

ИЗНОСОСТОЙКИЙ ПРОФИЛЬ КОЛЕСА ДЛЯ ГРУЗОВОГО ВАГОНА С ПОВЫШЕННОЙ ОСЕВОЙ НАГРУЗКОЙ*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*

На теперішній час в Україні для оновлення вантажного парку залізниць за один із варіантів базових візків перспективних вагонів прийнято візки моделі 18-9817 (ICG Motion Control), які призначені для експлуатації на залізницях колії 1520 мм у вантажних вагонах з підвищеним до 25 тс осевим навантаженням. Мета даної статті – створення зносостійкого профілю коліс для цих візків для покращання їх взаємодії та умов контакту з рейковою колією. Застосовано методи математичного моделювання, числового інтегрування, теорії коливань, статистичної динаміки.

В статті приведено результати досліджень щодо розробки зносостійкого профілю коліс. Описано методику відбору профілів коліс із серії побудованих профілів. Для кожного варіанта профілю розв'язано просторову задачу контакту коліс і рейок, виконано аналіз параметрів взаємодії, у тому числі розмірів та розташування контактних плям. Проведено розрахунки вписування піввагона з візками 18-9817 у кругову криву малого радіуса (300 м) із різним ступенем зносу рейок та його руху по прямих ділянках колії. При аналізі отриманих результатів із побудованих профілів виконано вибір за двома протирічними критеріями: мінімуму гребеневого зносу коліс і максимуму запасу стійкості руху екіпажу. Вибраному профілю надано назву ІТМ-73-03.

Показано, що використання нового профілю коліс значно покращує процес взаємодії вантажного вагона з підвищеним осевим навантаженням і колії та суттєво знижує гребневий знос коліс, забезпечуючи при цьому високі динамічні якості екіпажу.

Виконано оцінку можливості використання профілю коліс ІТМ-73-03 у візках зі звичайним навантаженням на вісь 23,5 тс. Для проведення такого дослідження виконано розрахунки коливань піввагона з візками нового покоління моделі 18-7020 при русі по криволінійних та прямих ділянках колії. Зроблено висновок про допустимість використання нового профілю для обточування коліс вантажних вагонів з осевим навантаженням 23,5 тс.

В настоящее время в Украине для обновления грузового парка железных дорог в качестве одного из вариантов базовых тележек перспективных вагонов приняты новые тележки модели 18-9817 (ICG Motion Control), предназначенные для эксплуатации на железных дорогах колеи 1520 мм в грузовых вагонах с увеличенной до 25 тс осевой нагрузкой. Цель данной статьи – создание износостойкого профиля колес для этих тележек для улучшения их взаимодействия и условий контакта с рельсовой колеей. Применены методы математического моделирования, численного интегрирования, теории колебаний, статистической динамики.

В статье приведены результаты исследований по разработке износостойкого профиля колес. Описана методика отбора профилей колес из серии построенных профилей. Для каждого варианта профиля решена пространственная задача контакта колес и рельсов, выполнен анализ параметров взаимодействия, в том числе размеров и расположения контактных пятен. Проведены расчеты вписывания полувагона с тележками 18-9817 в круговую кривую малого радиуса (300 м) с разной степенью износа рельсов и его движения по прямым участкам пути. При анализе полученных результатов среди построенных профилей выполнен выбор по двум противоречивым критериям: минимуму гребневого износа колес и максимуму запаса устойчивости движения экипажа. Выбранному профилю присвоено название ИТМ-73-03.

Показано, что использование нового профиля колес значительно улучшает процесс взаимодействия грузового вагона с увеличенной осевой нагрузкой и пути и существенно снижает гребневой износ колес, обеспечивая при этом высокие динамические качества экипажа.

Выполнена оценка возможности использования профиля колес ИТМ-73-03 в тележках с обычной нагрузкой на ось 23,5 тс. Для проведения такого исследования произведены расчеты колебаний полувагона с тележками нового поколения модели 18-7020 при движении по криволинейным и прямым участкам пути. Сделан вывод о допустимости использования нового профиля для обточки колес грузовых вагонов с осевой нагрузкой 23,5 тс.

At present, new 18-9817 (ICG Motion Control) trucks designed for 1520 mm railway freight cars with an axle load increased to 25 tf are adopted for freight car fleet renewal in Ukraine. The aim of this paper is to develop a wear-resistant wheel profile for these trucks to improve wheel–rail interaction and contact conditions. To achieve this aim, use was made of methods of mathematical simulation, numerical integration, oscillation theory, and statistical dynamics.

The paper presents the results of studies on the development of a wear-resistant wheel profile. A procedure of wheel profile selection out of a series of constructed profiles is described. For each candidate profile, the 3D problem of wheel–rail contact was solved, and wheel–rail interaction parameters, including the contact path di-

© В. Ф. Ушкалов, Т. Ф. Мокрий, И. Ю. Малышева, Н. В. Безрукавый, 2018

Техн. механіка. – 2018. – № 1.

mensions and locations, were analyzed. A gondola car with 18-9817 trucks negotiating a narrow curve (of radius 300 m) with different rail wear degrees and moving on a tangent track was calculated. Based on the analysis of the results obtained, a selection out of the constructed profiles was made by two contradictory criteria: a minimum of wheel flange wear and a maximum of car dynamic stability margin. The selected profile was named ITM-73-03.

It was shown that the new wheel profile considerably improves the process of increased axle load car – track interaction and significantly reduces wheel flange wear while offering a high ride quality.

A possibility to use the ITM-73-03 wheel profile in trucks with a standard axle load of 23.5 tf was assessed. To do this, the vibrations of a gondola car with new-generation 18-7020 trucks moving in curves and on a tangent track were calculated. The results demonstrated that the wheels of freight cars with an axle load of 23.5 tf may be machined to the new profile too.

Ключевые слова: тележки грузового вагона с повышенной осевой нагрузкой, износ колес, динамические качества, разработка износостойкого профиля колес.

В настоящее время в Украине решается задача обновления грузового парка отечественных железных дорог с целью повышения динамических качеств экипажей, увеличения ресурса ходовых частей, снижения износа элементов подвижного состава и пути.

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) [1, 2]. Эти тележки имеют повышенную сдвиговую жесткость, что при прохождении экипажем криволинейных участков пути ухудшает условия его взаимодействия с рельсовой колесей и приводит к повышенному износу пары «колесо – рельс».

Наиболее перспективным с точки зрения оптимизации процессов взаимодействия считается конформный контакт колес и рельсов, для которого характерны наименьший износ и наиболее равномерное распределение напряжений по контактной поверхности, при этом величина их значительно ниже, чем при других видах контакта [3].

В работе [4] предложен профиль колес ИТМ-73-02, обеспечивающий их конформный контакт с рельсами Р65 с учетом формы износа их головок. Как показал анализ результатов расчетов, при обточке колес по профилю ИТМ-73-02 в тележках модели 18-7020 показатель износа гребней колес снижается в десятки раз по сравнению со стандартными колесами.

Оценим возможность использования износостойкого профиля ИТМ-73-02 для обточки колес тележки модели 18-9817.

Трехэлементная тележка 18-9817 – это совместная разработка американской компании ASF Keystone и украинской Промышленно-инвестиционной группы «ИнтерКарГрупп» [2]. Она предназначена для эксплуатации на железных дорогах колеи 1520 мм в грузовых вагонах с увеличенной до 25 тс осевой нагрузкой. Конструкция тележки имеет ряд отличительных особенностей: боковые скользуны постоянного контакта с пружинными упругими элементами (типа Preload Plus), характеристики которых могут подбираться в зависимости от типа вагона; упругие адаптеры в буксовых узлах; фрикционный клин с разнесенными наклонными контактными поверхностями и др. В выборе инерционных и упругих характеристик этой тележки Институт технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины (ИТМ НАНУ и ГКАУ) принимал активное участие.

Показатель износа пары «колесо–рельс» определяется как удельная, отнесенная к пройденному пути, работа сил трения по рабочей поверхности обода колеса. На рис. 1 приведено распределение показателя износа на набегавшем колесе ведущей колесной пары, полученное при расчетах вписывания со скоростью 60 км/ч в круговую кривую радиуса 300 м с неизношенными рельсами груженных полувагонов с тележками моделей 18-7020 (рис. 1, а)) и 18-9817 (рис. 1, б)), колеса которых обточены по профилю ИТМ-73-02.

Как видно, у тележки модели 18-9817 по сравнению с моделью 18-7020 резко возрос износ колес и происходит интенсивный износ гребня, что в эксплуатации может вызвать его подрез. Поскольку нагрузка на ось увеличилась менее чем на 7 %, такое ухудшение условий контакта колес и рельсов объясняется в основном изменением конструкции новых тележек 18-9817: ввиду большей связанности боковин посредством адаптеров рама тележки становится более жесткой, что повышает устойчивость движения вагона, но в то же время затрудняет его вписывание в криволинейные участки пути.

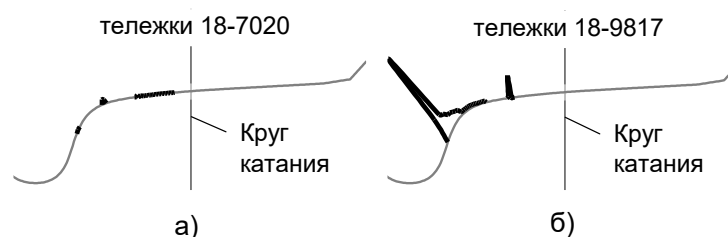


Рис. 1

Далее приведены результаты исследований по усовершенствованию профиля колес для тележки 18-9817 с целью улучшения ее взаимодействия и условий контакта с рельсовой колеёй.

На базе профиля ИТМ-73-02 построено семейство (более 20) профилей колес с толщиной гребня 32 мм. При их разработке ставилась задача улучшения условий взаимодействия вагона и пути, снижения интенсивности износа колес при сохранении динамических качеств экипажа на должном уровне. Для каждого варианта профиля решена пространственная задача контакта колес и рельсов, выполнен анализ параметров взаимодействия, в том числе размеров и положения контактных пятен. Проведены расчеты вписывания полувагона с тележками 18-9817 в круговую кривую малого радиуса ($R = 300$ м) с разной степенью износа рельсов и его движения по прямым участкам пути. Применяемая в данной работе модель случайных возмущений, действующих на экипаж, отражает амплитудно-частотный состав реальных неровностей пути и построена на основе записей показаний вагона-путеизмерителя на участках пути «хорошего» состояния [5]. При анализе полученных результатов среди построенных профилей проведен выбор по двум противоречивым критериям: гребневого износа колес и устойчивости движения экипажа. Выбранному профилю присвоено название ИТМ-73-03.

Оценено влияние выбранного профиля колес на условия контакта и показатели взаимодействия экипажа и пути при его вписывании в груженом состоянии с постоянной скоростью в круговую кривую радиуса 300 м.

Зависимости максимальных значений показателя гребневого износа колес A_{max} от скорости движения груженого вагона, оборудованного тележками 18-9817 с профилями колес ИТМ-73-02 и ИТМ-73-03, показаны на рис. 2. Рассматривались рельсы Р65 с разной степенью износа: неизношенные, малоизношенные (боковой износ наружного рельса 3,5 мм). Для сравнения также нанесены результаты, полученные при установке в этих тележках колесных пар со стандартным профилем колес. Термином «гребневой износ» здесь и далее обозначен износ галтели и гребня колеса.

Если рельсы кривой неизношенные (см. рис. 2, а)), то показатель A_{max} колес с профилем ИТМ-73-03 меньше в (5 – 8) раз, чем колес с профилем ИТМ-73-02, и в (10 – 11) раз, чем колес со стандартным профилем. При движении по изношенным рельсам (см. рис. 2, б)) значения A_{max} колес с профилями серии ИТМ близки и меньше износа стандартных колес в (7 – 8) раз.

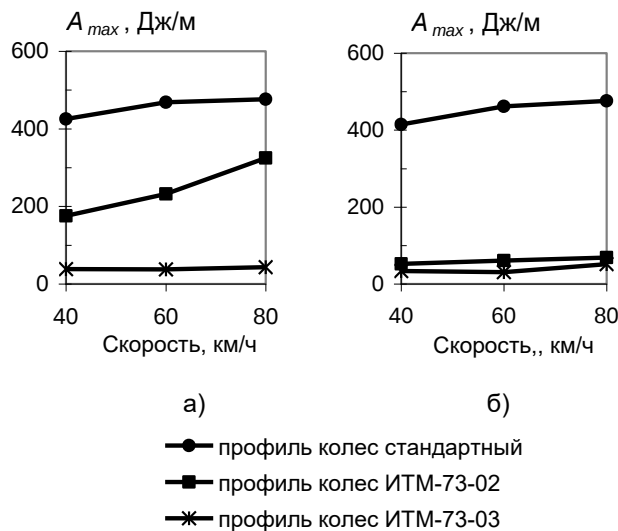


Рис. 2

На рис. 3 показано приведенное к меридиональному сечению колеса рас-

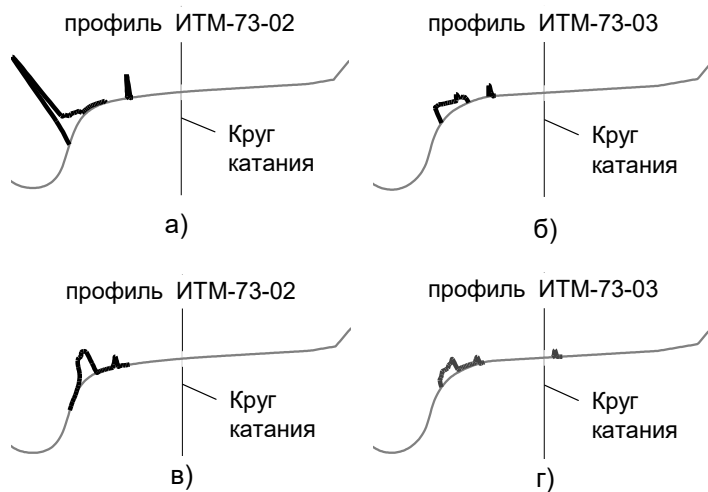


Рис. 3

пределение показателя износа по рабочей поверхности ободьев набегающих колес с профилями ИТМ при движении экипажа со скоростью 60 км/ч в кривой с неизношенными (см. рис. 3, а), 3, б)) и малоизношенными (см. рис. 3, в), 3, г)) рельсами. Видно, что колеса с профилем ИТМ-73-03 изнашиваются менее интенсивно, зоны контакта на них обширны и располагаются преимущественно на галтели либо поверхности катания. Контакт колес с профилем ИТМ-73-02 также близок к конформному, но их взаимодействие с рельсом происходит не только галтелью, но и гребнем.

Таким образом, с точки зрения гребневого износа новый профиль колес ИТМ-73-03 является лучшим.

На рис. 4, 5 показано распределение по пятнам контакта сил давления P , передающихся от колес на рельсы. Результаты получены для случаев вписывания вагона в кривую с неизношенными (см. рис. 4) и малоизношенными (см. рис. 5) рельсами. Видно, что по размерам пятна контакта близки, но уровень сил давления у колес с профилем ИТМ-73-02 на гребне выше.

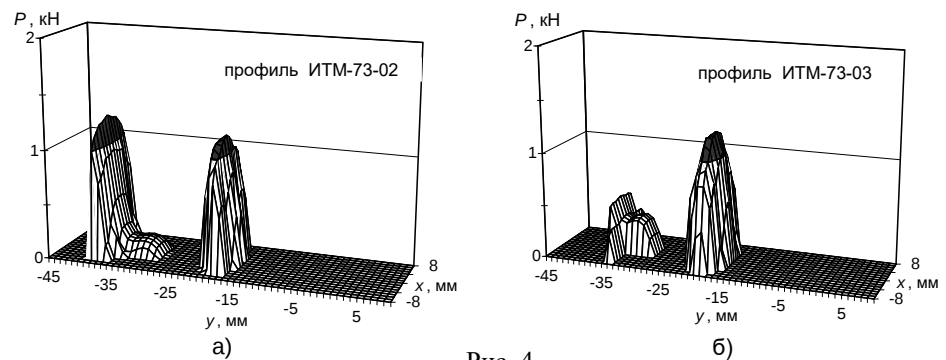


Рис. 4

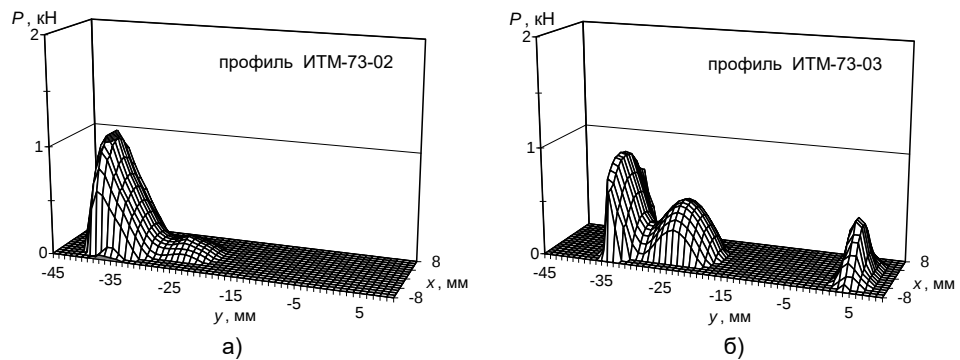


Рис. 5

При моделировании движения рельсового экипажа по криволинейным участкам пути угол поворота $\psi_{\text{кп}}$ его колесных пар при влиании (угол набегания) отсчитывается от положения их радиальной установки, которое считается наилучшим с точки зрения износа колес и рельсов. Поэтому чем меньше угол $\psi_{\text{кп}}$, тем благоприятнее происходит процесс вписывания экипажа в кривую.

На рис. 6 приведены зависимости от скорости движения значений угла $\psi_{кп}$ колесных пар ведущей тележки при прохождении полувагона с тележками модели 18-9817 кривых радиуса 300 м с неизношенными (см. рис. 6, а)) и малоизношенными (см. рис. 6, б)) рельсами. Как видим, во всех рассмотренных случаях в тележке первая колесная пара (по ходу движения вагона) развернута на большой угол $\psi_{кп}$, а установка второй колесной пары близка к радиальной.

Ведомая тележка вагона вписывается в данные кривые аналогично. Таким образом, при данной конструкции тележек износ пары «колесо–рельс» определяется в основном профилем обточка колес.

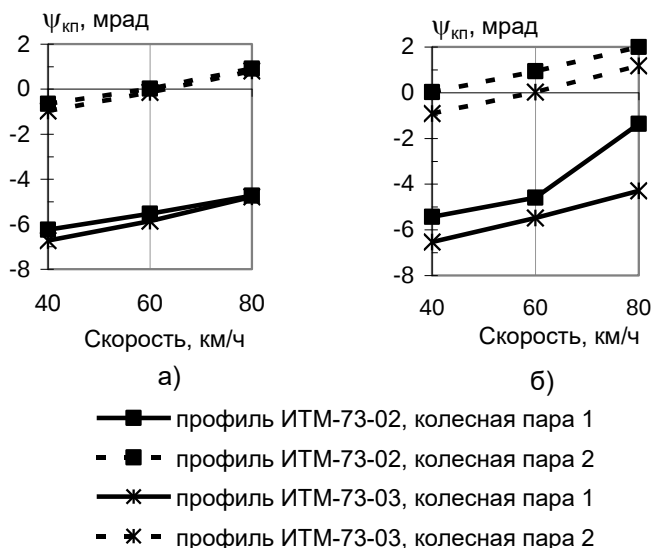


Рис. 6

Влияние нового профиля колес ИТМ-73-03 на динамические качества рассматриваемого полувагона с повышенной осевой нагрузкой оценивалось при анализе результатов расчетов его движения с постоянной скоростью по прямому участку пути «хорошего» состояния. Задаваемые возмущения описаны выше. Изменение профиля колес практически не влияет на характеристики колебаний вагона в вертикальной плоскости, поэтому на рис. 7 приведены зависимости от скорости V максимальных значений горизонтальных нормируемых показателей: поперечных ускорений пятников $\ddot{y}_{п}$ в долях ускорения свободного падения g и рамных сил H_p в долях статической осевой нагрузки P_o . Результаты, полученные для порожнего экипажа, показаны на рис. 7, а), 7, б), груженого – на рис. 7, в), 7, г).

Как видно, использование в тележках 18-9817 нового профиля колес ИТМ-73-03 вместо профиля ИТМ-73-02 не ухудшает динамические качества экипажа, а в некоторых случаях может даже улучшить. Например, ускорения $\ddot{y}_{п}$ порожнего вагона с профилем колес ИТМ-73-02 достигают предельного значения для «отличного» хода при скорости 95 км/ч, а вагона с профилем колес ИТМ-73-03 остаются ниже данного уровня до $V = 105$ км/ч включительно.

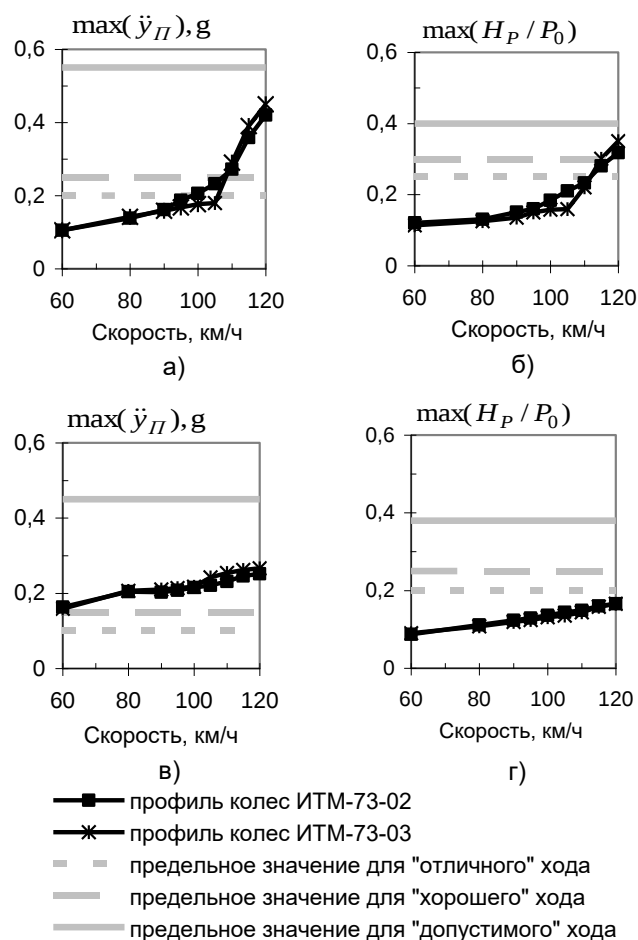


Рис. 7

Следует отметить, что динамические показатели как порожнего, так и груженого экипажей в случаях обточки колес по двум рассмотренным профилям разработки ИТМ остаются существенно ниже своих предельных допустимых значений во всем расчетном диапазоне скоростей движения до 120 км/ч.

Таким образом, использование усовершенствованного износостойкого профиля колес ИТМ-73-03 заметно улучшает процесс взаимодействия грузового вагона с новыми тележками модели 18-9817 и пути и значительно снижает гребневой износ колес, обеспечивая при этом высокие динамические качества экипажа.

Представляет интерес оценка возможности использования профиля колес ИТМ-73-03, разработанного для вагонов с повышенной до 25 тс осевой нагрузкой, в тележках с обычной нагрузкой на ось 23,5 тс. Для проведения такого исследования производились расчеты колебаний полувагона с тележками нового поколения модели 18-7020 при движении по криволинейным и прямым участкам пути для случаев обточки колес по двум профилям разработки ИТМ: ИТМ-73-02 и ИТМ-73-03. Задавались возмущения, описанные выше.

Характеристики взаимодействия груженого экипажа и пути анализировались при расчетах его вписывания в круговую кривую радиуса 300 м. На рис. 8 приведены зависимости от скорости движения максимальных значений показателя гребневого износа в сравнении с результатами для случая использования стандартных колес: для случая неизношенных рельсов – на рис. 8, а), малоизношенных – на рис. 8, б).

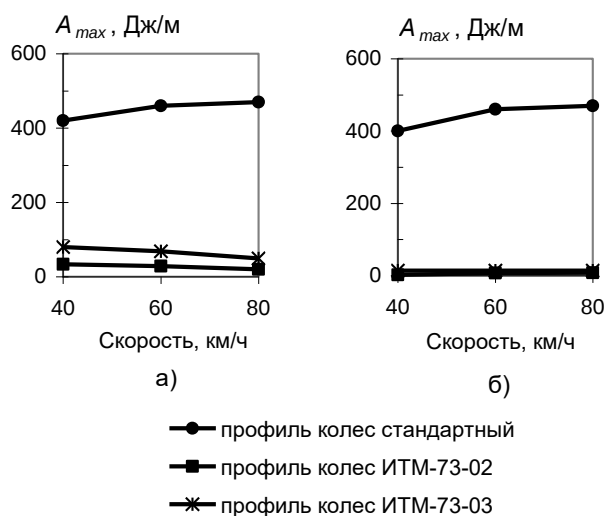


Рис. 8

Видно, что с точки зрения износа новый профиль колес ИТМ-73-03 немного хуже разработанного ранее профиля ИТМ-73-02, если рельсы кривой неизношенные.

Связанность рам тележек модели 18-7020 значительно ниже, чем тележек модели 18-9817, поэтому они устанавливаются иначе при вписывании в кривые малого радиуса. Если первая и вторая тележки 18-9817 вписываются одинаково независимо от профиля колес, то тележки 18-7020 устанавливаются по-разному. На рис. 9 показаны зависимости от скорости движения показателя установки тележек при вписывании – угла набегания первых по ходу движения колесных пар ведущей (кол. пара 1) и ведомой (кол. пара 3) тележек груженого вагона. Для кривой с неизношенными рельсами – на рис. 9, а), с малоизношенными – на рис. 9, б).

При прохождении кривой рамы тележек 18-7020 принимают форму параллелограмма, что позволяет колесным парам занять положение, приближающееся к радиальному. При этом обе колесные пары в одной тележке устанавливаются одинаково. Профили ИТМ-73-02 и ИТМ-73-03 дают возможность колесным парам вписываться практически радиально, потому и износ их колес невелик.

Динамические качества рассматриваемого полувагона с тележками модели 18-7020 при использовании двух профилей колес ИТМ оценивались по результатам расчетов его движения по прямому пути. На рис. 10 приведены зависимости от скорости V максимальных значений поперечных ускорений пятников кузова и рамных сил порожнего экипажа.

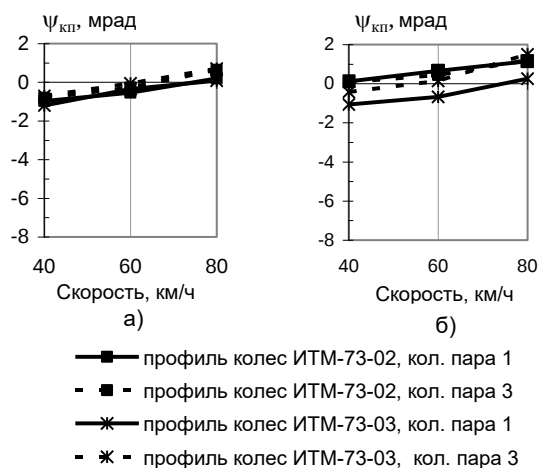


Рис. 9

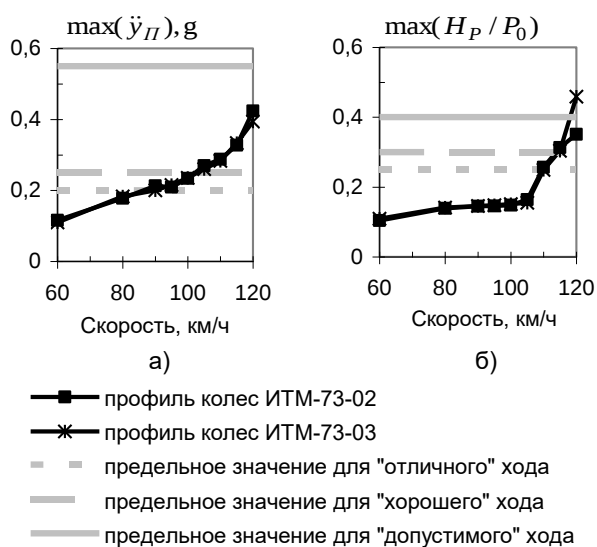


Рис. 10

Видно, что выбор профиля из серии ИТМ не влияет на ускорения $\ddot{y}_п$, которые существенно ниже допустимого значения во всем расчетном диапазоне скоростей движения, а при $V < 105$ км/ч – и предельного значения для «хорошего» хода. Значения рамных сил H_P до скорости 105 км/ч включительно совпадают при использовании рассматриваемых профилей и в 2 раза меньше предельного значения для «отличного» хода. При дальнейшем увеличении скорости устойчивость движения порожнего экипажа снижается, но это не настолько критично, чтобы можно было говорить о потере устойчивости движения.

Таким образом, с точки зрения унификации вполне возможно использование нового профиля ИТМ-73-03 для обточка колес грузовых вагонов с тележками нового поколения модели 18-7020.

Выводы.

1. Применение разработанного износостойкого профиля колес ИТМ-73-03 заметно улучшает процесс взаимодействия грузового вагона с новыми тележками модели 18-9817 и пути и значительно снижает гребневой износ колес, обеспечивая при этом высокие динамические качества экипажа.

2. Новый профиль ИТМ-73-03 допустимо использовать также для обточ-ки колес грузовых вагонов с тележками нового поколения модели 18-7020.

1. 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>.
2. 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_nagruzkoy_ot_kolesnoj_pary_na_relsy_25t/1-1-0-6.
3. 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.
4. Ушкалов В. Ф., Мокрый Т. Ф., Малышева И. Ю., Безрукавый Н. В. Усовершенствование ходовых частей перспективного грузового вагона. Техническая механика. 2017. № 4. С. 79–88.
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.

Получено 23.01.2018,
в окончательном варианте 27.02.2018