

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ГРУЗОВОГО ЛОКОМОТИВА И ИЗНОСА ЕГО КОЛЕС С РАЗНЫМИ ПРОФИЛЯМИ БАНДАЖЕЙ

В данной статье изложены результаты теоретической оценки эффективности применения для обточка колес грузового локомотива нового износостойкого профиля ИТМ-73Л, разработанного в Институте технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины (ИТМ НАНУ и ГКАУ) по заказу Укрзалізничці. Опыт эксплуатации в грузовом тяговом подвижном составе колес с типовыми профилями бандажей (в соответствии с ГОСТ 11018, чертежами ЗАО „МИНЕТЕК”, предложением Зинюка–Никитского) показал, что полностью проблема сверхнормативного износа гребней колес до сих пор не решена. Цель данной работы заключается в сравнительной оценке показателей износа колес и динамических качеств локомотивов, оборудованных колесами с новым профилем бандажей ИТМ-73Л и тремя указанными выше типовыми профилями. В качестве объекта исследования выбран грузовой электровоз постоянного тока серии ВЛ11<sup>М</sup>. Анализируются результаты расчетов пространственных колебаний локомотивов при движении с постоянной скоростью по прямолинейным и криволинейным участкам пути, в которых уложены рельсы с различной степенью износа головок. Показано, что из числа рассмотренных локомотивов с новым профилем колес ИТМ-73Л обладает наибольшим запасом устойчивости против схода колес с рельсов и применение предложенного профиля в грузовых локомотивах, работающих на участках с большим количеством кривых малого радиуса, позволит снизить гребневой износ их колес и, следовательно, увеличить их ресурс, что даст существенный экономический эффект.

У даній статті викладено результати теоретичної оцінки ефективності застосування для обточування коліс вантажного локомотива нового зносостійкого профілю ІТМ-73Л, розробленого в Інституті технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України (ІТМ НАНУ і ДКАУ) за замовленням Укрзалізничці. Досвід експлуатації у вантажному тяговому рухомому складі коліс із типовими профілями бандажів (відповідно до ГОСТ 11018, креслень ЗАТ "МІНЕТЕК", пропозиції Зінюка–Нікітського) показав, що повністю проблему наднормативного зносу гребенів коліс досі не вирішено. Мета даної роботи полягає в порівняльній оцінці показників зносу коліс та динамічних якостей локомотивів, обладнаних колесами із новим профілем бандажів ІТМ-73Л і трьома вказаними вище типовими профілями. За об'єкт дослідження обрано вантажний електровоз постійного струму серії ВЛ11<sup>М</sup>. Аналізуються результати розрахунків просторових коливань локомотивів при русі з постійною швидкістю по прямолинійних і криволінійних ділянках колії, в яких укладено рейки з різним ступенем зносу головок. Показано, що з числа розглянутих локомотивів із новим профілем коліс ІТМ-73Л має найбільший запас стійкості проти сходу коліс з рейок і застосування запропонованого профілю у вантажних локомотивах, що працюють на ділянках з великою кількістю кривих малого радіуса, дозволить знизити гребневий знос їх коліс і, отже, збільшити їх ресурс, що дасть суттєвий економічний ефект.

The paper presents the results of a theoretical estimation of an efficiency of use of the ITM-73L new wear-resistant profile for trueing the wheels of a freight locomotive, which was developed at the Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and the State Space Agency of Ukraine (ITM NASU & SSAU) on order of Ukrzaliznytsya. Operating experience of the wheels with standard rim profiles in the freight traction rolling stock (in accordance with GOST 11018, Close Corporation MINETEK drawings, the Zinyuk–Nikitsky proposal) showed that up to now the problem of a supernormal wear of the wheel flanges is not resolved. The objective of this paper consists in a comparable evaluation of the wheel wear factors and the dynamic performance of locomotives equipped with the wheels with ITM-73L new rim profile and the above three standard profiles. The VL11<sup>M</sup>-series electric freight DC locomotive is chosen as a subject of investigations. The results of calculations of space vibrations of locomotives moving at a constant speed on straight and curved track sections with various wear rate of rail heads are analyzed. It is shown that the locomotive with the ITM-73L new wheel profile possess the greatest stability against derailment from among considered locomotives and the use of the proposed profile for the freight locomotives operating at sections with a large number of sharp curves allows reduction of the flange wear of their wheels and consequently, expend their life resulting in a considerable economical effect.

Актуальною проблемою залізничних доріг України і країн СНГ залишається сверхнормативна інтенсивність износа бандажів колес тягового подвижного состава. Крім економічних аспектів, зв'язаних з переточкою колесних пар, інтенсивний износ бандажів приводить до погіршенню динамічних якостей подвижного состава, зниженню безпеки руху і до інших проблем. Зарубіжні і вітчизняні дослідники пропонують змен-

шать 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. Путем 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.

Согласно действующей Инструкции [1], колеса локомотивов в Украине могут быть обточены по профилям в соответствии с ГОСТ 11018 (чертеж 3), чертежами ЗАО „МИНТЕК” (далее МИНТЕК), предложением Зинюка–Никитского. Опыт эксплуатации колес, обточенных по данным профилям, показал, что полностью решить проблему сверхнормативного износа бандажей не удалось. В связи с актуальностью проблемы в Институте технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины (ИТМ НАНУ и ГКАУ) по заказу Укрзалізници был разработан новый профиль ИТМ-73Л бандажей локомотивных колес с толщиной гребня 32 мм. Как ожидается, применение данного профиля позволит снизить интенсивность износа гребней колес, увеличить ресурс бандажей и сроки межремонтных пробегов.

Цель данной статьи заключается в сравнительной оценке показателей износа колес и динамических качеств локомотивов, оборудованных колесами с новым профилем бандажей ИТМ-73Л и тремя указанными выше типовыми профилями.

Для оценки эффективности применения нового профиля колес проведено математическое моделирование колебаний грузового локомотива. В качестве объекта исследования выбран грузовой электровоз постоянного тока серии ВЛ11<sup>М</sup>. Данный выбор обоснован тем, что локомотивы этой серии эксплуатируются на участках с большим количеством кривых малого радиуса (Львовская железная дорога), для которых характерна высокая интенсивность износа гребней бандажей.

Механическая часть локомотива ВЛ11 унифицирована с электровозами серии ВЛ10, ВЛ80 и ВЛ82, поэтому разработанная модель может применяться для исследования динамики целого ряда электровозов. В расчетной схеме (рис. 1) секция локомотива рассматривается в виде системы из семи твердых тел (кузова, двух рам тележек, четырех колесных пар), соединенных упруго-диссипативными элементами.

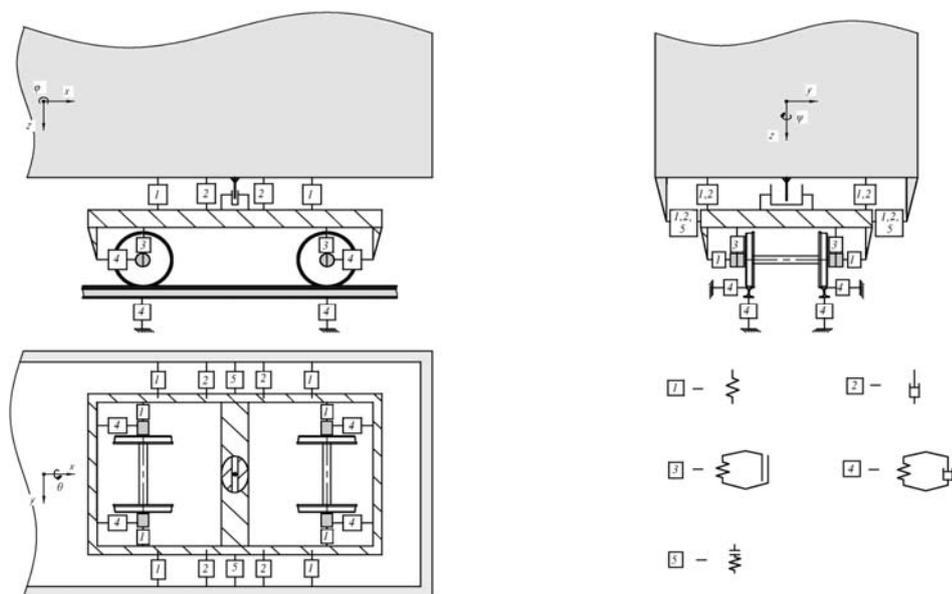


Рис. 1

В разработанной математической модели учтены следующие конструктивные особенности:

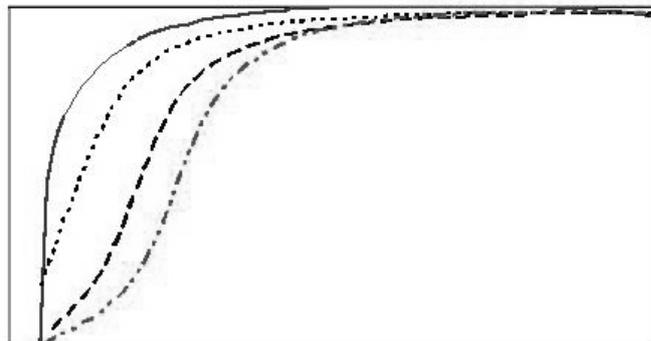
- связь кузова с рамой тележки упруговязкая: центральное подвешивание допускает взаимные поступательные перемещения рамы тележки и кузова в вертикальном и горизонтальном поперечном направлениях, а также их взаимные повороты во всех направлениях;
- при горизонтальных поперечных деформациях связей кузова с рамами тележек более 15 мм моделируется характеристика (типа «зазор») упругого упора, при деформациях более 30 мм – жесткого упора;
- связь между рамой тележки и колесной парой упругодиссипативная: буксовое рессорное подвешивание в сочетании с резинометаллическими элементами поводков допускает взаимные перемещения этих тел во всех направлениях (при вертикальных перемещениях возникают силы кулонова трения, при остальных перемещениях – вязкого).

Путь принят упруговязким инерционным в вертикальном и горизонтальном поперечном направлениях. Модель процесса взаимодействия экипажа и пути учитывает возможность возникновения фаз одно- и двухточечного контакта на поверхностях бандажа колеса и головки рельса. Считается, что касательные силы взаимодействия являются силами крипа. Модель сил крипа [2]

учитывает их нелинейную зависимость от геометрических параметров контактирующих поверхностей, положения контактного пятна, переменной нагрузки от колеса на рельс, различных углов наклона плоскости контакта к горизонту. Геометрические параметры контакта (радиусы текущих кругов катания колес, углы взаимодействия колес с рельсами и др.) являются нелинейными функциями поперечного перемещения колес относительно рельсов и зависят от профилей контактирующих тел, а также от положения на них контактных пятен. Данные параметры вычисляются при решении задачи геометрического взаимодействия колес и рельсов, где в качестве исходных используются функции, описывающие профили контактных поверхностей. Предусмотрена возможность задания профилей как новых, так и изношенных колес и рельсов.

Рассматриваемая механическая система «секция локомотива – путь» имеет 52 степени свободы.

Исследовались пространственные колебания рассматриваемого электроваза для случаев, когда его колеса обточены по профилям ИТМ-73Л, ГОСТ 11018, МИНТЕК и Зинюка–Никитского. Расчеты движения экипажа по прямолинейным участкам пути проводились при задании профиля неизношенного рельса Р65, по криволинейным участкам – профилей рельсов с разной степенью износа. Использовались типовые формы профилей головок изношенных наружных рельсов кривых (рис. 2) с боковым износом 3,5 мм (далее малоизношенные рельсы), 7,8 мм (среднеизношенные рельсы) и 13,7 мм (сильноизношенные рельсы) [3]. Показатели износа  $A$  определялись как удельная, отнесенная к пройденному пути, работа сил трения по рабочей поверхности бандажа колеса [2].



- неизношенный рельс Р65
- ..... малоизношенный рельс (боковой износ 3,5 мм)
- - - - среднеизношенный рельс (боковой износ 7,8 мм)
- · - · - · сильноизношенный рельс (боковой износ 13,7 мм)

Рис. 2

Ниже приведены зависимости от скорости движения электроваза ВЛ11<sup>М</sup> в круговой кривой радиуса 300 м показателей износа  $A$  характерных зон по-

верхности бандажа колес (конической части, галтели, гребня), набегающих на наружный рельс.

Результаты расчетов для случая неизношенных рельсов показаны на рис. 3 а, малоизношенных – на рис. 3 б, среднеизношенных – на рис. 4 а и сильноизношенных – на рис. 4 б. Как видим, независимо от задаваемой степени износа рельсов характер износа поверхности бандажей колес с одним и тем же профилем не меняется.

Так, у колес с профилем по ГОСТ 11018 работают коническая часть поверхности катания и гребень, причем показатели износа остаются примерно на одном уровне. Износ гребней колес с профилем Зинюка–Никитского в 2 – 3 раза меньше, однако у них одновременно изнашивается и галтель. Гребневой износ колес с профилями ИТМ-73Л и МИНЕТЕК практически отсутствует, в основном изнашиваются галтели, причем показатели износа  $A_{галтели}$  отличаются незначительно.

Распределение показателя износа по поверхности бандажа набегающего на наружный рельс колеса ведущей колесной пары при движении электровоза со скоростью 60 км/ч в кривых с разной степенью износа рельсов показано на рис. 5: а – неизношенные рельсы, б – малоизношенные рельсы, в – среднеизношенные рельсы, г – сильноизношенные рельсы. Из анализа приведенных результатов следует, что при взаимодействии с любым из рассматриваемых вариантов рельсов будет происходить подрез гребней стандартных (по ГОСТ 11018) колес. Износ колес с профилем Зинюка–Никитского тоже неравномерен, второе пятно контакта расположено не на конической части поверхности катания, а в начале галтели.

При обточке колес по специально разработанным профилям их износ может быть значительно уменьшен и распределен по поверхности катания иначе. Так, колеса с профилями ИТМ-73Л и МИНЕТЕК изнашиваются преимущественно галтелью. При этом второе пятно контакта на колесе с профилем ИТМ-73Л размещено в районе круга катания на конической части поверхности, а на колесе, обточенном по профилю МИНЕТЕК – ближе к галтели либо на самой галтели. По износу контактной пары «колесо-рельс» профили колес ИТМ-73Л и МИНЕТЕК почти равноценны, однако одно из преимуществ предложенного профиля ИТМ-73Л состоит в том, что он обеспечивает толщину гребня на 2 мм больше (32 мм против 30 мм) и поэтому увеличивает ресурс бандажа до обточки.

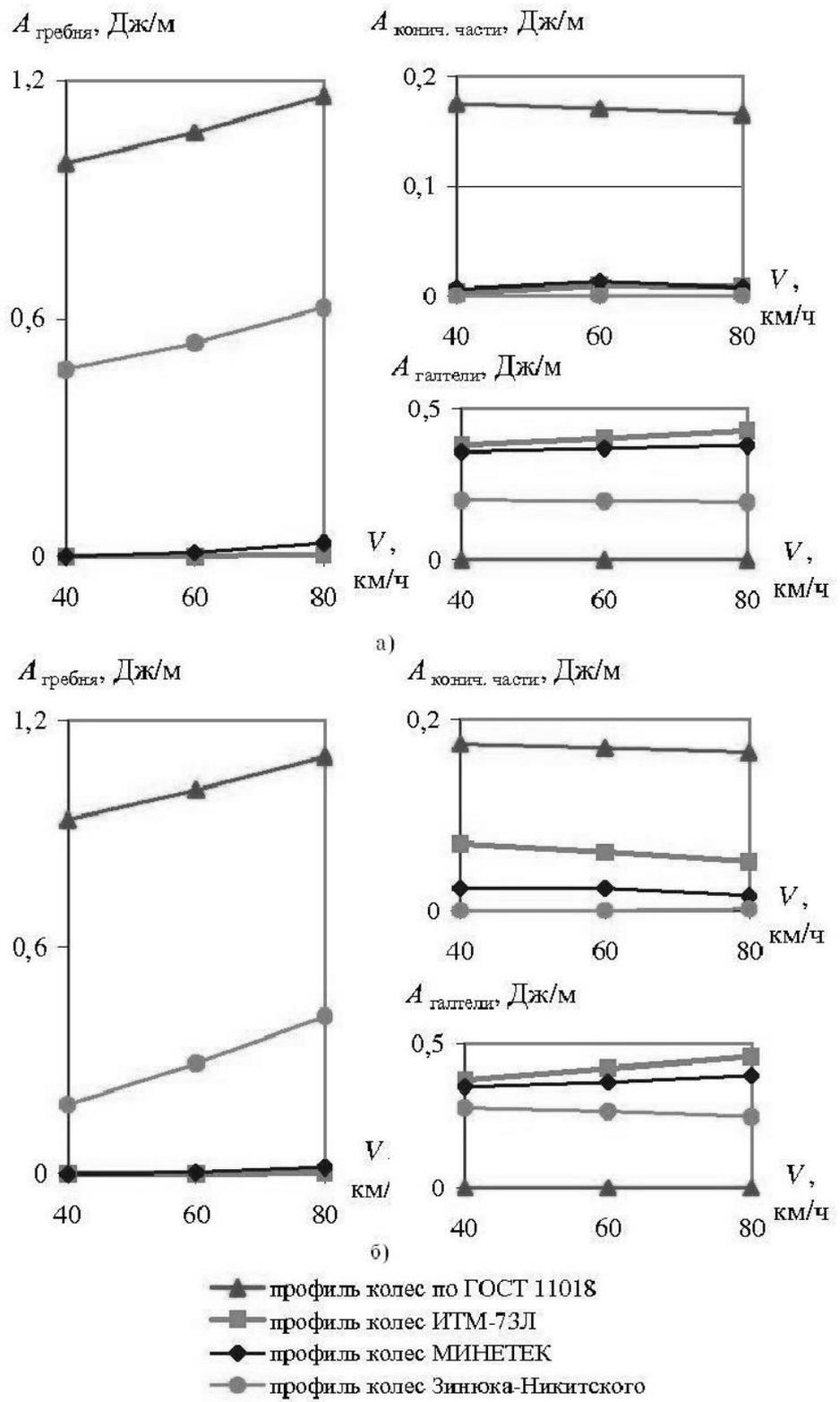
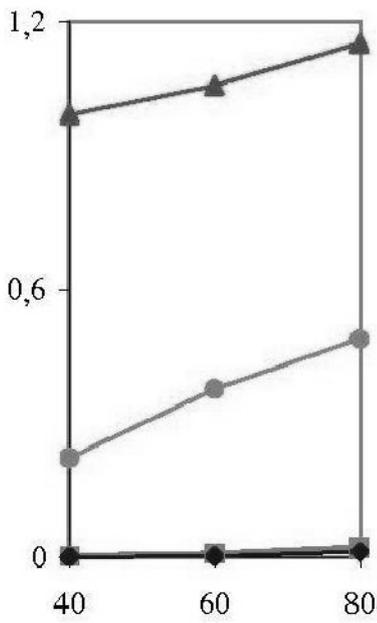
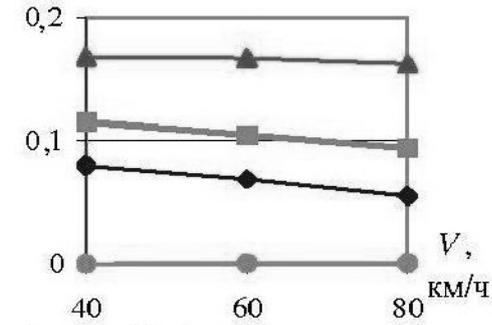


Рис. 3

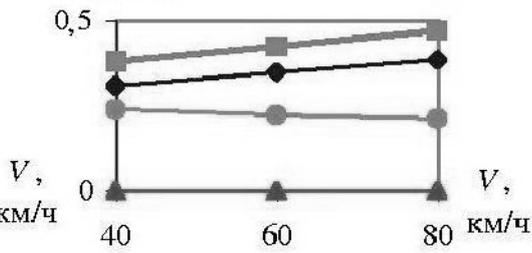
$A_{\text{гребня}}, \text{Дж/м}$



$A_{\text{конеч. части}}, \text{Дж/м}$

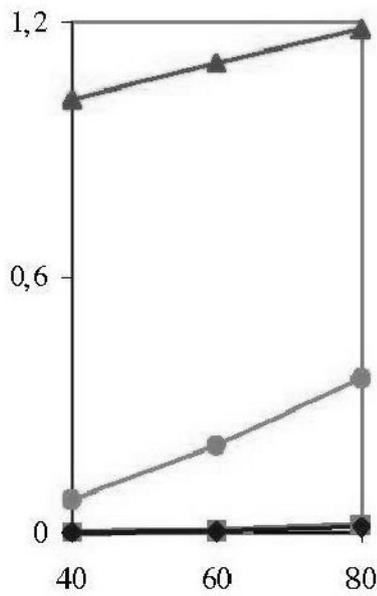


$A_{\text{галтели}}, \text{Дж/м}$

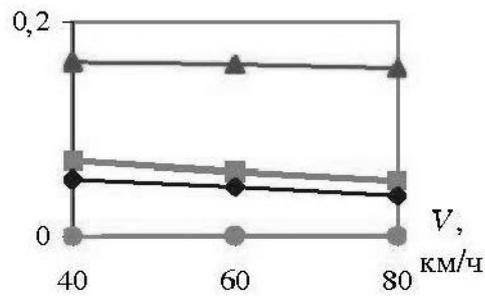


а)

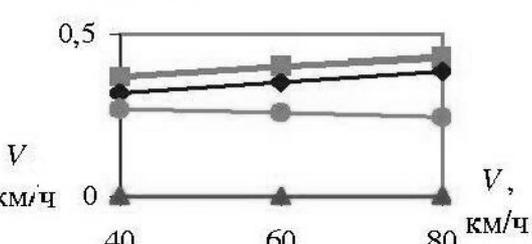
$A_{\text{гребня}}, \text{Дж/м}$



$A_{\text{конеч. части}}, \text{Дж/м}$



$A_{\text{галтели}}, \text{Дж/м}$



б)

- ▲ профиль колес по ГОСТ 11018
- профиль колес ИТМ-73Л
- ◆ профиль колес МИНЕТЕК
- профиль колес Зинюка-Никитского

Рис. 4

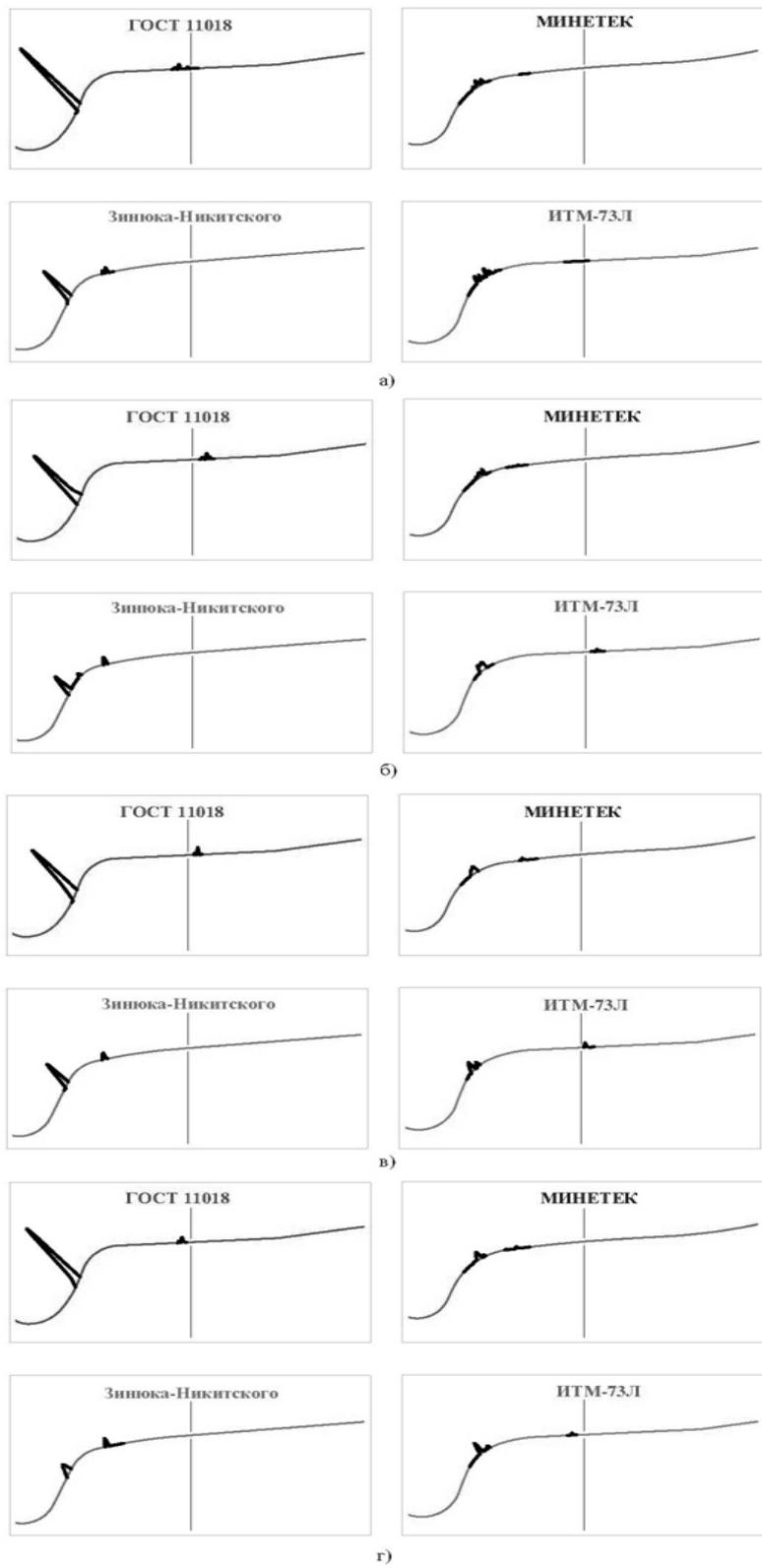


Рис. 5

Известно, что использование нелинейных профилей колес наряду с уменьшением их износа может вызвать ухудшение устойчивости движения железнодорожных экипажей, т. е. снижение их критических скоростей. В связи с этим была выполнена оценка влияния нового профиля колес на устойчивость движения рассматриваемого электровоза. Анализировались свободные колебания локомотива при движении с постоянной скоростью по прямолинейному идеально гладкому отрезку пути. Начальные условия задавались в виде бокового отхода колесных пар первой и второй тележек в противоположные стороны. Ниже приведено сопоставление полученных в расчетах процессов колебаний первой колесной пары локомотива: бокового отхода  $y_{кп1}$  – на рис. 6, влияния  $\psi_{кп1}$  – на рис. 7.

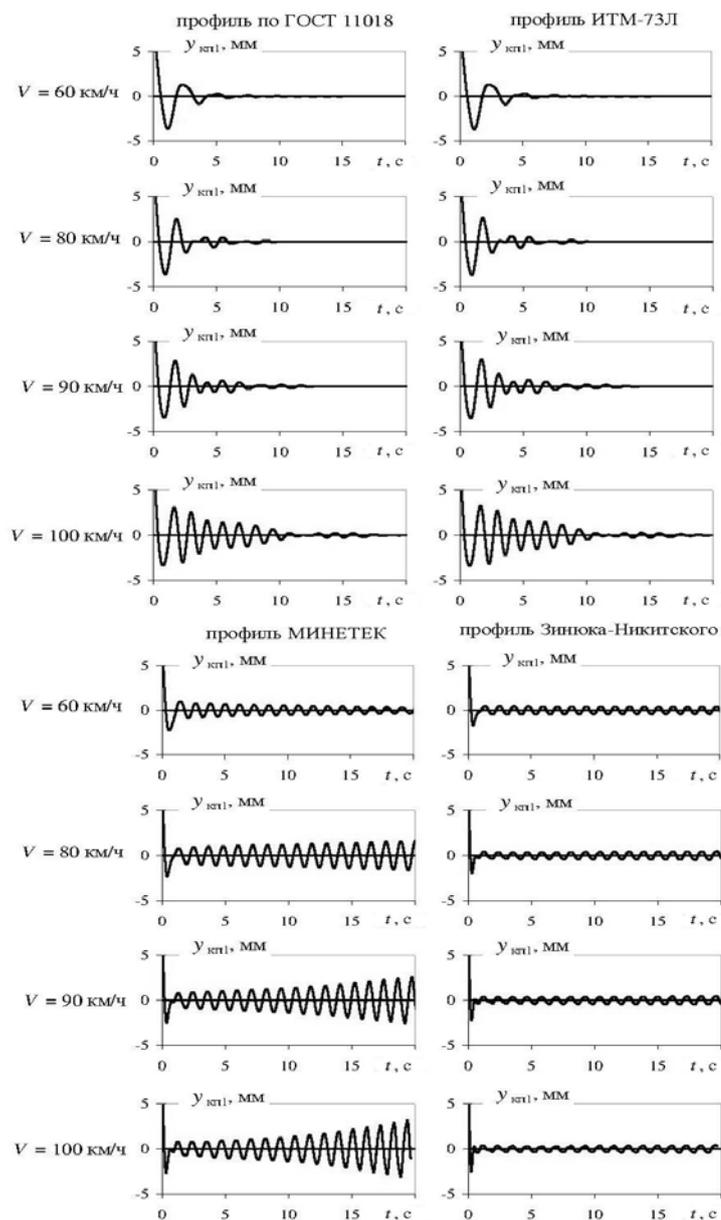


Рис. 6

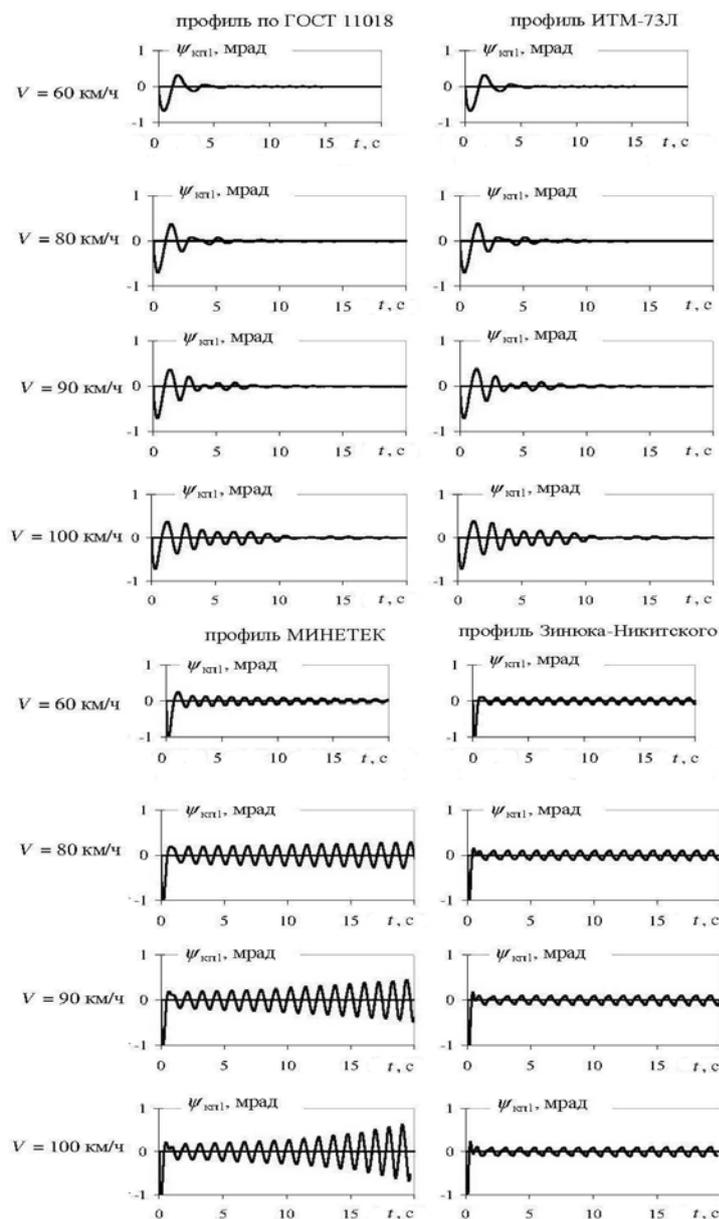


Рис. 7

Как видно, движение экипажей с колесами, бандажи которых обточены по профилям ИТМ-73Л и ГОСТ 11018, устойчиво во всем расчетном диапазоне скоростей до конструкционной скорости 100 км/ч включительно: процессы колебаний в горизонтальной плоскости со временем затухают. Движение локомотива с профилем колес МИНТЕК становится неустойчивым уже при скорости 80 км/ч: начинаются автоколебания и процессы  $y_{кп1}$  и  $\psi_{кп1}$  не затухают. При любой из рассмотренных скоростей  $V$  у экипажа с профилем колес Зинюка–Никитского устанавливаются автоколебания с одинаковыми частотами и малой амплитудой.

Для оценки влияния профиля бандажей колес на динамические качества локомотива были выполнены расчеты его вынужденных колебаний при дви-

жении по прямым участкам пути со случайными неровностями, соответствующими его «хорошему» состоянию. Анализ полученных результатов показал, что выбор профиля колес практически не влияет на динамические показатели электровоза в вертикальной плоскости и может существенно влиять на показатели в горизонтальной плоскости.

Для примера на рис. 8 показаны зависимости от скорости движения максимальных значений рамных сил в долях статической осевой нагрузки  $H_p/P_0$ , на рис. 9 – угла поворота  $B_p$  рам тележек относительно кузова при вилянии. Видно, что рассматриваемые показатели электровозов с профилями колес по ГОСТ 11018 и ИТМ-73Л отличаются несущественно. Рамные силы экипажа с профилем колес Зинюка–Никитского больше (по сравнению со случаями применения профилей колес по ГОСТ 11018 и ИТМ-73Л) на (13 – 60)% при невысоких (до 80 км/ч) скоростях движения, а локомотива с профилем колес МИНТЕК – на (12 – 30)% во всем расчетном диапазоне скоростей. Кроме того, показатель  $H_p/P_0$  локомотива с профилем бандажей МИНТЕК при скоростях выше 95 км/ч становится больше допустимого значения, а рамные силы остальных электровозов не превышают этот уровень при всех рассмотренных  $V$ .

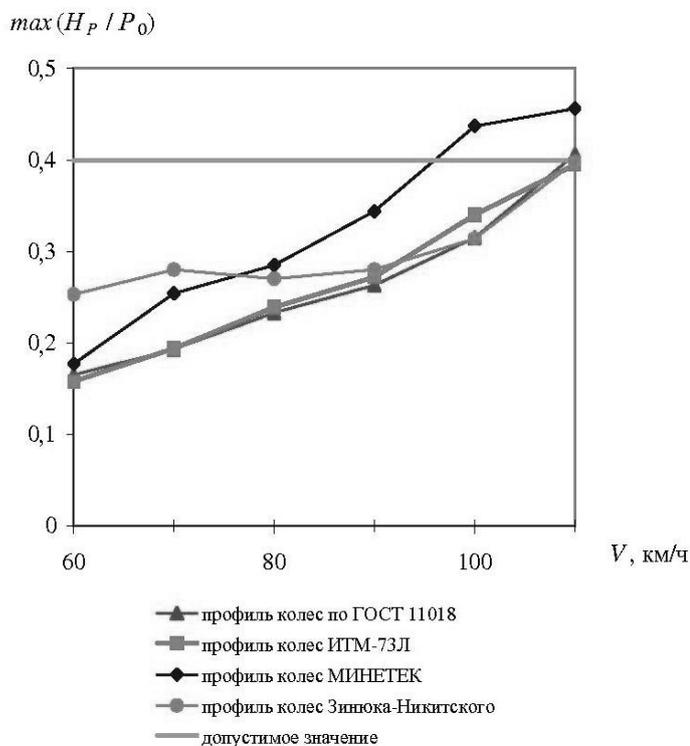


Рис. 8

$\max(B_p)$ , мрад

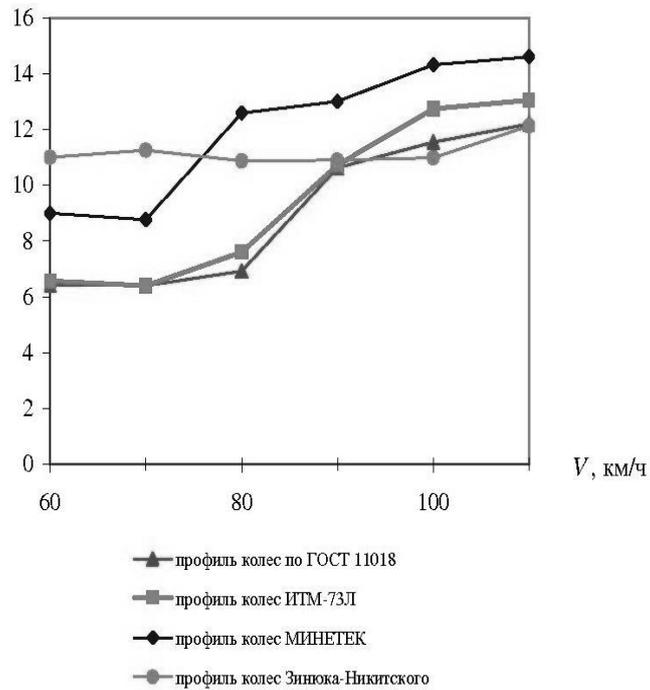


Рис. 9

Амплитуды угла виляния, полученные для локомотива, бандажи колес которого обточены по профилю Зинюка–Никитского, больше, чем для экипажей с профилями ИТМ-73Л и по ГОСТ 11018 на (40 – 75)% при  $V < 90$  км/ч. Данный показатель электровоза с профилем колес МИНЕТЕК выше  $B_p$  локомотивов с двумя вышеназванными профилями колес на (12 – 65)% во всем расчетном диапазоне скоростей движения.

Таким образом, при обточке бандажей колес по новому износостойкому профилю ИТМ-73Л динамические качества грузового электровоза сохраняются на таком же уровне, как у экипажа со стандартными (по ГОСТ 11018) неизношенными колесами, и оказываются лучше, чем у локомотивов с профилями колес МИНЕТЕК и Зинюка–Никитского.

Влияние формы профиля бандажей колес локомотивов на безопасность движения иллюстрируется на рис. 10, где показаны коэффициенты запаса устойчивости против схода колес с рельсов  $K_y$  для случаев вписывания с разными скоростями электровоза ВЛ11<sup>М</sup>, оборудованного колесами с рассматриваемыми профилями бандажей, в круговые кривые радиуса 300 м с разной степенью износа рельсов (новые (а), малоизношенные (б), среднеизношенные (в) и сильноизношенные (г)). Видно, что наибольшим запасом устойчивости из четырех вариантов экипажей, как правило, обладает электровоз, бандажи колес которого обточены по новому профилю ИТМ-73Л. Локомотив, оборудованный колесами с профилем Зинюка–Никитского, наименее устойчив против схода с рельсов.

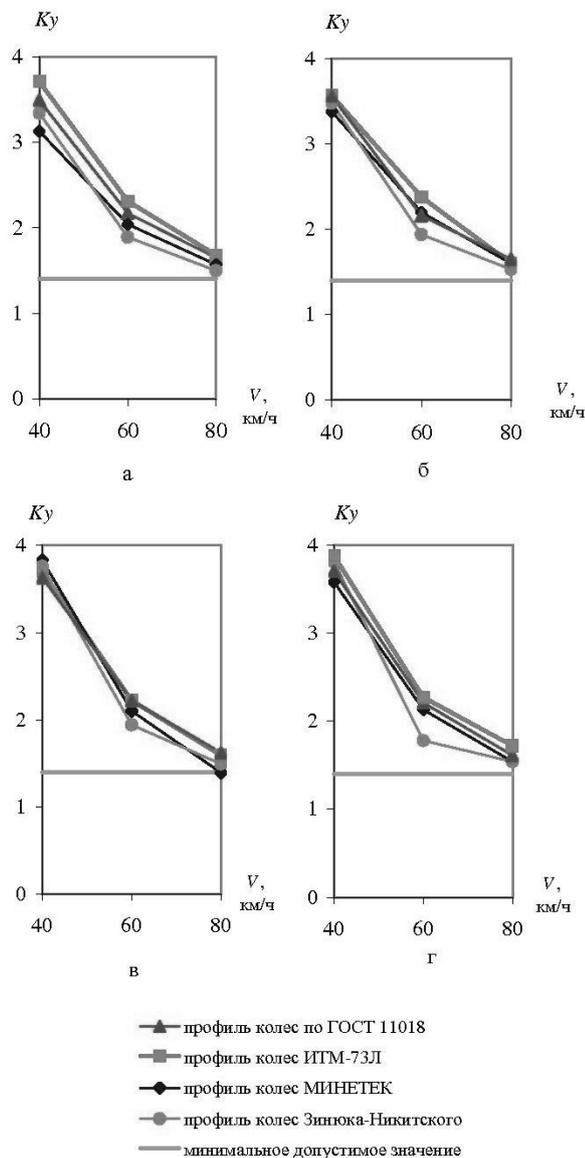


Рис. 10

По результатам теоретической оценки устойчивости движения, динамических качеств и износа колес грузового локомотива при использовании четырех сопоставляемых профилей бандажей (предложенным ИТМ НАНУ и ГКАУ новым износостойким профилем ИТМ-73Л и тремя применяемыми в настоящее время – стандартным по ГОСТ 11018, ЗАО «МИНТЕК», Зинюка–Никитского) можно сделать следующие выводы.

1 Наибольший износ гребней имеют колеса со стандартным профилем по ГОСТ 11018.

2 Наибольшим запасом устойчивости против схода колес с рельсов обладает электровоз с новым профилем колес ИТМ-73Л. Локомотив, оборудованный колесами с профилем Зинюка–Никитского, наименее устойчив против схода с рельсов.

3 Худшим по критериям устойчивости движения и динамических качеств грузового локомотива является вариант применения профиля МИНТЕК.

4 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.

1 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.

2 *Ushkalov V. F. Wheelset and Rail Wear on Ukrainian Railways / V. F. Ushkalov // Proceedings of the 2nd Mini Conference on Contact Mechanism and Wear of Rail/Wheel Systems. – Budapest, Hungary, 1996. – P. 250 – 258.*

3 *Подъельников И. В. Определение типовых форм изношенных профилей головок рельсов на криволинейных участках пути / И. В. Подъельников // Техническая механика. – 2009. – №3. – С. 39 – 43.*

Институт технической механики  
НАН Украины и ГКА Украины,  
Днепропетровск

Получено 26.02.13,  
в окончательном варианте 06.03.13