

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ХОДОВЫХ ЧАСТЕЙ ПЕРСПЕКТИВНОГО ГРУЗОВОГО ВАГОНА

*Институт технической механики  
Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины,  
ул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Днепр, Украина; e-mail: Mokrii.T.F@nas.gov.ua*

Дана робота пов'язана з вирішенням проблеми оновлення вантажного парку залізниць України з метою поліпшення динамічних якостей екіпажів, збільшення ресурсу ходових частин, підвищення безпеки руху поїздів.

Мета роботи полягала в розробці рекомендацій щодо удосконалення ходових частин перспективних вантажних вагонів для підвищення їх швидкостей руху, динамічних якостей та зменшення зносу коліс. Застосовано методи математичного моделювання, числового інтегрування, теорії коливань, статистичної динаміки.

В статті наведено результати досліджень ефективності введення нових елементів у конструкцію візків моделі 18-7020: діагональні зв'язки між боковими рамами, пружний адаптер у буксовому вузлі і розроблений профіль коліс ІТМ-73-02. Вивчено їх вплив на процеси коливань вантажного вагона і його взаємодію з рейковою колією при русі з різними швидкостями на прямих та криволінійних ділянках колії. Рекомендовано параметри додаткових зв'язків.

Зроблено висновок про те, що запропоновані зміни конструкції дають змогу створити перспективні візки для вагонів нового покоління з підвищеними ходовими якостями і низьким зносом коліс.

Данная работа связана с решением проблемы обновления грузового парка железных дорог Украины с целью улучшения динамических качеств экипажей, увеличения ресурса ходовых частей, повышения безопасности движения поездов.

Цель работы заключалась в разработке рекомендаций по усовершенствованию ходовых частей перспективных грузовых вагонов для повышения их скоростей движения, динамических качеств и уменьшения износа колес. Применены методы математического моделирования, численного интегрирования, теории колебаний, статистической динамики.

В статье приведены результаты исследований эффективности введения новых элементов в конструкцию тележек модели 18-7020, таких как диагональные связи между боковыми рамами, упругий адаптер в буксовом узле и разработанный профиль колес ИТМ-73-02. Изучено их влияние на процессы колебаний грузового вагона и его взаимодействие с рельсовой колеей при движении с различными скоростями по прямому и криволинейному участку пути. Рекомендованы параметры дополнительных связей.

Сделан вывод о том, что предложенные изменения конструкции позволяют создать перспективные тележки для вагонов нового поколения с повышенными ходовыми качествами и низким износом колес.

This work is concerned with the resolution of the problem of Ukrainian freight car fleet upgrading with the aim to improve car ride quality, extend running gear service life, and increase train operation safety.

The aim of this work is to develop recommendations on improvement of the running gear of prospective freight cars to increase their speed and ride quality and reduce wheel wear. Use is made of mathematical simulation, numerical integration, oscillation theory, and statistical dynamics methods.

The paper presents the results of investigations into the efficiency of introduction of new elements into the design of 18-7020 trucks, such as cross links between the side frames, a resilient adapter in the journal box assembly, and the ITM-73-02 wheel profile developed at the Institute of Technical Mechanics. Their effect on car vibration and car-rail interaction is studied for a freight car moving at different speeds in tangent and curved track sections. Parameter values for the additional links are recommended.

It is concluded that the proposed redesign makes it possible to develop prospective trucks for new generation cars with improved ride quality and low wheel wear.

**Ключевые слова:** ходовые части перспективного грузового вагона, динамические качества, износ колес и рельсов, рекомендации по усовершенствованию тележек.

Теоретические и экспериментальные исследования, выполненные в последние годы в Институте технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины (ИТМ НАНУ и ГКАУ), 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.

В Украине работы проводятся в двух направлениях: первое направление – модернизация существующих типовых тележек модели 18-100; второе направление – замена тележек модели 18-100 существенно лучшими новыми тележками.

В рамках работ по первому направлению в ИТМ НАНУ и ГКАУ совместно с компанией «А. Стаки» (США) разработана и внедрена на украинских железных дорогах технология комплексной модернизации типовых тележек модели 18-100 (проект С03.04) грузовых вагонов, которая заключается в замене проблемных стандартных узлов новыми с улучшенными ресурсными характеристиками при сохранении основных наиболее металлоемких элементов конструкции [1]. Эта модернизация включает замену стандартных жестких скользунов с зазорами упругодиссипативными скользунами постоянного контакта; установку в рессорном подвешивании клиньев из высокопрочного чугуна (вместо стальных) и замену фрикционных планок износостойкими; укладку в подпятнике полимерной прокладки; использование вместо стандартного профиля колес специально разработанного ИТМ НАНУ и ГКАУ нового износостойкого профиля обода колеса ИТМ-73. Как показали экспериментальные исследования, такая модернизация позволяет на 20 – 40 км/ч повысить эксплуатационные скорости движения грузовых вагонов; увеличить ресурс колес по гребневому износу в 2,5 – 4 раза, пятникового узла – в 4 – 5 раз, клиновой системы демпфирования – в 10 раз и более и др. На сегодняшний день на украинских железных дорогах уже эксплуатируется свыше 25000 полувагонов с комплексно модернизированными тележками.

По второму направлению в качестве базовых тележек перспективных отечественных грузовых вагонов приняты новые, разработанные в Украине, тележки моделей 18-7020 (с нагрузкой на ось 23,5 тс) и 18-9817 (с нагрузкой на ось 25 тс) [2, 3]. Причем при создании тележки модели 18-7020 (производство Крюковского вагоностроительного завода) одновременно с рядом улучшений узлов конструкции ходовых частей полностью использованы все инновационные элементы комплексной модернизации.

В рамках продолжения работ по второму направлению, с учетом тенденции повышения скоростей движения поездов, в настоящей статье приведены результаты исследований по оценке эффективности введения новых элементов в конструкцию тележек 18-7020 с целью создания ходовых частей с улучшенными характеристиками для грузовых вагонов нового поколения.

В последние годы наиболее перспективным с точки зрения оптимизации процессов взаимодействия считается конформный контакт колес и рельсов [4], для которого характерны наименьший износ и наиболее равномерное распределение напряжений по контактной поверхности, при этом величина их значительно ниже, чем при других видах контакта. Поэтому в рамках исследований по созданию тележек для перспективных грузовых вагонов авторами данной статьи был разработан новый износостойкий профиль колес ИТМ-73-02, обеспечивающий их конформный контакт с рельсами Р65 с учетом формы износа их головок [5].

При решении статической задачи контакта пары «колесо – рельс» анализировались параметры взаимодействия колес с новым профилем и рельсов Р65 с разным износом головок. Для примера на рис. 1 приведены пятна

контакта на набегающих на наружный рельс колесах с профилями ИТМ-73 (рис. 1, а) и ИТМ-73-02 (рис. 1, б)), полученные для случая движения груженого полувагона в круговой кривой радиуса 300 м с малоизношенными рельсами Р65 (боковой износ наружного рельса 3,5 мм). Продольные размеры пятен отложены по оси ординат, поэтому указаны две оси:  $z(x)$ .

Как видим, у колеса с профилем ИТМ-73 устанавливается фаза двухточечного взаимодействия с расположением пятен на поверхности катания и галтели. У колеса с профилем ИТМ-73-02 пятно распространяется почти на всю галтель. Его размеры: в продольном направлении  $x = 10$  мм, в поперечном  $y = 22$  мм. В то же время у колеса с профилем ИТМ-73 имеем на галтели:  $x = 13$  мм,  $y = 4$  мм.

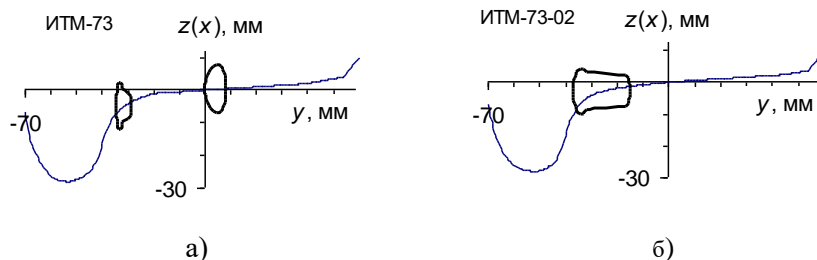


Рис. 1

Влияние нового профиля колес на износ контактной пары изучалось при расчетах вписывания со скоростью (40 – 80) км/ч груженого полувагона с тележками 18-7020 в круговую кривую радиуса 300 м с разной степенью износа наружных рельсов: неизношенных, с боковым износом наружного рельса 3,5 мм, 7,8 мм и 13,7 мм. Анализ результатов показал, что при обточке колес по профилю ИТМ-73-02 резко снижается показатель износа (удельная работа сил трения): по сравнению со случаем использования профиля колес ИТМ-73 в разы, а по сравнению со стандартными колесами – в десятки раз.

Если в вагоне установлены колесные пары со стандартным профилем колес, то во всех рассмотренных случаях износа рельсов расположение зоны истирания на гребне и ее размеры остаются неизменными, т. е. всегда при вписывании экипажа в кривые малого радиуса происходит износ по подрезу гребня. При использовании колесных пар с профилем ободьев ИТМ-73 расположение пятен контакта на галтели практически не меняется и гребень неизношенных колес работает крайне редко. Когда колеса обточены по новому профилю ИТМ-73-02, зоны контакта во всех четырех случаях износа рельсов очень обширны и распределение износа происходит в основном равномерно.

На рис. 2 показан пример распределения износа по поверхности обода набегающего на наружный рельс колеса ведущей колесной пары для случаев разных профилей колес при вписывании экипажа со скоростью 60 км/ч в кривую с малоизношенными рельсами. Как видно, при вписывании вагона в кривую малого радиуса гребневой износ (здесь и далее термином «гребневой» обозначен суммарный износ галтели и гребня) колес с новым профилем ИТМ-73-02 (рис. 2, в)) будет существенно ниже, чем колес с другими рассмотренными профилями (рис. 2, а), б)).

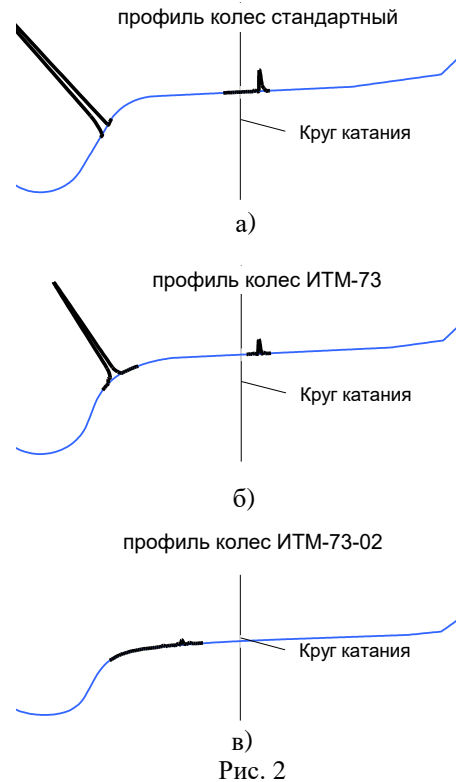
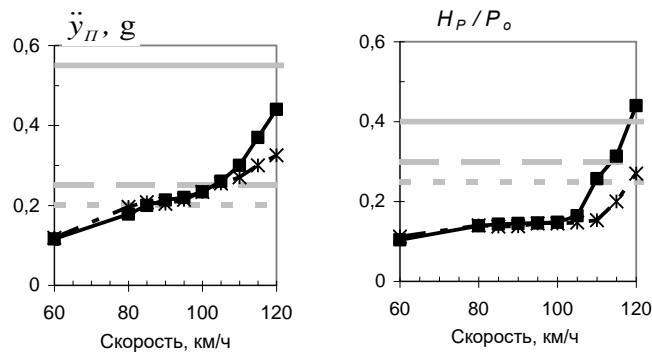


Рис. 2

жа: поперечных ускорений пятников кузова  $\ddot{y}_П$  в долях ускорения свободного падения  $g$  (рис. 3, а) и рамных сил  $H_p$  в долях статической осевой нагрузки  $P_o$  (рис. 3, б)).



а)  $\ddot{y}_П, g$

б)  $H_p / P_o$

—\*— профиль колес ИТМ-73

—■— профиль колес ИТМ-73-02

— — предельное значение для "отличного" хода

— — предельное значение для "хорошего" хода

— — предельное значение для "допустимого" хода

Рис. 3

Как видим, при замене профиля колес на ИТМ-73-02 динамические качества рассматриваемого вагона при высоких скоростях движения ухудшаются, практически не превышая, однако, уровней допустимых значений, и остаются неизменными в диапазоне рабочих скоростей. Так, при скорости  $V = (110 -$

Стремление к уменьшению износа колес путем изменения их профиля обычно приводит к снижению устойчивости движения экипажей и, соответственно, к ухудшению их динамических качеств.

Влияние нового профиля колес на динамические качества рассматриваемого перспективного вагона с тележками модели 18-7020 анализировалось при расчетах его пространственных колебаний во время движения по прямым участкам пути хорошего состояния с неизношенными рельсами Р65. Поскольку изменение профиля колес мало влияет на характеристики колебаний железнодорожных экипажей в вертикальной плоскости, на рис. 3 приведены зависимости от скорости движения горизонтальных нормируемых показателей порожнего экипажа:

120) км/ч ускорения  $\ddot{y}_{II}$  порожнего вагона возрастают в (1,1 – 1,4) раза, рамные силы  $H_p$  – в (1,1 – 1,7) раза. Повышение данных показателей груженого экипажа начинается при достижении ним скорости 95 км/ч:  $\ddot{y}_{II}$  – в (1,1 – 1,5) раза,  $H_p$  – в (1,1 – 3) раза.

Подобного ухудшения динамических качеств вагона можно избежать, если внести в конструкцию тележек небольшие изменения: добавить дополнительные элементы. Ниже приведены результаты таких исследований.

К одним из наиболее проблемных составляющих трехэлементных тележек относятся боковые рамы, которые воспринимают основные ударные нагрузки во время движения вагона. Анализ статистических данных об эксплуатации грузовых вагонов в Украине и странах СНГ свидетельствует о повышенном износе в последнее время боковых рам в зоне буксовых отверстий и росте количества их изломов [6]. Угрозе таких дефектов подвержены и тележки модели 18-7020.

Усовершенствовать узел связи боковых рам и колесных пар этих тележек можно за счет установки адаптеров с упругими элементами, что равносильно введению двойного рессорного подвешивания и дает возможность снизить нагрузки на рамы. Кроме того, известно, что устойчивость движения вагонов может быть повышена за счет подбора упругих параметров буксовых узлов в горизонтальной плоскости.

В статье [7] выполнены исследования влияния параметров жесткости упругого адаптера на устойчивость движения и динамические качества грузового вагона с комплексно модернизированными тележками модели 18-100, выбраны их рациональные значения. Руководствуясь данными результатами, в настоящей работе приняты такие значения жесткости адаптера для тележек 18-7020 с новым профилем колес: в вертикальном направлении – 20 МН/м, в горизонтальном поперечном – 2,5 МН/м, в горизонтальном продольном – 5 МН/м.

Оценим влияние введения таких адаптеров на нагруженность боковых рам в данных тележках. На рис. 4 показаны зависимости от скорости движения максимальных значений поперечных ускорений боковых рам порожнего (рис. 4, а) и груженого (рис. 4, б)) вагонов при движении по прямым участкам пути хорошего состояния с неизношенными рельсами Р65.

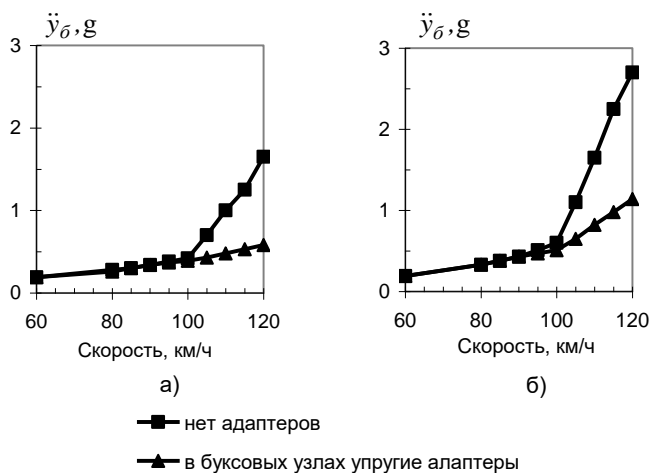


Рис. 4

При скорости выше 100 км/ч ускорения боковин порожнего вагона с упругими адаптерами в буксовых узлах ниже ускорений вагона без адаптеров в (1,6 – 2,8) раза, а груженого – в (1,7 – 2,4) раза. На рис. 5 приведены зависимости от скорости движения максимальных значений поперечных ускорений пятников кузова и рамных сил порожнего (рис. 5, а, б)) и груженого (рис. 5, в, г)) вагонов. Как следует из анализа представленных результатов, наряду со снижением виброн нагруженности боковых рам использование упругих адаптеров приводит к некоторому улучшению динамических качеств рассматриваемого вагона, особенно в порожнем состоянии. Так,  $\ddot{y}_{II}$  порожнего вагона при скорости больше 105 км/ч снижается на (13 – 30) % (см. рис. 5, а)),  $H_p$  – на (30 – 50) % (см. рис. 5, б)). Тоже при скорости больше 105 км/ч рамные силы  $H_p$  груженого экипажа (см. рис. 5, г)) уменьшаются на (20 – 25) %, а ускорения пятников изменяются мало заметно во всем рассмотренном диапазоне скоростей (см. рис. 5, в)).

Таким образом, при установке упругих адаптеров в буксовые узлы тележек 18-7020 с новым профилем колес ИТМ-73-02 нагрузки на боковые рамы существенно снижаются и улучшаются динамические качества грузового вагона при повышенных скоростях движения.

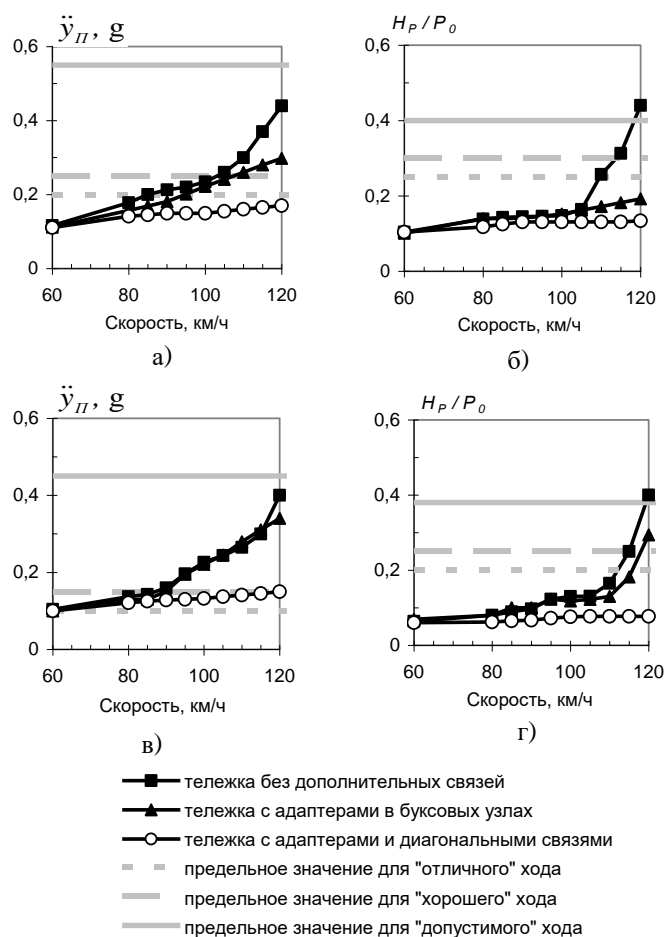


Рис. 5

Для стабилизации геометрии тележки в плане, уменьшения забегания боковых рам и тем самым дальнейшего повышения динамических качеств и запаса устойчивости грузового вагона нового поколения целесообразно применение упругих диагональных связей между боковыми рамами [8]. Это может быть система двух стержней с резиновыми упругими вставками в местах крепления к боковым рамам, что дает возможность им работать как на растяжение, так и на сжатие. Проанализируем влияние введения таких связей в конструкцию усовершенствованных тележек, у которых в буксовых узлах установлены упругие адаптеры, а колеса обточены по профилю ИТМ-73-02. На основании результатов исследований, приведенных в работе [8], жесткость диагональных связей принята равной 10 МН/м.

На рис. 5 приведены результаты для вагона с таким вариантом конструкции тележек. Получено существенное повышение устойчивости движения и динамических качеств экипажа как в порожнем, так и в груженом состояниях. Так, ускорения пятников порожнего вагона со всеми предлагаемыми изменениями в тележках при скоростях 80 км/ч и выше (см. рис. 5, а) становятся меньше  $\ddot{y}_{II}$  вагона с адаптерами в буксовых узлах на (10 – 43) %, а рамные силы (см. рис. 5, б) – на (16 – 30) %, и теперь данные показатели не превышают уровня значений для «отличного» хода во всем расчетном диапазоне скоростей.

Такое же значительное улучшение показателей получено и для груженого экипажа (см. рис. 5, в, г): по ускорениям  $\ddot{y}_{II}$  – на (7 – 56) %, по рамным силам  $H_p$  – на (20 – 74) %. При этом  $\ddot{y}_{II}$  не превышают уровня значений для «хорошего» хода, а  $H_p$  – уровня для «отличного» хода в заданном диапазоне скоростей движения до 120 км/ч.

Таким образом, добавление диагональных связей между боковыми рамами тележек с упругими адаптерами в буксовых узлах и профилем колес ИТМ-73-02 существенно повышает устойчивость движения и динамические качества перспективного грузового вагона.

Влияние вышеупомянутых дополнительных элементов в тележках модели 18-7020 на износ контактной пары «колесо – рельс» оценивалось при расчетах вписывания груженых экипажей с разными вариантами тележек в круговую кривую радиуса 300 м с неизношенными рельсами Р65. На рис. 6 приведены зависимости максимальных значений показателя гребневого износа  $A$  от скорости движения.

Как видно, при введении упругих адаптеров в буксовые узлы тележек 18-7020 с новым профилем ободьев ИТМ-73-02 износ колес остается практически неизменным. Если кроме адаптеров в конструкцию тележек добавлены диагональные связи между боковыми рамами, то износ показатель  $A$  увеличивается, поскольку установка таких связей наряду с повышением устойчивости экипажа приводит к возрастанию сопротивления радиальной установке колесных пар в колее. Тем не менее, и в этом случае он остается гораздо ниже, чем у вагона с исходными тележками 18-7020 и профилем колес ИТМ-73 (более чем в 3,5 раза). К тому же, в эксплуатации скорость грузовых вагонов в кривых малого радиуса, как правило, ниже 80 км/ч, при которой увеличение  $A$  наиболее заметно.

Произведем сопоставление динамических качеств и износа колес полувагонов, оборудованных серийными тележками модели 18-7020 и усо-

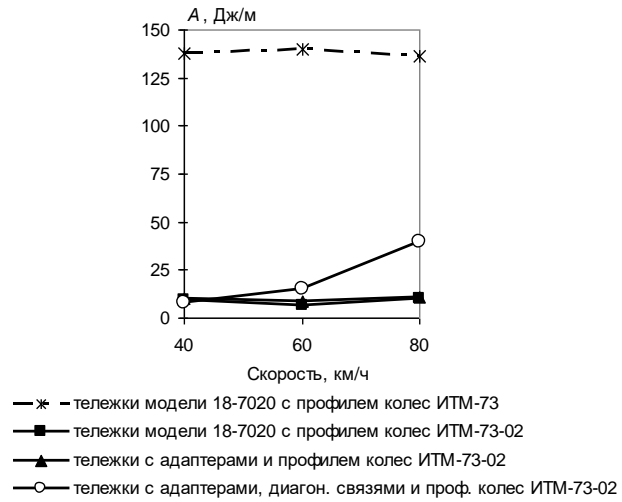


Рис. 6

вершенствованными тележками 18-7020, в конструкцию которых включены три представленных выше элемента: новый профиль колес ИТМ-73-02, упругий адаптер в буксовом узле и диагональные связи между боковыми рамами.

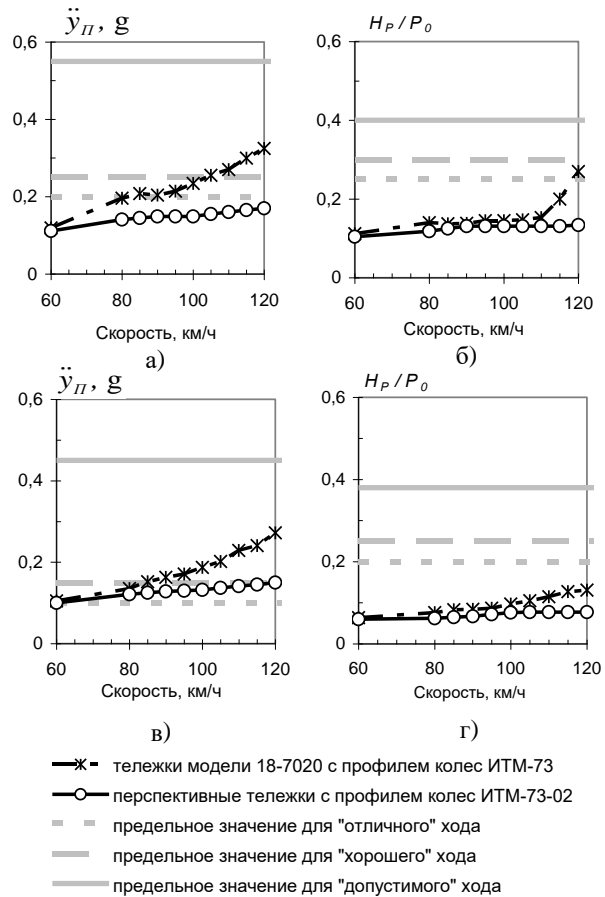


Рис. 7



Анализ динамических качеств порожних и груженых экипажей выполнялся при расчетах их движения по прямым участкам пути хорошего состояния с неизношенными рельсами Р65. На рис. 7 показаны зависимости от скорости движения максимальных значений поперечных ускорений пятников и рамных сил порожнего (рис. 7, а, б)) и груженого (рис. 7, в, г)) вагонов. Как видно, динамические качества экипажей при использовании усовершенствованных тележек улучшаются, особенно значительно при высоких скоростях движения. Так, если скорость больше 80 км/ч, то ускорения пятников порожнего вагона (см. рис. 7, а)) снижаются в (1,4 – 1,9) раза, а рамные силы (см. рис. 7, б)) – в (1,1 – 2,0) раза, груженого вагона (см. рис. 7, в, г)) – соответственно в (1,2 – 1,8) раза и (1,2 – 1,7) раза. При этом ускорения  $\ddot{y}_D$  как порожнего, так и груженого вагона, а также силы  $H_p$  порожнего не превышают

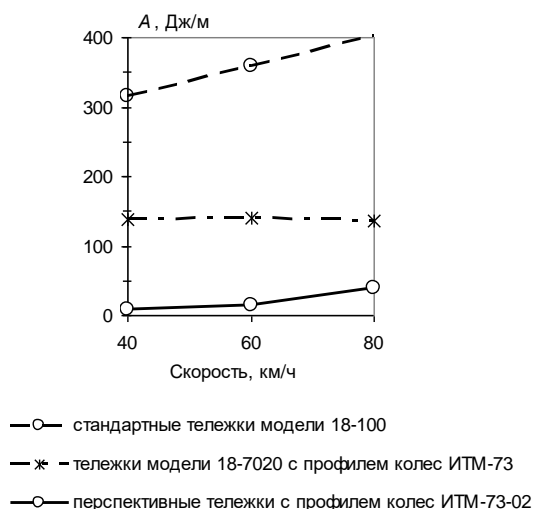


Рис. 8

уровня значений для «отличного» хода во всем рассмотренном диапазоне скоростей, а рамные силы груженого – уровня значений для «хорошего» хода.

Износ колес оценивался при расчетах вписывания вагонов в груженом состоянии в круговую кривую радиуса 300 м с неизношенными рельсами Р65. На рис. 8 приведены зависимости от скорости движения показателя гребневого износа набегающих колес рассматриваемых экипажей. Для сравнения нанесены данные вагона с серийными тележками модели 18-100 со стандартными колесами. Как видим, у экипажа с тележками модели 18-7020 износ колес в (2,3 – 3) раза меньше, чем у стандартного вагона. Если полувагон оборудовать перспективными тележками, представляющими собой усовершенствованные тележки 18-7020, то показатель износа  $A$  снижается более чем в 3,5 раза, а по сравнению со стандартным вагоном снижение износа исчисляется вообще десятками раз.

**Выводы.** Проведенные исследования показали, что наибольшего эффекта по улучшению динамических качеств грузовых вагонов с тележками модели 18-7020 и снижению износа гребней колес можно добиться путем введения в конструкцию ходовых частей группы элементов, включающей:

- 1) диагональные упругие связи между боковыми рамами с жесткостью 10 МН/м;
- 2) упругие адаптеры в буксовых узлах с жесткостью в горизонтальном поперечном направлении 2,5 МН/м, в горизонтальном продольном направлении 5 МН/м;
- 3) новый износостойкий профиль колес ИТМ-73-02 (с толщиной гребня 32 мм).

1. Ушкалов В. Ф., Лашко А. Д., Мокрый Т. Ф. Модернизация тележек грузовых вагонов как вариант обновления ходовых частей грузового подвижного состава. Вестник ВНИИЖТ. 2013. № 5. С. 8–15.
2. Двухосная тележка модель 18-7020 тип 2. URL: <http://test.kvsz.com/index.php/ru/produktsiya/gruzovoe-vagonostroenie/khodovye-chasti/telezhki/item/833-dvukhosnaya-telezhka-model-18-7020>
3. Тележка двухосная 18-9817 с нагрузкой от колесной пары на рельс 25 тс. URL: [http://okb.at.ua/publ/telezhka\\_dvukhosnaja\\_modeli\\_18\\_9817\\_s\\_nagruzkoj\\_ot\\_kolesnoj\\_pary\\_na\\_relsy\\_25t/1-1-0-6](http://okb.at.ua/publ/telezhka_dvukhosnaja_modeli_18_9817_s_nagruzkoj_ot_kolesnoj_pary_na_relsy_25t/1-1-0-6)
4. William J. H., Ebersöhn W., Lundgren J., Tournay H., Zakharov S. Guidelines to Best Practices for Heavy Haul Railway Operations: Wheel and Rail Interface Issues. USA: International Heavy Haul Association. 2001. 482 p.
5. Ушкалов В. Ф., Мокрый Т. Ф., Малышева И. Ю. Математическая модель взаимодействия железнодорожного экипажа и пути с учетом распределения контактных сил по пятнам контакта. Техническая механика. 2015. № 2. С. 79–89.
6. Савчук В. Б., Зобов Г. М. Радиус излома на Совете главных конструкторов. Техника железных дорог. 2013. № 2 (22). С. 32–36.
7. Ушкалов В. Ф., Мокрый Т. Ф., Малышева И. Ю., Пасичник С. С. Влияние горизонтальной жесткости упругого адаптера в буксовом узле тележки на динамические показатели полувагона. Техническая механика. 2016. № 4. С. 85–93.
8. Ушкалов В. Ф., Мокрый Т. Ф., Малышева И. Ю., Мащенко И. А. Оценка влияния параметров диагональных связей между боковыми рамами перспективной тележки на показатели динамических качеств полувагона нового поколения. Техническая механика. 2009. № 2. С. 3–10.

Получено 14.11.2017,  
в окончательном варианте 05.12.2017