, что ударные процессы возникают на каждом колесе колесной пары не одновременно из-за различного износа стыков. Различия в прогибах и сдвиге стыков друг относительно друга по длине пути и служат причиной появления большого количества дефектов рельсов и сокращения их срока службы. Иногда при перевозках возникает сильное взаимодействие вынуждающих сил в вертикальной и горизонтальной плоскостях симметрии экипажа, приводящее к резонансным явлениям и, соответственно, значительным колебаниям силы взаимодействия колеса и рельса, снижающим коэффициент устойчивости против вкатывания гребня колеса на головку рельса. При движении вагона по пути с железобетонными шпалами, повышенная, по сравнению с деревянными шпалами, жесткость пути, большая необрессоренная масса, а также значительная твердость объемнозакаленных рельсов и колес обуславливают повышение динамических сил в контакте колеса с рельсом.

Известно, что при скорости 70 км/ч и статической колесной нагрузке 100,45 кН неровность на поверхности катания длиной 250 мм и глубиной 1 мм вызывает увеличение давления колеса на рельс до 215,6 кН для железобетонных шпал и до 192,1 кН для деревянных шпал [11].

Вынужденной мерой борьбы с такими явлениями является действующее ограничение скорости 60 км/ч в кривых малого радиуса, что негативно влияет на пропускную способность железных дорог. Процесс взаимодействия колеса - рельс в значительной степени определяется динамическими свойствами вагона как автоколебательной системы, а именно свойством устойчивости невозмущенного движения, управлять которым можно только путем совершен-

ствования конструкции тележки прежде всего за счет улучшения её динамических свойств: степени демпфирования её собственных форм колебаний и обеспечения устойчивости невозмущенного движения в диапазоне эксплуатационных скоростей движения. Это основной путь снижения интенсивности колебательных процессов вагонов, износов в контакте колесо - рельс и нарушений безопасности движения.

В порожнем режиме движения грузового вагона по неровностям рельсового пути, вследствие недостаточного статического прогиба, как правило, не превышающего 8 - 10 мм, а также неизбежного износа в рессорном подвешивании элементов пары трения «клин - фрикционная планка», имеет место недостаточное демпфирование практически всех форм колебаний грузового вагона.

На основании проведенных исследований установлено, что сила трения, возникающая в гасителе, зависит от конфигурации профиля износа. В процессе эксплуатации фрикционного гасителя колебания тележки модели 18-100 плоскость рабочей поверхности фрикционного клина неравномерно изнашивается. Анализ геометрии закругления фрикционного клина и проведенные исследования износа, показали, что с уменьшением радиуса закругления поверхности фрикционного клина зазор прилегания клина к фрикционной планке увеличивается [3].

Ухудшение процесса гашения вертикальных колебаний, рост амплитуды колебаний, а следовательно и напряжений в элементах кузова, происходит при изменении геометрии клина на 12 мм. В этом случае сила трения гасителя колебаний уменьшается на 30...35 % у груженого вагона, а у порожнего происходит полная разгрузка клиньев [3, 12].

Анализ условий эксплуатации показал, что нестабильность коэффициента трения в фрикционных клиновых гасителях колебаний зависит от условий, главными из которых являются: нагрузка, скорость, свойства контактирующих поверхностей. Передача усилий и движения от одной детали к другой производится под давлением в области контакта.

Установлено, что при трении наряду с чисто механическими силами в зоне фрикционного контакта тяжелонагруженных деталей на результат трения и изнашивание контактирующих тел большое влияние могут оказывать силы, связанные с физическими, химическими, механохимическими, тепловыми процессами, развивающиеся непосредственно в зоне трения, когда там сильно меняются свойства взаимодействующих тел и их микрорельеф. Концентраторы тепловых и механических напряжений по своему меняют как уровни трения, так и изнашивание взаимодействующих тел [13 - 17].

Теоретический анализ проблемы исследования, а также опыт эксплуатации показал, что одним из условий, ограничивающим повышение скорости движения и улучшения динамических показателей рессорного подвешивания экипажа, и прежде всего,

рессорного подвешивания экипажа, и прежде всего фрикционных клиновых гасителей колебаний, есть силовые фрикционные связи ходовых частей рельсовых экипажей, которые обуславливают скоростные качества подвижного состава.

**Выводы.** Проведенные исследования современных условий эксплуатации подвижного состава указывают, что в настоящее время в связи с ростом износа эксплуатационного парка грузовых вагонов, а также недостатком оборотных средств на приобретение активных основных средств, ведущую роль играет:

- применение при изготовлении фрикционных гасителей колебаний и других деталей и узлов новых технологий и материалов;
- использование бесстыковых железнодорожных путей с рельсами типов Р65, Р75;
- укладывание железнодорожного пути на железобетонные шпалы со стабилизированным щебеночным основанием.

#### Л и т е р а т у р а

1. Українські залізниці. Ресурсоефективність залізниць. - № 3-4 (21-22) - 2015. - с. 30 - 37.
2. <http://trans-port.com.ua/53025-vetkhie-vagony-ukrzaliznyci-vse-chashhe-skhodjat.html> - Портал Trans Port.
3. Губачева Л.А., Потапенко О.А., Потапенко А.Н. Влияние геометрии поверхности фрикционного клина на работу фрикционного гасителя колебаний грузовых вагонов // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. - № 5 (212), ч. 1. - с. 64 - 66.
4. Губачева Л.А., Потапенко О.А. Модельная установка для испытаний фрикционных планок гасителя колебаний грузовых вагонов // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Комп'ютерні науки для інформаційного суспільства» грудень 12-13. Луганськ: видавництво «Ноулідж», 2012. - с. 364 - 367.
5. Письменный Е.А. Определение динамической нагрузки грузовых вагонов на опытных тележках / Е.А. Письменный // Вісник ДНУЗТ. - Д., 2007. - Вип. 17. - с. 182-187.
6. О нормах допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм: утверждено приказом МПС России № 41 от 12.11.01.
7. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). - М.: Гос НИИВ-ВНИИЖТ, 1996. - 319 с.
8. Вершинский С. В., Данилов В. Н., Хусидов В. Д. Динамика вагонов: Учебник для вузов ж.д. транспорта / Под ред. Вершинского С.В. - М: Транспорт.1991. - 360 с.
9. Журнал Объединение производителей железнодорожной техники «Техника железных дорог». - №3 (15), август, 2011. - с. 48 - 56.
10. Вериги М.Ф. Динамика вагонов. Конспект лекций. - М: ВЗИИТ, 1971. - 176 с.
11. Шарапов С.Н. Проблемы создания малообслуживаемого пути. Железнодорожный транспорт. 2011. - №3. - с. 25 - 32.
12. Потапенко О.А., Потапенко А.Н. Взаимосвязь геометрии фрикционного клина с процессом гашения вертикальных колебаний тележки 18-100. // Матеріали науково - практичної конференції студентів та молодих вчених «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» листопад 4 - 6. Северодонецьк: видавництво «СНУ ім. В. Даля», 2014. - с. 67 - 69.
13. Крагельский И. В. Трение и износ. Изд. 2 □ е. М.: Машиностроение, 1968. - 480 с.
14. Костецкий Б. И. Фундаментальные закономерности трения и износа. Киев: Общество «Знание». УССР, 1981. - 31 с.
15. Лихтман В. И., Щукин Е. Д., Ребиндер П. А. Физико-химическая механика металлов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. - 303 с.
16. Основы трибологии. М.: Машиностроение, 2001. - 663 с.
17. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника). М.: Машиностроение, 2003. - 575 с.

#### References

1. Ukraïns'ki zaliznici. Resursoefektivnist' zaliznic'. - № 3-4 (21-22) - 2015. - s. 30 - 37.
2. <http://trans-port.com.ua/53025-vetkhie-vagony-ukrzaliznyci-vse-chashhe-skhodjat.html> - Portal Trans Port.
3. Gubacheva L.A., Potapenko O.A., Potapenko A.N. Vliyanie geometrii poverhnosti frikcionnogo klina na rabotu frikcionnogo gasitelja kolebanij gruzovyh vagonov // Vistnik Shidnoukraïns'kogo nacional'nogo universitetu im. V. Dalja. - 2014. - № 5 (212), ch. 1. - s. 64 - 66.
4. Gubacheva L.A., Potapenko O.A. Model'naja ustanovka dlja ispytaniy frikcionnyh planok gasitelja kolebanij gruzovyh vagonov // Materiali III Mizhnarodnoï naukovopraktichnoï konferencii studentiv, aspirantiv ta molodih vchenih «Komp'juterni nauki dlja informacijnogo suspil'stva» grudень 12-13. Lugans'k: vidavnictvo «Noulidzh», 2012. - s. 364 - 367.
5. Pis'mennyj E.A. Opredelenie dinamicheskoy nagruzhennosti gruzovyh vagonov na opytnyh telezhkah / E.A.Pis'mennyj// Vistnk DNUZT. - D., 2007. - Vip. 17. - s. 182 - 187.
6. O normah dopuskaemyh skorostej dvizhenija podvizhnogo sostava po zheleznodorozhnyh putjam kolei 1520 (1524) mm: utverzhdeno prikazom MPS Rossii № 41 ot 12.11.01.
7. Normy dlja rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznyh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyh). - M.: Gos NIIV-VNIIZhT, 1996. - 319 s.
8. Vershinskij S. V., Danilov V. N., Husidov V. D. Dinamika vagonov: Uchebnik dlja vuzov.zh.d. transporta / Pod red. Vershinskogo S.V. - M: Transport.1991. - 360 s. Zhurnal
9. Objedinenie proizvoditelej zheleznodorozhnoj tehniky «Tehnika zheleznyh dorog». - №3 (15), avgust, 2011. - s. 48 - 56.
10. Verigo M.F. Dinamika vagonov. Konspekt lekcij. - M: VZIIIT, 1971. - 176 s.
11. Sharapov S.N. Problemy sozdaniya maloobsluzhivajemogo puti. Zheleznodorozhnyj transport. 2011. - №3. - s. 25 - 32.
12. Potapenko O.A., Potapenko A.N. Vzaimosvjaz' geometrii frikcionnogo klina s processom gashenija vertikal'nyh kolebanij telezhki 18-100. // Materiali naukovopraktichnoï konferencii studentiv ta molodih vchenih «Logistichne upravlinja ta bezpeka ruhu na transporti» listopad 4 - 6. Severodonec'k: vidavnictvo «SNU im. V. Dalja», 2014. - s. 67 - 69.
13. Kragel'skij I. V. Trenie i iznos. Izd. 2-e. M.: Mashinostroenie, 1968. - 480 s.

14. Kosteckij B. I. Fundamental'nye zakonomernosti trenija i iznosa. Kiev: Obshhestvo «Znanie». USSR, 1981. - 31 s.
15. Lihtman V. I., Shhukin E. D., Rebinder P. A. Fiziko-himicheskaja mehanika metallov. M.: Izd-vo AN SSSR, 1962. - 303 s.
16. Osnovy tribologii. M.: Mashinostroenie, 2001. - 663 s.
17. Trenie, iznos i smazka (tribologija i tribotehnika). M.: Mashinostroenie, 2003. - 575 s.

**Потапенко О.О., Могіла В.І.** Дослідження динаміки рухомих сполучень вантажних вагонів з урахуванням стану залізничної колії.

*При взаємодії рухомого складу і верхньої будови залізничної колії виникають інтенсивні динамічні навантаження. Вони руйнують деталі рухомого складу і елементи верхньої будови колії. Процес взаємодії колесо - рейка в значній мірі визначається динамічними властивостями вагона, як автоколивальною системою, а саме властивістю стійкості незбуреного руху, керувати котрим можна тільки шляхом вдосконалення конструкції візка і перш за все за рахунок поліпшення його динамічних властивостей: ступеня демпфірування його власних форм коливань і забезпечення стійкості незбуреного руху в діапазоні експлуатаційних швидкостей руху.*

*У статті розглянуті проблеми, що виникають в роботі візка 18-100 з урахуванням його конструктивного виконання і впливу стану верхньої будови колії на динамічні характеристики руху вантажних вагонів.*

**Ключові слова:** залізнична колія, рейки, вантажний вагон, трьохелементний візок, фрикційний гаситель коливань, коефіцієнт динаміки, експлуатація.

**Potapenko O., Mogila V.** Investigation of the dynamics of mobile connections of freight cars with considering the condition of the railway track.

*There are intensive dynamic loadings at interaction of a rolling stock and top structure of a railway track. At the interaction of rolling stock and the upper structure of railway track occur intense dynamic loadings. They destroy details of a rolling stock and elements of the superficial structure of a way. The process of interaction of wheel - rail is largely determined by the dynamic properties of the car as a self-oscillatory system, namely, the property of stability unperturbed motion, which can be controlled only by improving the design of the cart and first of all by improving its dynamical properties: degree of damping of her own forms of fluctuations and ensuring stability of not indignant movement in the range of operational speeds of the movement.*

*In article deals the problems arising in operation of the cart 18-100, taking into account her design and influence of a condition of the superficial structure of a way on dynamic characteristics of the movement of freight cars.*

**Keywords:** railway, rails, freight car, three-element cart, friction damper of fluctuations, the coefficient of dynamics, exploitation.

**Потапенко О.О.** - аспірант кафедри «Залізничний транспорт» СХУ ім. В. Даля, e-mail: vesna201009@rambler.ru  
**Могіла В.І.** – к.т.н., проф., зав. кафедри «Залізничний транспорт» СХУ ім. В. Даля.

Рецензент: д.т.н., проф. **Чернецька-Білецька Н.Б.**

Стаття подана 16.03.2016