

УДК 629.454.22.015

*Доктора техн. наук И.Э. Мартынов (УкрГАЗТ),  
В.Г. Маслиев (НТУ «ХПИ»),  
канд. техн. наук С.Д. Мокроусов, В.П. Щербаков  
(ТРАНСМАШ),  
канд. техн. наук В.И. Нестеренко (ПАО ХК «ЛТЗ»*

*Doct. of techn. sciences I.E. Martinov,  
doct. of techn. sciences V.G. Masliev,  
cand. of techn. sciences S.D Mokrousov,  
cand. of techn. sciences V.I. Nesterenko,  
cand. of techn. sciences V.P. Shcherbakov*

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ИЗНОСА ГРЕБНЕЙ КОЛЕС И РЕЛЬСОВ

### IMPROVED DESIGN CARGO TRUCKS-CARS OUT TO PREVENT WEAR PADDLE WHEELS AND RAILS

**Вступление.** Из-за многократного увеличения интенсивности износа гребней колес подвижного состава в последнее время проблема износа колес и рельсов превратилась в одну из актуальных [1].

Известно около двадцати факторов, совместно влияющих на износ пары "колесо-рельс" в зоне контакта гребня. Такая многофакторность затрудняет поиск обоснованных путей выхода из создавшейся ситуации, на которых следует сосредоточить внимание.

На основе анализа сверхнормативных износов пары "колесо-рельс" причины износа делят на три группы:

1. ГРУППА «П», связанная с конструкцией рельсового пути, а именно сужение колеи до 1520 мм и переход к железобетонным шпалам, что повысило жесткость пути.

2. ГРУППА «С», связанная с прекращением смазывания рельсов осевым маслом в связи с переходом на подшипники качения.

3. ГРУППА «Т» - снижение качества содержания и ремонта подвижного состава и пути.

#### **Анализ предыдущих исследований.**

Исследования отечественных ученых (Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна, Института технической механики Национальной академии наук Украины и др.) показали, что причины группы «Т» относятся к группе *первостепенных* [2, 3, 4, 5].

**Изложение основного материала.** В настоящее время подавляющее большинство грузовых вагонов оборудуются двухосными тележками, созданными на основе модели тележки 18-100. Рамы этих тележек состоят из двух боковых рам и поперечной надрессорной балки, опирающейся на комплекты пружин, размещаемых в проемах боковых рам.

Одним из достоинств такого типа тележек является то, что сила от веса кузова у них передается через центральный шкворень на середину надрессорной балки, а затем через комплекты пружин рессор - на середины боковых рам, которые выполняют роль балансиров, т.е. распределяют практически поровну силу от

веса кузова между всеми четырьмя колесами тележки. Это чрезвычайно важно для обеспечения безопасности движения по вкатыванию гребней колес на рельсы, особенно у вагонов, которые движутся без груза, т.к. статический прогиб рессор у них при этом мал (около 20 мм). Такой прогиб рессор может оказаться недостаточным для равномерного распределения силы от веса кузова по колесам тележки, например в условиях движения по рельсовому пути, имеющему значительные местные просадки рельсо-шпальной решетки.

Другим достоинством этих тележек является простота конструкции и технологичность при изготовлении в ремонте.

Однако таким тележкам присущ органический недостаток. Он заключается в том, что левая и правая боковые рамы тележки не жестко связаны между собой надрессорной балкой и пружинами рессорного подвешивания. Между сопрягаемыми частями даже на новых тележках имеются значительные зазоры.

Износ в процессе эксплуатации направляющих в боковых рамах, надрессорной балки, челюстей и букс приводит к значительному росту зазоров контактирующих пар, т.е. жесткие «удерживающие» связи типа «челюстей» практически исчезают, а пружины рессор за счет поперечной жесткости реализуют упругую связь надрессорных балок с боковыми рамами тележек.

При движении вагона это приводит к появлению продольных колебаний боковых рам и виляниям тележек. Возникают также продольные «забегания» боковых рам друг относительно друга - под действием продольных составляющих сил трения на контактах колес с рельсами, что вызывает потерю геометрии рамы тележки и к появлению перекосов осей колесных пар в ней.

Перекосы колесных пар в раме тележки, наблюдаемые в эксплуатации, достигают  $2^\circ$ , что вызывает почти

пятикратное увеличение износов гребней колес. Углы набега гребней на рельсы и, следовательно, износа гребней колесных пар зависят от величины перекоса колесных пар весьма существенно: взаимный перекоп в 0,004 рад увеличивает фактор износа в 4...8 раз.

Аналогичные результаты получены на полигоне в Пуэбло (США), на основании чего Ассоциацией американских железных дорог сделан вывод о том, что отклонения параллельности осей колесных пар свыше 0,003 рад не допустимо.

Перекоп колесных пар в колее приводит к увеличению проскальзывания гребня колеса по боковой грани головки рельса, что и обуславливает их повышенный износ. Как правило, в этом случае изнашивается гребень одного из колес вследствие появления одностороннего направляющего усилия, что также обуславливает появление остроконечного наката гребня.

Обмеры тележек грузовых вагонов, проведенные в различных регионах России, показали, что количество колесных пар с одинаковой толщиной гребней не превышает 20%. При износе гребня одного из колес до 25 мм средняя толщина гребня второго колеса составляла 30,3 мм, а у 65% колесных пар износ гребня наблюдается вообще только у одного колеса. Этому способствует также то, что у 40% вагонов, отцепленных по износу гребней, тележки были сформированы с отклонениями по базе боковых рам, что способствовало перекопу колесных пар, также как и различия в толщине стенок букс, достигающие в 20% случаев 3 мм и в 4% случаев 6 мм. Это ведет к перекопу колесных пар, превышающему 0,003 рад даже при чертежных размерах элементов рам тележки. Подбор букс при сборке позволил уменьшить разность толщины их стенок до 2 мм [6].

На основании приведенных материалов можно заключить, что перекопы колесных пар в рамах тележек

находятся среди наиболее существенных факторов, которые влияют на износ гребней колес и боковых граней рельсов. В этом вопросе мнения всех специалистов совпадают.

Продольные забеги боковых рам друг относительно друга особенно вредны при движении по кривым участкам пути, т.к. вызывают повороты колесных пар в плоскости пути *против* направления кривой. Это, в свою очередь, увеличивает *углы набега* гребней колес на рельсы, от которых зависит их взаимный износ, т.к. при этом *уменьшается площадь контактной площадки* гребня с боковой гранью рельса и, соответственно, увеличивается на ней удельное давление, определяющее их износ [2, 6, 7].

Изложенные особенности таких тележек наглядно показывают, что их конструкция устарела.

Проблемы совершенствования тележек особенно остро встала перед вагонным хозяйством на рубеже двух тысячелетий. В результате совместных действий Государственной администрации железнодорожного транспорта Украины «Укрзалізниця» и вагоностроительных заводов были предложены ряд тележек, наиболее удачной из которых оказалась тележка модели 18-7020 постройки Крюковского вагоностроительного завода.

В указанной тележке реализованы несколько конструктивных решений, которые позволили улучшить ее технико-экономические показатели, в том числе и уменьшить износ гребней колес:

- переход на скользуны постоянного контакта типа A-Staki;
- использование двухрядных конических подшипников кассетного типа;
- применение колес повышенной твердости.

Однако как в тележке 18-7020, так и в других подобных тележках, принципиальная конструктивная трехэлементная схема рамы осталась неизменной.

Попытки ее модернизации не решают главной проблемы, состоящей в органически присущем трехэлементной тележке конструктивному недостатку – *забеганий боковых рам друг относительно друга*.

При достижении предельных значений упомянутых износов связей у тележки, когда зазоры достигают нескольких миллиметров, боковые рамы постоянно остаются в смещенном положении даже при движении по прямым участкам пути. При этом гребень колеса, расположенного со стороны отстающей боковой рамы, оказывается постоянно прижатым к боковой грани рельса и стремительно изнашивается. Это дает объяснение тому, что гребни у правого и левого колес у большинства колесных пар изнашиваются крайне неравномерно.

Такие тележки весьма опасны также с точки зрения ухудшения устойчивости движения по всползанию гребней на рельсы.

К сожалению, усилия специалистов, направленные на устранение этого недостатка при сохранении трехэлементной конструкции рамы тележки, не увенчались успехом.

По нашему мнению, которое (как было сказано выше) в основном совпадает с мнением специалистов в области железнодорожного транспорта, этот органический недостаток тележек с трехэлементными рамами оказывает серьезное влияние на остроту проблемы износа гребней колес грузовых вагонов и боковых граней рельсов.

На факторы «перекося колесных пар в рамах тележек» и взаимное «забегание» рам тележек грузовых вагонов можно эффективно воздействовать только путем глубокого пересмотра конструкции тележек.

Рассмотрим пути решения этой проблемы на железных дорогах за рубежом.

В Российской Федерации продолжают работы по дальнейшему усовершенствованию тележек, созданных на базе тележки с трехэлементной рамой.

В Европе получила распространение тележки типа Y25 (рис. 1), у которых рама

является жесткой, одноэлементной, т.е. проблема «забегания» боковых рам, вызывающая перекосы осей колесных пар, решена радикально [8].



Рис. 1. Тележка Y25 с одноэлементной рамой и металлическими рессорами

У этих тележек сохранен центральный шкворень, через который передается сила от веса кузова на поперечную балку рамы тележки, что обеспечивает равномерную передачу через нее силы от веса кузова на боковины.

Индивидуальное буксовое рессорное подвешивание у таких тележек должно быть достаточно гибким при движении вагона без груза, т.к. у них, в отличие от тележек с трехэлементной рамой, рессорное подвешивание является индивидуальным и оно не обеспечивает одинакового распределения сил от веса кузова по всем четырем колесам тележки. Однако оно должно быть и достаточно жестким при движении с грузом, чтобы не вызвать размыкания автосцепок.

Такие противоречивые требования удовлетворяются, например, путем

применения в рессорном подвешивании конических упругих элементов с нелинейной характеристикой (рис. 2, 3).

На рис. 3 приведено фото буксового узла с рессорами, выполненными из резино-металлических элементов, имеющих цилиндрическую форму, а их диаметры увеличиваются сверху вниз, образуя конус (рис. 4). Это обеспечивает получение необходимой нелинейной характеристики рессоры.

В докладе на конференции [8] приведена информация по современной тележке LEILA-DG, которая спроектирована для железных дорог Европы. Она имеет осевую нагрузку 250 Кн, конструкционную скорость 120 км/ч и одноэлементную раму (рис. 5).

Основные моменты доклада изложены ниже.



Рис. 2. Тележка Y25 с резино-металлическими рессорами



Рис. 3. Буксовый узел тележки

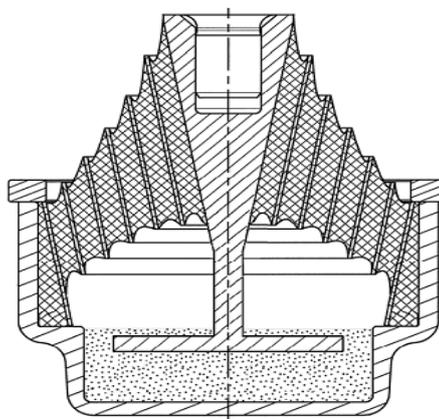


Рис. 4. Резино-металлическая рессора

Для работы над проектом тележки LEILA-DG были привлечены следующие компании: Josef Veyer Waggon (Райнфельден, Швейцария) — разработка рамы тележки и изготовление опытного образца; Freudenberg Schwingungstechnik Industrie (Фельтен, Германия) — резиновые упругие элементы, амортизаторы; SAB WABCO КР (Бад-Ненндорф) — тормоза и система их диагностики; Bochumer Verein

Vekhrstechnik (Бохум, Германия) — колесные пары, буксовые подшипники, межотраслевой научно-технический союз железнодорожной техники (Берлин) — организация проектирования и др.

На базе углубленных динамических исследований и расчетов на модели изучались вопросы выбора первичного рессорного подвешивания и способа опирания (внутреннего или наружного), а

также эффективности применения диагональных связей. Расчеты показали, что масса тележки меньше 4 т. Такая масса достигнута при условии внутреннего опирания рамы тележки на колпарты, так как здесь сила тяжести вагона передается к первичному рессорному подвешиванию

кратчайшим путем. Внутреннее опирание при одинаковых динамических свойствах позволяет использовать первичное рессорное подвешивание повышенной жесткости, что говорит в пользу применения в качестве рессор резиновых упругих элементов.

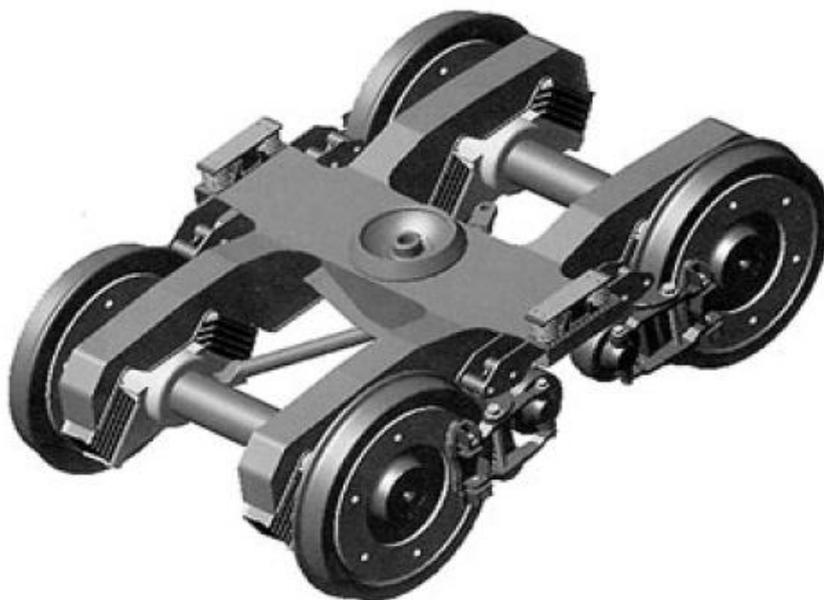


Рис. 5. Тележка LEILA-DG

Система диагностики контролирует все важные для безопасности движения детали, совместимость со стационарными устройствами обнаружения греющихся букс не требуется.

Применение диагональных связей для поперечного соединения колесных пар улучшило ходовые качества как на прямолинейных участках, так и в кривых. Диагональные связи выполнены в виде соединительных штанг. Исследования динамики такой системы показали, что заметное снижение износа в сочетании с устойчивым движением со скоростью до 120 км/ч возможно лишь при наличии поперечного соединения колесных пар.

Сочленение тележки с кузовом осталось традиционным и состоит из расположенного в середине рамы

полусферического подпятника и двух боковых опор. Сохранение этой концепции объясняется тем, что только подпятники являются приемлемой по цене конструкцией, обеспечивающей проследование по кривым малого радиуса (многие примыкающие линии и подъездные пути имеют радиусы 35 м и меньше). Благодаря этой системе обеспечивается полная совместимость новой тележки с прежней конструкцией кузова. Тележка оснащена дисковым тормозом. Диск изготовлен из алюминиевого сплава, что позволило значительно снизить общую массу тормозного оборудования по сравнению с традиционным решением. Более высокая стоимость алюминия по сравнению со сталью с избытком компенсировалась

значительно большим сроком службы. Благодаря размещению тормозных дисков на ступицах колес обеспечивается существенное гашение шума от качения колес по рельсам. Тормозные диски дополнительно играют роль абсорберов шума.

Первая ступень первичного рессорного подвешивания состоит из пары клиновых резиновых рессор в сочетании с гидравлическим гасителем колебаний, характеристика которого зависит от нагрузки. Резиновые рессоры также имеют прогрессивную характеристику, т. е. зависящую от нагрузки и обеспечивающую устойчивость хода вагона как с грузом, так и в порожнем состоянии.

Применение резиновых рессор ведет к значительному снижению уровня корпусного шума по сравнению с традиционной тележкой, поскольку колебания высокой и средней частоты, возникающие в зоне контакта колеса с рельсом, не передаются на кузов вагона.

Следует отметить, что еще более радикально можно решить этот вопрос путем применения, например, пневматических или гидропневматических рессор, жесткость которых может регулироваться в зависимости от загрузки вагона так, что высота автосцепки относительно головок рельсов сохраняется практически неизменной [2].

Для дальнейшего повышения привлекательности железнодорожного транспорта для клиентуры, а также обеспечения его эффективности и безопасности тележки оборудованы информационными устройствами. Для их электроснабжения используется подвагонный генератор с приводом от оси колесной пары. Применение информационных устройств обеспечивает повышение надежности и эксплуатационной готовности вагона благодаря наличию диагностической информации по каждой тележке. В этом случае можно в значительной мере

уменьшить число непредсказуемых отказов и достигнуть прозрачности транспортной цепочки.

Отправитель может в любое время получить информацию о местонахождении или состоянии своего груза. Эта практика уже внедрена в системе автомобильных грузовых перевозок. Здесь следует отметить, что грузы некоторых категорий можно перевозить по железной дороге только при этом условии.

Активная безопасность уже достигается применением системы диагностики деталей подвижного состава (тормозов, подшипников, рессор), пассивная — применением специальных датчиков, которые при сходе с рельсов или возникновении ситуации, чреватой сходом, быстро подают сигнал тревоги. Размеры повреждений при этом заметно снижаются.

Повышение скорости транспортировки достигается путем автоматизации процессов, требующих больших затрат времени. Так, длящийся более 2 ч технический осмотр вагона, включающий опробование тормозов, с использованием информационных систем может быть проведен за несколько минут. Упрощается процесс сортировки за счет прицельного торможения, которое, с одной стороны, заметно уменьшает число путей, занимаемых на сортировочных станциях, с другой стороны, делает возможным проведение маневровых работ вне этих станций.

В ходе динамических исследований вагонов с определением уровня износа тележек и оценкой плавности хода сравнивали вагоны на тележках LEILA-DG и на двух обычных, наиболее распространенных в Европе типов. Речь идет о тележках с листовыми параболическими рессорами (условно Schake) и наиболее распространенной сейчас Y25. Для сравнивавшихся тележек была разработана многотельная модель (MKS), в которой использовались результаты стендовых испытаний.

Результаты, полученные на модели, сравнивали с реальными величинами, полученными во время измерительных поездок, которые выполнял Европейский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ERRI).

Для грузовых вагонов плавность хода может характеризоваться частотой собственных колебаний галоупирования и величиной ускорений кузова. Если у традиционных тележек собственная частота галоупирования составляет примерно 6 Гц, то у тележки LEILA-DG она равна 4 Гц. Для количественной оценки плавности хода привлекалось среднее квадратичное значение ускорений кузова (стандартное

отклонение). На рис. 6 сопоставлены стандартные отклонения вертикальных ускорений традиционных тележек и тележки LEILA-DG при движении со скоростью 100 км/ч по пути с нарушениями геометрии. У тележки LEILA-DG, несмотря на увеличенную жесткость рессор, плавность хода оказалась выше в связи с отсутствием фрикционных гасителей колебаний.

Износ в зоне контакта колесо – рельс количественно определяется величиной коэффициента мощности трения  $PR$ . На рис. 7 представлены суммарные кривые изменения величины  $PR$  в зависимости от радиуса кривой  $R$ .

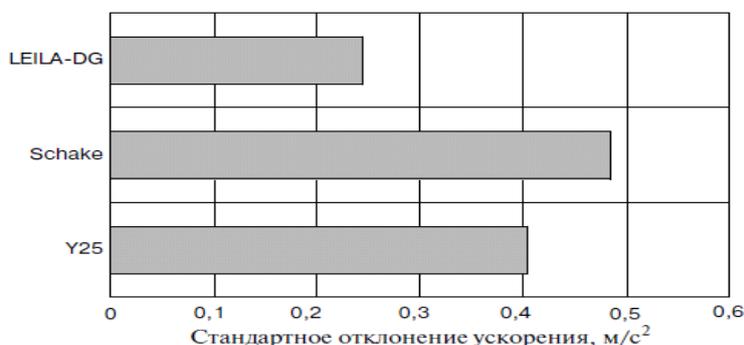


Рис. 6. График плавности хода

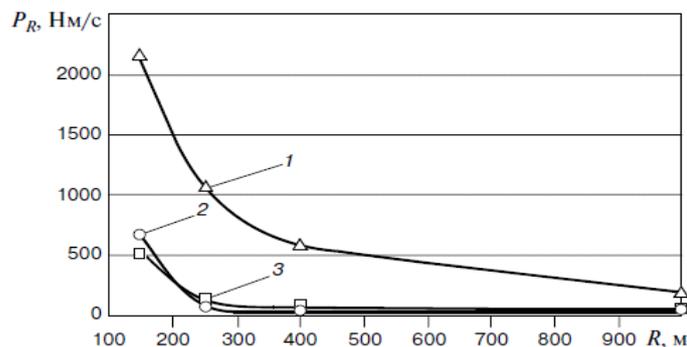


Рис. 7. Износ гребней при движении по кривым:  
1 – тележка Y25; 2 – тележка «Schake»; 3 – тележка LEILA-DG

При моделировании принимали, что вагон проходит кривые всех радиусов с некомпенсированным поперечным ускорением  $0,4 \text{ м/с}^2$ . Тележка LEILA-DG по изно-

су колес имеет те же показатели, что тележка Schake, но лучшие показатели, чем тележки Y25.

Тележку LEILA-DG изготовили в конце 2003 г., а в сентябре 2004 г. эта тележка экспонировалась на международной выставке Inno Trans.

Для заказчиков, которым требуются вагоны с высокой надежностью, малыми расходами на техническое обслуживание, максимальной грузоподъемностью, высокой скоростью доставки за счет ускоренного выполнения маневровых работ на малых сортировочных станциях и высоким уровнем безопасности, экономические достоинства новой тележки будут особенно важными.

К экономическим преимуществам тележки LEILA-DG добавляется еще составляющая, обусловленная низким уровнем шума. В Швейцарии с января 2002 г. малозумные поезда получают бонусы в расчете на одну колесную пару и 1 км пробега, некоторые железнодорожные компании уже работают над реализацией предложения о зависимости тарифов от уровня шума, излучаемого грузовыми поездами. Это предложение поддержал и транспортный форум Германии. Дальнейшим развитием инициативы будет разделение всех видов подвижного состава на категории по уровню создаваемого шума. При этом тариф для них будет увеличиваться с ростом этого уровня. Операторы, которые будут использовать «тихие» тележки LEILA-DG, смогут рассчитывать на более низкие тарифы.

#### **Выводы**

1. Анализ научных трудов специалистов, касающихся причин сверхнормативного износа рельсов и гребней колес тележек грузовых вагонов, показал, что одна из существенных причин износа состоит в том, что трехэлементная конструкция рамы не обеспечивает сохранение в процессе эксплуатации исходной геометрии и параллельности осей колесных пар.

2. Оси колесных пар у таких тележек разворачиваются под действием сил трения на контактах колес с рельсами всегда

*против* направления кривой, что увеличивает углы набега гребней колес на боковые грани рельсов, уменьшает площади пятен контактов гребней с рельсами, вызывает увеличение контактных напряжений на этих контактах. В результате возрастает износ гребней и боковых граней рельсов.

3. Поскольку по одним и тем же рельсовым путям движутся поезда как пассажирские, так и грузовые, то необходимо уравнивать их воздействие на путь и, в том числе, на износ рельсов.

4. Анализ зарубежного опыта по созданию перспективных тележек для грузовых вагонов показал, что для решения проблемы износа гребней и рельсов необходимо разработать тележки с жесткой одноэлементной рамой. Это обеспечит исключение как продольных забегов боковых рам друг относительно друга, так и параллельность осей колесных пар. При этом сблизится влияние на рельсовый путь грузовых вагонов с пассажирскими и существенно уменьшится износ гребней колес и боковых граней рельсов.

5. В конструкции перспективной тележки необходимо учесть зарубежный опыт в части оборудования ее системой для радиальной установки колесных пар при движении по кривым (например, диагональными тягами, связывающими диагонально расположенные буксы), устройствами для снижения уровня шума при движении, для повышения безопасности (путем применения системы диагностики ее узлов и деталей тормозов, подшипников, рессор), датчиками, которые при сходе с рельсов (или возникновении ситуации, чреватой сходом), подают сигнал тревоги, и т. д. – чтобы тележка стала конкурентоспособной.

6. После постройки и всесторонних испытаний новой тележки предлагается выпускать новые вагоны и осуществлять модернизацию вагонного парка грузовых вагонов только на ее базе. Наряду с другими мероприятиями это снизит остроту проблемы износа пары «колесо-рельс».

*Список літератури*

1. Лашко, А.Д. К вопросу о стратегии Укрзализныци по решению проблемы устранения сверхнормативных износов пары "колесо–рельс" [Текст] / О.М. Савчук, А.Д. Лашко // Залізничний транспорт України. – 1997. – №2-3. – С. 2-4.
2. Маслиев, В.Г. Динамика тепловозов с устройствами, уменьшающими износ бандажей колес [Текст]: монография / В.Г. Маслиев. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – 288 с.
3. Анофрієв, В.Г. Дослідження та розробка комплексу системних технічних рішень вантажних вагонів нового покоління та впровадження їх у виробництво та експлуатацію (витяг) [Текст] / В.Г. Анофрієв, В.В. Корнієнко, Б.А. Коробка [та ін.] // Вагонный парк. – 2011. – № 12. – С. 49-55.
4. Ушкалов, В.Ф. О совершенствовании комплексной модернизации тележек грузовых вагонов [Текст] / В.Ф. Ушкалов, С.С. Пасичник, И.В. Подбельнирков // Вагонный парк. – 2011. – № 12. – С.8-11.
5. Митрохин, А.Н. "Колесо–рельс": требуется более совершенная теория [Текст] // Железнодорожный транспорт. – 1998. – №7. – С. 41-44.
6. Богданов, В.М. Техническое состояние вагона и износ гребней колес [Текст] / В.М. Богданов, И.Д. Козубенко, Ю.С. Ромен // Железнодорожный транспорт. – 1998. – №8. – С. 23-26.
7. Богданов, В.М. Проблема износа колес и рельсов. Возможные способы борьбы [Текст] / В.М. Богданов, Ю.А. Евдокимов, В.Н. Кашников, И.А. Майба // Железнодорожный транспорт. – 1996. – № 12. – С 30-31.
8. Gigabox. Integration der Gummifedern mit hydraulischer Dämpfung in das Radsatzlagergehäuse. Ing. Gottfried Kure, Marketing Direktor, SKF Railway Business Unit, Steyr, Osterreich, B. Tech. John Skiller, Projektmanager, SKF Railway Business Unit, Nieuwegein, Holland, Dipl. Ing. Volker Gedenk, Proektmanager CRE Conti Tech Railway Engineering, Conti Tech Luftfedersystem GmbH, Hannover, Deutschland, Dipl. Ing. Jozef Kubicko, Proektmanager Tatragonka a.s., Poprad, Slowakei. Modern Rolling Stock.: 37 th Conference 2007, University of Technology Graz.

**Ключевые слова:** тележка, система колесо-рельс, износ.

*Аннотації*

Запропоновано поступове виключення візків вантажних вагонів з трьохелементними рамами з експлуатації в Україні, де вантажні, пасажирські та швидкісні потяги рухаються по загальній колії, що потребує зрівняння їх динамічних характеристик щодо впливу на колію. Для вирішення проблеми пропонується розробити візок з одноелементною рамою.

Предложено постепенное исключение тележек грузовых вагонов с трехэлементными рамами из эксплуатации в Украине, где грузовые, пассажирские и скоростные поезда движутся по общей колее, что требует уравнивания их динамических характеристик по воздействию на путь. Для решения проблемы предлагается создать тележку с одноэлементной рамой.

Proposed gradual elimination of freight wagon bogies with frames of trehèlementnymi Ukraine, where freight, passenger and fast trains move on a track that demands total equalizing their dynamic characteristics on the way. As a way to solve the problem, proposed the creation of a cart with the singleton frame.