

**В. Ф. УШКАЛОВ, Т. Ф. МОКРИЙ, И. Ю. МАЛЬШЕВА, И. А. МАЩЕНКО,  
Л. Г. ЛАПИНА, С. С. ПАСИЧНИК, И. В. ПОДЪЕЛЬНИКОВ, Н. В. БЕЗРУКАВЫЙ**

### **ОБНОВЛЕНИЕ ПАРКА ГРУЗОВЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ С ПОВЫШЕНИЕМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ И УВЕЛИЧЕНИЕМ РЕСУРСА ХОДОВЫХ ЧАСТЕЙ**

В статье изложены результаты теоретических исследований, выполненных за последние годы в Институте технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины, которые направлены на решение актуальной проблемы обновления парка грузовых вагонов, эксплуатирующихся на железных дорогах с шириной колеи 1520 мм. Цель исследований заключалась в разработке предложений по внесению изменений в конструкцию ходовых частей при выполнении модернизации существующих типовых тележек (модель 18-100) и создании новых перспективных тележек грузовых вагонов для повышения их эксплуатационных и ресурсных показателей. Дано краткое описание предложенной комплексной модернизации тележек модели 18-100 и результатов ее применения. Выполнены теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых разработаны рекомендации по модернизации тележек 89% вагонов грузового парка Украины. Все элементы комплексной модернизации уже использованы при создании перспективных украинских тележек (модели 18-7020, 18-7033) для грузовых вагонов нового поколения. Описаны проведенные исследования по дальнейшему совершенствованию комплексной модернизации тележек модели 18-100, а также разработке новых износостойких профилей ободьев колес и головок рельсов для снижения их износа и улучшения взаимодействия экипажа и пути. Приведены результаты эксплуатационных испытаний вагонов с предложенным новым износостойким профилем колес ИТМ-73-01, позволившим уменьшить износ гребней колес в 4 раза. Описаны работы по оценке эффективности предложенного износостойкого профиля бандажей колес для тягового подвижного состава.

У статті викладено результати теоретичних досліджень, виконаних за останні роки в Інституті технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України, які спрямовані на вирішення актуальної проблеми оновлення парку вантажних вагонів, що експлуатуються на залізницях із шириною колії 1520 мм. Мета досліджень полягала в розробці пропозицій по внесенню змін до конструкції ходових частин при виконанні модернізації існуючих типових візків (модель 18-100) і створенні нових перспективних візків вантажних вагонів для підвищення їх експлуатаційних і ресурсних показників. Дано короткий опис запропонованої комплексної модернізації візків моделі 18-100 і результатів її застосування. Виконано теоретичні й експериментальні дослідження, на підставі яких розроблено рекомендації по модернізації візків 89% вагонів вантажного парку України. Всі елементи комплексної модернізації вже використано при створенні перспективних українських візків (моделі 18-7020, 18-7033) для вантажних вагонів нового покоління. Описано проведені дослідження щодо подальшого вдосконалення комплексної модернізації візків моделі 18-100, а також розробки нових зносостійких профілів ободів коліс та головок рейок для зниження їх зносу і поліпшення взаємодії екіпажа та колії. Приведено результати експлуатаційних випробувань вагонів із запропонованим новим зносостійким профілем коліс ИТМ-73-01, який дозволив зменшити знос гребенів коліс у 4 рази. Описано роботи щодо оцінки ефективності запропонованого зносостійкого профілю бандажів коліс для тягового рухомого складу.

The paper is focused on the results of the theoretical studies carried out by the Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and the State Space Agency of Ukraine during the last five years for solving the pressing problem of renewing the freight car fleet operating on railways with 1520 mm gauge. The research objective was to develop proposals on change in running gears design when retrofitting the existing standard trucks (18-100 model) and developing new advanced freight car trucks to improve their operation and life indices. A brief description of the comprehensive modernization of the 18-100 trucks and the results of its application are presented. Theoretical and experimental studies were carried out and the guidelines on truck modernization for 89% of the Ukrainian freight car fleet are developed based on the research results. All elements of comprehensive modernization have already been used in the development of the Ukrainian advanced trucks (18-7020 and 18-7033 models) for new-generation freight cars. Studies performed on the further improvement in comprehensive modernization of 18-100 trucks as well as on the development of new wear-resistant profiles of the wheel rims and the rail heads to decrease their wear and to improve vehicle-rail interaction are described. The results of operational tests of cars with the proposed new wear-resistant ИТМ-73-01 wheel profile, which resulted in a fourfold decrease in wheel flange wear, are presented. Studies on estimation of the efficiency of the proposed wear-resistant profile of wheel tread for the traction rolling stock are described.

© В. Ф. Ушкалов, Т. Ф. Мокрий, И. Ю. Мальшева, И. А. Машченко,  
Л. Г. Лапина, С. С. Пасичник, И. В. Подъельников, Н. В. Безрукавый, 2013

Техн. механіка. – 2013. – № 4.

Теоретические и экспериментальные исследования, выполненные в последние годы сотрудниками отдела статистической динамики механических систем Института технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины, тесно связаны с решением проблемы обновления грузового парка железных дорог Украины с целью повышения динамических качеств экипажей, увеличения ресурса ходовых частей, снижения износа элементов подвижного состава и пути.

Известно, что железнодорожная отрасль является одной из основных отраслей экономики Украины, наполняющих бюджет. Главным источником доходов железнодорожного транспорта является прибыль от перевозки грузов во внутреннем и межгосударственном сообщениях. 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. К тому же больше 80% эксплуатирующихся на украинских железных дорогах грузовых вагонов имеют сверхнормативный износ.

В настоящее время значительная часть грузовых вагонов Украины, стран СНГ и Балтии имеют трехэлементные тележки модели 18-100, конструкция которых была разработана в 50-е годы прошлого столетия. Опыт показывает, что интенсивность износа некоторых элементов этой тележки такова, что уже через 2 года эксплуатации во время первого деповского ремонта часть из них приходится наплавлять или менять, многие колеса перетачивать. Вагоны с изношенными ходовыми частями разрушительно действуют на путь, а расходы на ремонт и содержание тележек значительно превышают затраты на аналогичные работы для всех других узлов вагона вместе взятых. В связи с этим возникла необходимость замены тележек модели 18-100.

В Украине работы проводятся в двух направлениях: первое направление – замена тележек 18-100 модернизированными трехэлементными тележками с сохранением основных наиболее металлоемких элементов модели 18-100 и введением нескольких узлов модернизации (это направление требует меньше времени и меньших финансовых затрат); второе направление – замена тележек модели 18-100 существенно лучшими новыми тележками (этот путь является более эффективным, но для этого нужно больше времени и значительные финансовые затраты).

**О комплексной модернизации тележек грузовых вагонов.** В рамках работ по первому направлению на основании теоретических и экспериментальных исследований сотрудниками отдела предложена комплексная модернизация тележек грузовых вагонов модели 18-100 (проект С03.04 Укрзалізниця), которая включает [1 – 3]: замену стандартных жестких скользунов с зазорами упругодиссипативными скользунами постоянного контакта для повышения степени связанности тележек с кузовом (что позволяет повысить критическую скорость вагона); установку клиньев из высокопрочного чугуна (вместо стальных) и замену фрикционных планок износостойкими планками для существенного уменьшения износа клиновой системы демпфирования колебаний (что позволяет значительно увеличить ресурс ее элементов); укладку в подпятнике полимерной прокладки, предназначенной для улучшения работы пятникового узла и уменьшения его износа; использование вместо стандартного профиля колес специально разработанного в отделе нового износостойкого профиля обода колеса ИТМ-73 для уменьшения интенсивно-

сти износа колес и рельсов и облегчения вписывания вагонов в криволинейные участки пути.

Обследования комплексно модернизированных тележек грузовых вагонов, которые эксплуатируются с 2000 г., свидетельствуют об их высоких показателях по ресурсу наиболее изнашиваемых частей. С помощью указанной модернизации удалось достичь более чем двукратного увеличения ресурса колеса по износу гребня, более чем десятикратного уменьшения износа в клиновой системе гашения колебаний, снижения в 4 – 5 раз износа пятникового узла и др.

С 2004 г. на железных дорогах Украины проводится широкомасштабное внедрение комплексной модернизации тележек, преимущественно полувагонов, доля которых в парке грузовых вагонов составляет около 48%. Сейчас указанную модернизацию тележек выполняют на всех вагоноремонтных заводах Украины при проведении капитального ремонта и в большинстве депо при деповских ремонтах полувагонов, а также используют на Крюковском вагоностроительном заводе при создании новых полувагонов. С модернизированными тележками на украинских железных дорогах по состоянию на 31.07.2013 эксплуатируется более 23000 вагонов (около 33% парка полувагонов).

Указанная модернизация тележек была предложена также для внедрения на железных дорогах России, других стран СНГ и Балтии (с шириной колеи 1520 мм). В настоящее время произведена модернизация опытных групп полувагонов на железных дорогах в ряде стран СНГ. В частности, в России модернизировано около 200 тележек, в Белоруссии – 1000, в Казахстане – более 500.

Разработаны рекомендации [4, 5] и проведены испытания по проектам модернизации тележек и других типов вагонов, доля которых на украинских железных дорогах также весомая, в частности цистерн (18,2%), хопперов (17,1%), платформ (5,3%).

**Исследования по комплексной модернизации тележек различных типов вагонов.** Как известно, многочисленные модели грузовых вагонов рабочего парка как механические системы сильно отличаются друг от друга по своим геометрическим, инерционным и упругодиссипативным характеристикам. Поэтому, чтобы обеспечить более существенное улучшение динамических качеств, увеличение ресурса конкретных моделей вагонов, целесообразен индивидуальный подход к выбору элементов модернизации их тележек.

С этой целью в отделе выполнен значительный объем теоретических исследований. Получили дальнейшее развитие методы исследований процессов динамического взаимодействия элементов движущихся многомассовых нелинейных систем и их взаимодействия с рельсовой колеей, которые позволяют тщательным образом изучать колебания элементов механической системы «железнодорожный вагон – путь», в частности систем рессорного подвешивания, «пятник – подпятник», «колесная пара – боковая рама», пары «колесо – рельс», проводить углубленные теоретические исследования случайных колебаний и процессов динамического взаимодействия элементов экипажей с перспективными конструкциями ходовых частей и их контактного взаимодействия с рельсовым основанием.

Были разработаны расчетные схемы и математические модели, которые позволяют учитывать конструктивные особенности кузовов разных типов

вагонов и модернизируемых узлов тележек, а также исследовать пространственные случайные колебания экипажей при движении по пути произвольного очертания в плане. Так, например, при расчетах вагонов-цистерн учтено влияние колебаний жидкости и ее недолива. Кузова хопперов в расчетных схемах были представлены твердыми телами, а платформ – упругоподатливыми (при изгибе в вертикальной и горизонтальной плоскостях) балками.

Особое внимание уделено заданию корректных входных возмущений с целью получения достоверных прогнозных оценок эффективности эксплуатации вагонов с измененной конструкцией. Предложено несколько способов построения моделей расчетных возмущений, основанных на известных подходах, но оригинальных с точки зрения их реализации и учитывающих особенности динамических расчетов вагонов в порожнем и груженом состояниях [6, 7]. Построенные модели возмущений отражают амплитудно-частотный состав реальных неровностей пути и представлены в виде четырех составляющих: симметричной вертикальной неровности пути, определяемой как полусумма вертикальных неровностей правой и левой рельсовых нитей; кососимметричной вертикальной неровности пути, определяемой как полуразность вертикальных неровностей рельсовых нитей; двух горизонтальных неровностей – для правой и левой рельсовых нитей. Основой для построения составляющих возмущений служат записи показаний вагона-путеизмерителя, полученные на участках пути с суммой баллов, соответствующей оценке «хорошо», и преобразованные с учетом передаточных функций измерительных систем. Критерием приемлемости построенных возмущений является близость значений показателей динамических качеств вагонов, определенных с помощью этих возмущений и разработанных расчетных схем и математических моделей, к данным ходовых динамических испытаний.

Оценивались нормируемые показатели динамических качеств порожних и груженых вагонов с комплексно модернизированными тележками при их движении с разными скоростями по прямым участкам пути и круговым кривым. При выполнении исследований рассматривались не только новые, но и изношенные в различной степени колеса и рельсы, так как доля неизношенных колес и рельсов в эксплуатации железных дорог весьма мала. В связи с этим была выполнена работа по созданию баз данных, состоящих из нескольких тысяч профилей головок рельсов и ободьев колес, имеющих различный износ [8, 9], и сформированы компьютерные базы данных. Для измерений профилей ободьев колес и головок рельсов использовались лазерные измерительные системы, обеспечивающие высокую точность и скорость измерений. В результате последующей обработки измеренных данных были получены типовые формы колес и рельсов, имеющих различный износ.

На основании выполненных исследований разработаны рекомендации по выбору элементов комплексной модернизации тележек модели 18-100 для применения в вагонах-хопперах, контейнерных платформах и цистернах, внедрение которых позволит улучшить динамические качества указанных вагонов, а также существенно повысить ресурсные показатели узлов тележек. Результаты теоретических исследований в целом подтверждены данными ходовых динамических испытаний рассмотренных типов вагонов.

С учетом разработанных рекомендаций предложена комплексная модернизация тележек 89% вагонов для обновления рабочего парка грузового подвижного состава Украины (рис. 1).

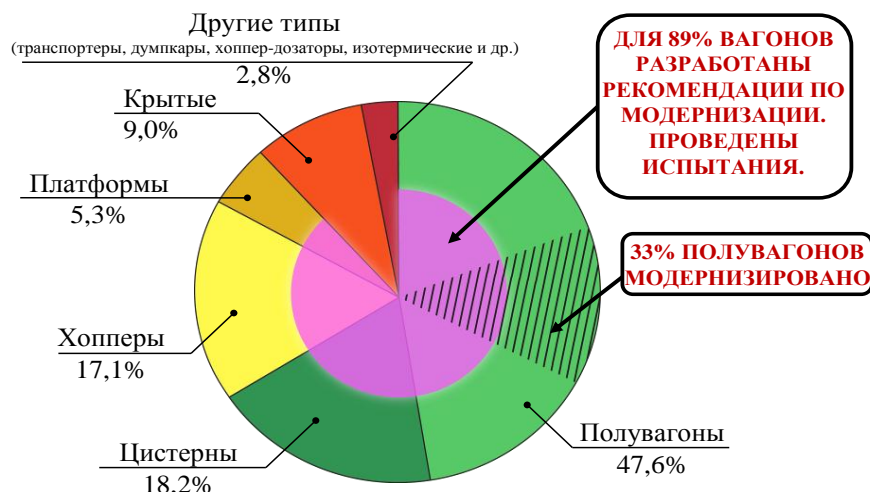


Рис. 1

**Совершенствование комплексной модернизации тележек.** Результаты осмотров эксплуатирующихся вагонов с комплексно модернизированными тележками модели 18-100 показывают, что кроме узлов, усовершенствованных при модернизации, в их конструкции имеется еще ряд слабых мест, которые требуют улучшения. Так, например, в тележке модели 18-100 применяются буксы, опорные поверхности которых неудовлетворительно взаимодействуют с опорными поверхностями буксовых проемов боковых рам, что приводит к ускоренному неравномерному их износу, заклиниванию, перекосу колесных пар относительно рамы тележки и др. Проведенные теоретические исследования по выбору параметров указанных моделей тележек, а также опыт эксплуатации зарубежных тележек показали, что применение упругих адаптеров в буксовых узлах ходовых частей позволяет улучшить показатели динамических качеств вагонов, а также увеличить ресурс буксовых узлов. Показана целесообразность применения в буксовых узлах комплексно модернизированных тележек кассетных подшипников в сочетании с упругими адаптерами по типу тележек нового поколения ICG Motion Control. Оценено влияние жесткостных параметров упругих адаптеров на динамические показатели и износ колес вагонов, оборудованных комплексно модернизированными тележками, и найдены рациональные значения жесткости таких адаптеров.

В продолжение работ по совершенствованию комплексной модернизации тележек грузовых вагонов проведены исследования по созданию еще более износостойкого профиля колес с учетом формы износа головок рельсов Р65.

Построен ряд новых профилей обода вагонного колеса, при создании которых использовались два подхода: выполнение условия обеспечения конформного контакта колес с изношенными наружными рельсами кривых малого и среднего радиусов и условия близости формы нового профиля к профилю колеса, изношенного в эксплуатации. Выбор лучшего из числа разра-

ботанных профилей поверхности катания колеса производился на основе одновременного анализа результатов теоретических исследований динамических качеств грузового вагона и гребневого износа его колес. Для этого были составлены две функции цели и определялся профиль колеса, при задании которого в расчетах достигались минимальные значения данных функций.

В результате был создан новый профиль ИТМ-73-01 обода колес для грузовых вагонов. Колеса с данным профилем обладают улучшенными параметрами контакта с рельсами, что приводит к дальнейшему существенному уменьшению гребневого износа. На рис. 2 показаны экспериментальные зависимости износа гребней колес от пробега вагона с серийными тележками модели 18-100 и стандартным профилем колес (линия 1) и 23 опытных полувагонов с комплексно модернизированными тележками и профилем колес ИТМ-73-01 (линия 2), построенные по данным эксплуатационных испытаний на маршруте Кривой Рог – Кошице (ромбиками обозначены средние значения износов восьми колес каждого из опытных вагонов).

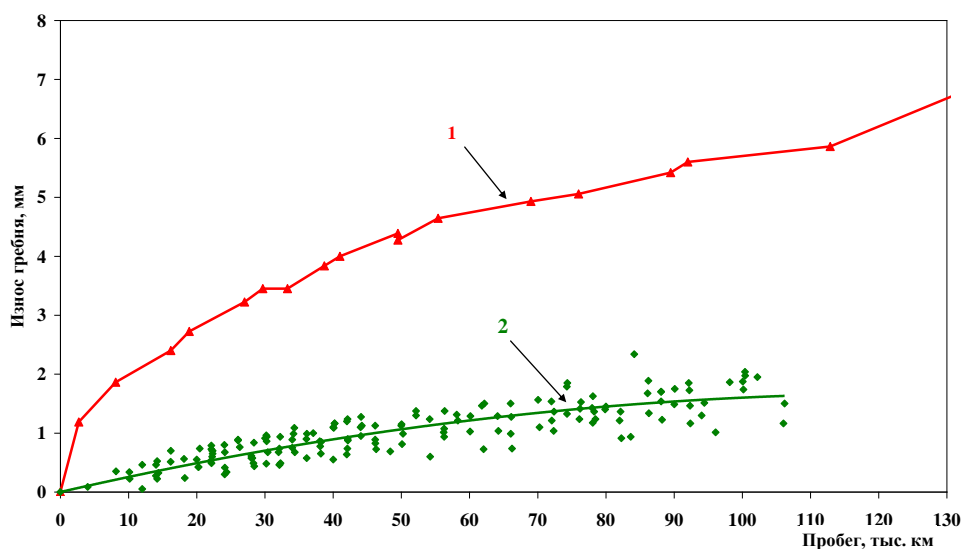


Рис. 2

Как видим, средняя интенсивность износа гребней 184 колес опытных вагонов в диапазоне до 100 тыс. км пробега в 4 – 4,5 раза ниже, чем колес типового вагона, что свидетельствует о существенном снижении гребневого износа, позволяющем значительно продлить ресурс колес при незначительных затратах на изготовление новых копиров для переточки.

**Использование элементов комплексной модернизации при создании новых тележек для грузовых вагонов.** Весомые преимущества вагонов с комплексно модернизированными тележками позволили рассматривать эту модернизацию как первый шаг к созданию новых тележек в предположении, что уже отработаны одни из главных модулей конструкции будущей тележки. Так, при создании на Крюковском вагоностроительном заводе тележек нового поколения моделей 18-7020 (с нагрузкой от оси на рельсы 23,5 т) и 18-7033 (с осевой нагрузкой 25 т) одновременно с рядом улучшений узлов

конструкции ходовых частей полностью использованы модули комплексной модернизации.

Тележка модели 18-7020 успешно прошла полномасштабные эксплуатационные испытания, которые подтвердили установленные межремонтные пробеги после постройки и позволили установить пробег 250 тыс. км между последующими деповскими ремонтами. Продолжается подконтрольная эксплуатация группы вагонов для подтверждения увеличения пробега до 320 тыс. км. Тележка запущена в серийное производство. Получено решение Комиссии Совета по железнодорожному транспорту полномочных специалистов вагонного хозяйства железнодорожных администраций стран СНГ и Балтии о возможности эксплуатации полувагонов с тележками модели 18-7020 на железных дорогах этих стран.

В настоящее время совместно с Институтом электросварки им. Е. О. Патона НАНУ выполняются работы по созданию новой отечественной тележки для грузовых вагонов, в которой конструкции боковых рам и наддресорной балки являются цельносварными. При компоновке оборудования этой тележки предполагается использование всех элементов комплексной модернизации, а также новых узлов, разрабатываемых в отделе с целью уменьшения уровня нагрузок на цельносварные элементы, обеспечения высокого уровня безопасности движения вагонов, их эксплуатационных и динамических качеств.

**Исследования в области улучшения взаимодействия системы «экипаж – путь».** Проведен анализ типовых форм колес и рельсов, имеющих различный износ, на основании которого были впервые установлены важные закономерности: формы изношенных в различной степени головок рельсов в кривых малого и среднего радиуса в своей рабочей части практически не отличаются друг от друга; профили колес различного первоначального очертания с увеличением износа приближаются друг к другу, но после существенно разного пробега.

Выполненные исследования по определению и анализу форм износа колес и рельсов позволили определить пути усовершенствования существующих профилей ободьев колес и головок рельсов. На рис. 3, 4 показаны распределения контактных напряжений в паре «колесо – рельс» при взаимодействии ободьев колес с различным профилем и изношенной головки рельса Р65 (рис. 3) и при взаимодействии изношенных ободьев колес стандартного профиля и головки рельса с различным профилем (рис. 4). В результате моделирования было установлено, что при взаимодействии колеса со стандартным профилем обода и головки наружного рельса Р65 в криволинейных участках пути, как правило, имеет место двухточечный контакт, одна из точек контакта находится в зоне гребневого износа колеса, а вторая – в зоне конической части обода (рис. 3а) или начала выкружки (рис. 4а). В таком случае происходит интенсивный износ гребней колес и боковых поверхностей головок рельсов. Улучшение условий контакта пары «колесо – рельс» возможно за счет применения разработанного в отделе для комплексно модернизированных тележек грузовых вагонов нелинейного износостойкого профиля колеса ИТМ-73 (рис. 3б) или использования в наружных нитях кривых асимметричного профиля головки рельса И23 [10] (рис. 4б). В этих случаях точка контакта из зоны гребневого износа перемещается на галтель обода колеса, что позволяет значительно снизить интенсивность износа гребней

колес и боковых поверхностей головок рельсов и тем самым улучшить условия взаимодействия вагона и пути.

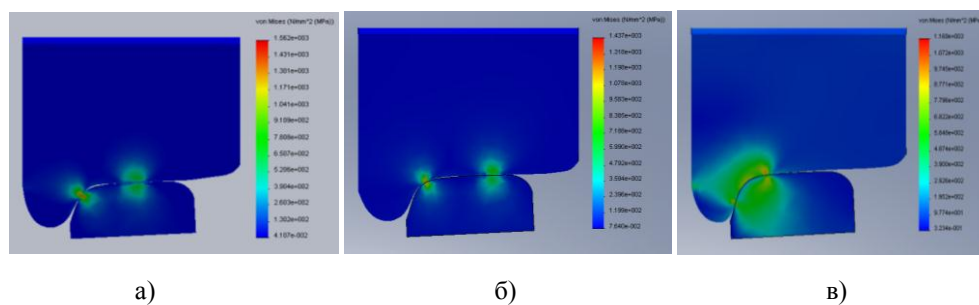


Рис. 3

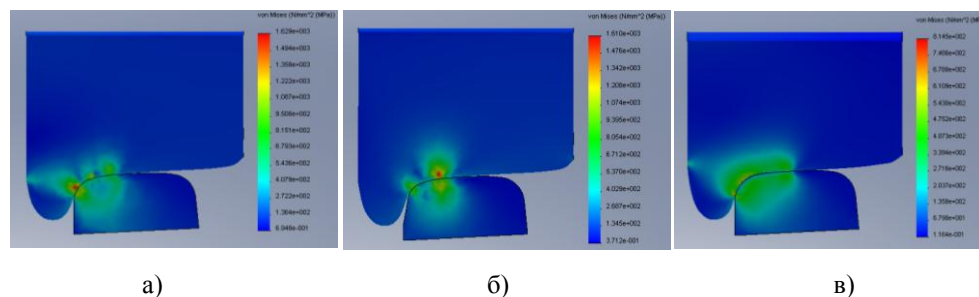


Рис. 4

Наиболее рационально использование профилей колес и рельсов, обеспечивающих конформный контакт [11, 12]. Для конформного взаимодействия характерны наименьший износ и наиболее равномерное распределение контактных напряжений, при этом величина их значительно ниже, чем при других видах контакта. В отделе разработаны профиль обода колеса ИТМ-73-01 [13] и профиль головки рельса К13 [14]. При взаимодействии колеса с профилем ИТМ-73-01 с изношенным рельсом (рис. 3в) или изношенного колеса с профилем головки рельса К13 (рис. 4в) обеспечивается контакт, близкий к конформному.

**Разработка износостойких профилей бандажей колес тягового подвижного состава.** Актуальной проблемой железных дорог Украины и стран СНГ остается сверхнормативная интенсивность износа бандажей колес тягового подвижного состава. Кроме экономических аспектов, связанных с переточкой колесных пар, интенсивный износ бандажей приводит к ухудшению динамических качеств подвижного состава, снижению безопасности движения и к другим проблемам. Зарубежные и отечественные исследователи предлагают уменьшать износ колес, как правило, за счет усовершенствования конструкции тележек подвижного состава, применения бортовых и стационарных рельсо- и гребнесмазывателей и т. п. Перечисленные решения имеют различную эффективность, однако все они требуют значительных капитальных вложений, что существенно усложняет их реализацию.

Более рациональным решением, с точки зрения минимизации затрат и возможности реализации на ремонтных предприятиях, является разработка износостойких профилей бандажей колес тягового подвижного состава. Посредством изменения формы профиля бандажа колеса можно оптимизировать контактное взаимодействие между колесом и рельсом, что существенно



снижает интенсивность их износа. При этом на этапе выбора формы профиля бандажа важным является получение прогнозных оценок показателей как интенсивности износа колес локомотива, так и его динамических качеств.

В связи с актуальностью проблемы были проведены исследования по оптимизации формы профиля бандажей локомотивов. На первом этапе был выполнен анализ влияния степени износа бандажей на напряженно-деформированное состояние контактной пары «колесо – рельс» [15]. Для этого опытным путем были получены типовые формы изношенных бандажей локомотивов. Установлено, что по мере износа бандажа происходит значительное формоизменение его профиля. Проведенные расчеты показали, что при этом снижаются значения действующих контактных напряжений в паре «колесо – рельс». Таким образом, были подтверждены предположения о том, что существующий профиль бандажей не является оптимальным и требует значительных доработок.

По заказу Укрзалізничниці в отделе был разработан новый нелинейный профиль бандажей локомотивных колес ИТМ-73Л.

Для оценки эффективности применения нового профиля колес проведено математическое моделирование колебаний грузового локомотива [16]. В качестве объекта исследования выбран грузовой электровоз постоянного тока серии ВЛ11<sup>м</sup>. Исследовались пространственные колебания рассматриваемого электровоза для случаев, когда его колеса обточены по новому износостойкому профилю ИТМ-73Л и по трем применяемым в настоящее время – стандартному по ГОСТ 11018, а также по профилям ЗАО «МИНТЕК» и Зинюка – Никитского [17].

Анализ результатов расчетов показал, что применение нового профиля ИТМ-73Л в грузовых локомотивах серии ВЛ11<sup>м</sup>, работающих на участках с большим количеством кривых малого радиуса, позволит снизить гребневой износ и увеличить ресурс их колес, снизить эксплуатационные расходы на содержание колес и рельсов, что даст существенный экономический эффект. При этом динамические показатели локомотива соответствуют установленным нормам, обеспечивается устойчивость движения во всем диапазоне эксплуатационных скоростей и наибольший (из всех рассмотренных вариантов) запас устойчивости против схода колес с рельсов.

1. *Ушкалов В. Ф.* Комплексная модернизация тележек грузовых вагонов – путь к улучшению взаимодействия колес и рельсов / *В. Ф. Ушкалов* // Современные проблемы взаимодействия подвижного состава и пути : научно-практическая конференция, 2003, Щербинка, Россия. – 2003. – С. 43 – 46.
2. *Gregg Hansen W. M.* Комплексная модернизация тележек 18-100 для снижения износа колес и повышения ходовых качеств грузовых вагонов / *W. M. Gregg Hansen, А. Д. Лашко, В. Ф. Ушкалов, Т. Ф. Мокрый, И. Ю. Мальшева, И. А. Мащенко* // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени акад. В. Лазаряна. – 2004. – Вып.5 – С. 215 – 219.
3. *Ушкалов В. Ф.* Комплексная модернизация ходовых частей грузовых вагонов / *В. Ф. Ушкалов, Т. Ф. Мокрый, И. Ю. Мальшева, И. А. Мащенко, С. С. Пасичник* // Вагонный парк. – 2007. – № 2. – С. 18 – 22.
4. *Ушкалов В. Ф.* Оценка эффективности применения разных моделей боковых скользунов постоянного контакта в комплексно модернизированных тележках 18-100 для цистерн / *В. Ф. Ушкалов, Т. Ф. Мокрый, И. Ю. Мальшева, И. А. Мащенко* // Техническая механика. – 2012. – № 1. – С. 9 – 14.
5. *Ушкалов В. Ф.* Оценка эффективности применения разных вариантов модернизации тележек модели 18-100 для вагонов-хопперов и платформ / *В. Ф. Ушкалов, Т. Ф. Мокрый, И. Ю. Мальшева, И. А. Мащенко* // Залізничний транспорт України. – 2012. – № 3/4. – С. 62 – 64.
6. *Лапина Л. Г.* Особенности использования записей вагона-путеизмерителя при построении возмущений для динамических расчетов грузовых вагонов / *Л. Г. Лапина, И. А. Мащенко* // Техническая механика. – 2011. – № 1. – С. 3 – 11.

7. Ушкалов В. Ф. Расчетные возмущения для исследования динамики железнодорожных вагонов / В. Ф. Ушкалов, Л. Г. Лапина, И. А. Мащенко // *Залізничний транспорт України*. – 2012. – № 1. – С. 38 – 41.
8. Ушкалов В. Ф. Типовые формы изношенных профилей колес / В. Ф. Ушкалов, И. В. Подъяльников // *Техническая механика*. – 2009. – № 1. – С. 50 – 55.
9. Подъяльников И. В. Определение типовых форм изношенных профилей головок рельсов в криволинейных участках пути / И. В. Подъяльников // *Техническая механика*. – 2009. – № 3. – С. 39 – 43.
10. Ушкалов В. Ф. Разработка рационального профиля головки рельса с несимметричной поверхностью катания / В. Ф. Ушкалов, И. А. Серебряный, И. В. Подъяльников // *Техническая механика*. – 2008. – № 1. – С. 31 – 37.
11. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса : Пер. с англ. / У. Дж. Харрис, С. М. Захаров, Дж. Ландарен, Х. Торне, В. Эберсен. – Москва : Интекст. – 2002. – 408 с.
12. Ushkalov V. F. Extension of the Wheelset Operation Life at 1520 mm Track Railways / V. F. Ushkalov, T. F. Mokriy, I. Yu. Malysheva, S. S. Pasichnik, I. V. Podyelnikov, N. V. Bezrukavyy // 17<sup>th</sup> International Wheelset Congress, 22 – 27 September, 2013. Kiev, Ukraine. – Kiev, 2013. – Part 2. – P. 91–98.
13. Подъяльников И. В. Усовершенствование профиля обода железнодорожного колеса / И. В. Подъяльников // *Техническая механика*. – 2012. – № 1. – С. 15 – 22.
14. Ушкалов В. Ф. О способах уменьшения износа колес и рельсов / В. Ф. Ушкалов, С. С. Пасичник, И. В. Подъяльников // *Залізничний транспорт України*. – 2010. – № 5. – С. 47 – 49.
15. Безрукавый Н. В. Моделирование напряженно-деформированного состояния взаимодействия пары “колесо – рельс” при различной степени износа бандажей локомотивов / Безрукавый Н. В., Подъяльников И. В. // *Информационные технологии в управлении сложными системами – 2013* [Электронный ресурс]; (сборник докладов научной конференции, 19 – 20 июня 2013 г.) / под ред. академика НАН Украины В. В. Пилипенко. – Электрон. данные. – Днепропетровск : Институт технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины, – 2013.
16. Ушкалов В. Ф. Прогнозирование динамических качеств грузового локомотива и износа его колес с разными профилями бандажей / В. Ф. Ушкалов, Т. Ф. Мокрий, И. Ю. Мальшиева, И. В. Подъяльников, Н. В. Безрукавый // *Техническая механика*. – 2013. – № 1. – С. 3 – 16.
17. Інструкція з формування, ремонту та утримання колісних пар тягового рухомого складу залізниць України колії 1520 мм. ВНД 32.0.07.001-2001(Нова редакція). – Київ, 2011. – 127 с.

Институт технической механики  
НАН Украины и ГКА Украины,  
Днепропетровск

Получено 08.10.13,  
в окончательном варианте 25.10.13