

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ОБОДА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОЛЕСА

Разработан усовершенствованный профиль обода колеса для комплексно модернизированных тележек, позволяющий существенно увеличить ресурс колес.

Розроблено вдосконалений профіль обода колеса для комплексно модернізованих візків, що дозволяє суттєво збільшити ресурс коліс.

The improved profile of the wheel tread for the complex modernized trucks allowing a considerable increase in the life time of wheels is developed.

Как известно, важным направлением улучшения взаимодействия экипажей и пути является совершенствование профилей контактных поверхностей, поскольку от согласованности их формы зависят такие показатели, как степень накопления контактной усталости, интенсивность износа и срок службы колес и рельсов, а также устойчивость движения экипажей.

Грузовые вагоны Украины и стран СНГ оборудованы колесами со стандартным профилем обода (ГОСТ 9036-88). В Украине также применяются профили ИТМ-73 (в тележках со скользунками постоянного контакта) и ДИИТ-УЗ. При неизношенном стандартном профиле обода обеспечивается высокая устойчивость движения вагона на прямолинейных участках пути. Критическая скорость вагона с неизношенными стандартными колесами составляет 120 км/ч. Однако при прохождении вагоном кривых наблюдается высокая интенсивность износа гребней колес с данным профилем, что влечет за собой существенное изменение формы поверхности обода [1]. При этом динамические качества вагона по мере износа колес стандартного профиля резко ухудшаются, критическая скорость вагона в порожнем состоянии снижается до 50 – 60 км/ч, что связано со значительными изменениями первоначальной формы стандартного профиля.

Применение профиля ДИИТ-УЗ позволяет несколько снизить износ гребней колес в кривых (около 30%), однако критическая скорость порожнего вагона при неизношенных колесах с этим профилем не превышает 80 км/ч [2]. По мере износа очертание колес с профилем ДИИТ-УЗ также существенно изменяется, что приводит к ухудшению динамических качеств вагона.

Начиная с 2000 г. в Украине проводится комплексная модернизация тележек грузовых вагонов, предложенная Институтом технической механики НАН Украины и НКА Украины (ИТМ НАНУ и НКАУ) [3]. Основными целями модернизации являются снижение износа контактной пары “колесо – рельс”, улучшение динамических характеристик грузовых вагонов и повышение их критических скоростей. Одним из важнейших элементов данной технологии модернизации является применение нелинейного износостойкого профиля обода колеса ИТМ-73. Применение данного профиля позволяет снизить износ гребней колес более чем в 2 раза, при этом за счет использования элементов комплексной модернизации сохраняется стабильность динамических качеств вагона при износе колес.

В настоящей работе рассмотрена возможность дальнейшего усовершенствования профиля обода железнодорожного колеса ИТМ-73 для грузовых вагонов с комплексно модернизированными тележками.

Разработка усовершенствованного профиля обода колеса. В данной работе приняты три критерия усовершенствования профиля колеса: обеспечение приемлемых динамических качеств вагона; уменьшение износа колеса; улучшение напряженно-деформированного состояния в колесе и рельсе.

Как известно, наиболее перспективными, с точки зрения улучшения процесса взаимодействия, считаются профили колес, обеспечивающие конформный контакт с рельсом.

В данном исследовании принято во внимание то, что износ гребня колеса снижается по мере уменьшения его толщины. Это подтверждается успешным применением в Украине профиля обода колеса ИТМ-73 с первоначальной толщиной гребня 32 мм (вместо 33 мм). Проведенные в эксплуатации измерения гребней колес со стандартным профилем (тележки 18-100) и ИТМ-73 (тележки 18-7020) также показывают существенное снижение интенсивности износа гребня с уменьшением его толщины. На рис. 1 показана зависимость от пробега вагонов износа гребней колес со стандартным первоначальным профилем (линия 1, тележки 18-100) и профилем ИТМ-73 (линия 2, тележки 18-7020).

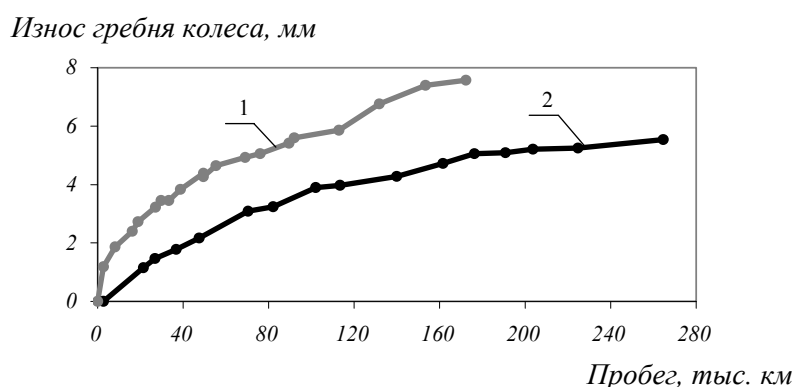


Рис. 1

С учетом вышесказанного, выберем для нового профиля первоначальную толщину гребня 29 мм. При данной толщине наблюдается снижение интенсивности износа гребня и в то же время имеется определенный запас металла для обеспечения прочности и долговечности гребней колес.

Следует отметить, что значительное снижение интенсивности износа гребней колес с увеличением пробега вагона обусловлено не только уменьшением толщины гребня, но и изменением в эксплуатации первоначального профиля обода до его изношенной формы (естественная форма износа).

При создании нового профиля колеса за основу возьмем форму, которая при взаимодействии с головкой рельса будет обеспечивать контакт, близкий к конформному. Однако не следует забывать о том, что использование нелинейной формы в качестве первоначального профиля обода колеса может привести к некоторому ухудшению динамических характеристик вагона (по сравнению с формой стандартного неизношенного колеса) при движении по прямолинейным участкам пути. Чтобы этого избежать, предполагается применение данного профиля только в комплексно модернизированных тележках. Это позволит добиться наименьшего износа колес в криволинейных участках пути при сохранении приемлемых динамических качеств вагона в прямых.

Оценка влияния профиля обода колеса на динамические характеристики вагона. Первоочередной задачей при внедрении нового профиля обода колеса является обеспечение безопасности движения поездов, т.е. показатели динамических качеств вагона не должны превышать установленные нормативные значения [4] для всего диапазона эксплуатационных скоростей движения поездов.

Известно, что колебания порожнего вагона более интенсивные, чем груженого, поэтому в данном исследовании ограничимся оценкой динамических показателей вагона при движении в порожнем состоянии.

Проведем сравнение динамических характеристик полувагона, оборудованного серийными тележками 18-100 со стандартным профилем колес (неизношенным и среднеизношенным) и полувагона с комплексно модернизированными тележками и профилем колес ИТМ-73 (толщина гребня 33 мм), а также с новым профилем ИТМ-73К (толщина гребня 29 мм). Динамические качества вагона будем оценивать по нормируемым максимальным значениям вертикальных и поперечных горизонтальных ускорений пятников кузова, отнесенным к ускорению свободного падения ($\ddot{Z}_п/g$, $\ddot{Y}_п/g$), а также по значениям рамных сил в долях осевой нагрузки (H_p/P_o). Результаты получены путем численного интегрирования дифференциальных уравнений колебаний полувагона при его движении со скоростями 60, 80, 100 и 120 км/ч по прямым участкам пути, соответствующим «хорошему» состоянию [5].

На рис. 2 показаны зависимости от скорости движения расчетных динамических показателей вагона, оборудованного серийными тележками со стандартным профилем колес, и вагонов с комплексно модернизированными тележками, имеющими колеса с профилями ободьев ИТМ-73 и ИТМ-73К.

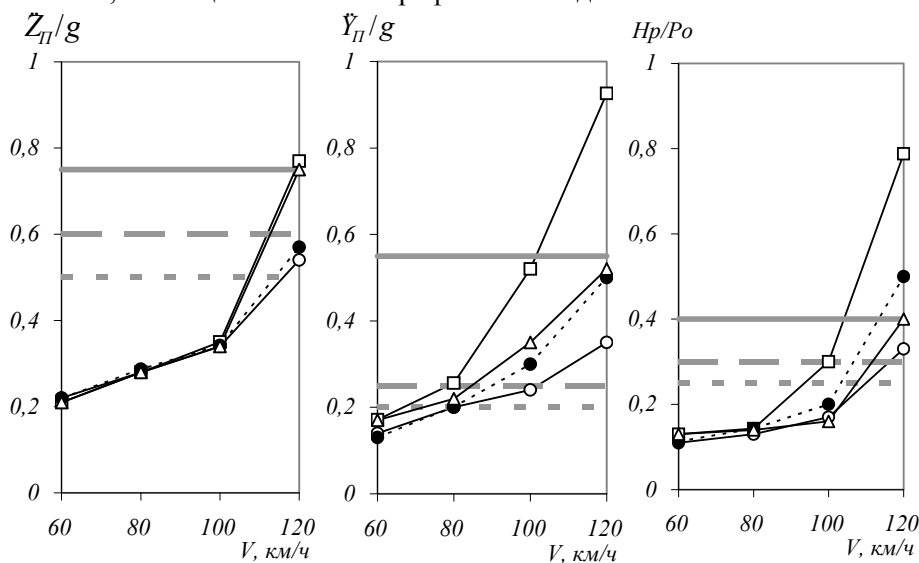


Рис. 2

На рис. 2 линии, соответствующие динамическим показателям вагона с различными профилями колес, обозначены следующими маркерами: «треугольник» – стандартный неизношенный профиль, «квадрат» – стандартный изношенный профиль, «кружок» – профиль ИТМ-73, «закрашенный кружок» – профиль колес ИТМ-73К (пунктирные линии). Горизонтальными утолщенными линиями на рисунке показаны установленные нормы предельные

уровни показателей для «отличного» (пунктирные линии), «хорошего» (штриховые линии) и «допустимого» (сплошные линии) хода грузового вагона.

Из анализа рис. 2 видно, что динамические характеристики вагона с серийными тележками и неизношенным стандартным профилем колес не превышают допускаемых значений при скоростях движения до 120 км/ч. Однако при среднеизношенном стандартном профиле (толщина гребня 29 мм) показатели горизонтальной динамики вагона (горизонтальные поперечные ускорения пятников кузова и рамные силы) резко ухудшаются при скоростях более 80 км/ч и превышают допускаемые значения при скоростях более 100 км/ч. Вагон, оборудованный комплексно модернизированными тележками с неизношенными профилями ободьев колес ИТМ-73 и ИТМ-73К, имеет более стабильные показатели динамики в горизонтальной плоскости, чем вагон с серийными тележками и среднеизношенными колесами. Использование профиля ИТМ-73К вместо ИТМ-73 приводит к некоторому возрастанию показателей горизонтальной динамики вагона при скоростях движения более 80 км/ч, однако они не превышают допускаемых значений. Вертикальные ускорения пятников кузова вагона при использовании колес с профилями ИТМ-73 и ИТМ-73К практически не отличаются, и при скоростях более 100 км/ч они ниже, чем у вагона с серийными тележками.

Таким образом, применение в комплексно модернизированных тележках колес с разработанным профилем обода ИТМ-73К не приводит к значительному ухудшению динамических качеств вагона (по сравнению с профилем ИТМ-73) и позволяет эксплуатировать вагоны при скоростях до 110 км/ч.

Оценка износа колес при движении вагона по криволинейным участкам пути. Проведены расчеты работы сил крипа при вписывании в круговую кривую радиуса 300 м в груженом состоянии серийного полувагона, оборудованного неизношенными стандартными колесами, и полувагона с комплексно модернизированными тележками. Рассмотрен вариант применения в комплексно модернизированных тележках типового для них профиля колес ИТМ-73 (толщина гребня 33 мм), а также разработанного профиля ИТМ-73К (толщина гребня 29 мм). Расчеты проведены для случаев движения вагона со скоростями 40, 60 и 80 км/ч по криволинейному участку пути с наружным рельсом Р65, имеющим неизношенный, малоизношенный (боковой износ 4 мм), среднеизношенный (боковой износ 8 мм) и сильноизношенный (боковой износ 14 мм) профили головки. Анализировались значения суммарного показателя износа A в зоне галтели и гребня колеса.

На рис. 3 – 5 показаны зависимости износа гребня и галтели колеса, набегающего на наружный рельс кривой, от износа головки рельса при движении с различной скоростью вагона, оборудованного колесами со стандартным профилем (рис. 3), ИТМ-73 (рис. 4) и ИТМ-73К (рис. 5).

На рисунках: «белые столбики» соответствуют износу колес при движении вагона по кривой со скоростью 40 км/ч, «серые столбики» – 60 км/ч, «черные столбики» – 80 км/ч.

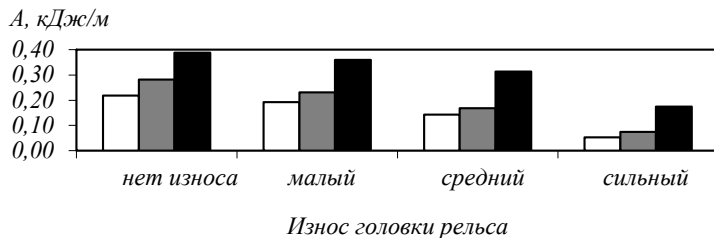


Рис. 3

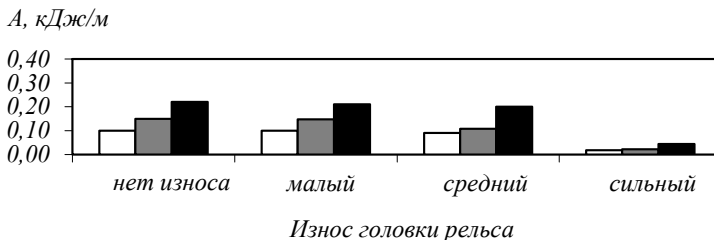


Рис. 4

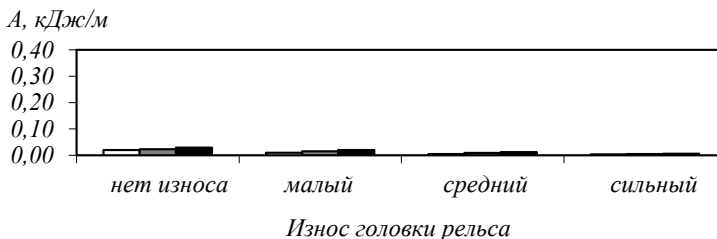


Рис. 5

Из приведенных рисунков видно, что при скоростях движения вагона в кривой от 40 до 80 км/ч и различном износе головки рельса показатель суммарного износа в зоне галтель–гребень колеса с профилем ИТМ-73К на порядок меньше, чем износ колеса со стандартным профилем и профилем ИТМ-73. При этом с увеличением зазора в колее вследствие бокового износа головки рельса интенсивность износа гребней колес несколько снижается, наименьший износ колес наблюдается при сильноизношенной головке рельса (боковой износ 14 мм).

Следует отметить, что для стандартного неизношенного колеса характерным является наличие постоянного контакта на гребне и отсутствие его на галтели. При нелинейном профиле ИТМ-73 гребневой контакт практически отсутствует, в то время как галтель подвержена существенному износу. Колеса с профилем ИТМ-73К не имеют интенсивного износа в зоне гребня и галтели. Поэтому применение профиля ИТМ-73К в качестве первоначального профиля обода колеса при комплексной модернизации тележек является более предпочтительным с точки зрения уменьшения износа колес в зоне гребня и галтели.

Оценка напряженно-деформированного состояния контактной пары “колесо – рельс”. Для оценки НДС контактной пары “колесо–рельс” рассмотрено взаимодействие колес, имеющих профиль ИТМ-73 и ИТМ-73К, с головкой рельса Р65 при ее неизношенном, малоизношенном и среднеизношенном профиле, так как в этих случаях у колес наблюдается наибольший износ гребня и галтели.

Определение контактных напряжений методом конечных элементов требует достаточно больших вычислительных ресурсов, поэтому для оценки на-

пряженно-деформированного состояния в данной работе использовались усеченные расчетные схемы контактной пары “колесо–рельс”. Расчетная схема контактной пары “колесо–рельс”, включающая в себя часть обода колеса и головку рельса, подробно описана в работе [6]. В качестве расчетных нагрузок приняты вертикальная сила P , передаваемая от колеса на рельс, и горизонтальное перемещение x колеса относительно рельса под действием боковой силы с учетом уширения колеи в кривой до 1530 мм (табл. 1). Расчетные нагрузки получены путем численного интегрирования дифференциальных уравнений движения груженого полувагона по кривой радиусом 300 м со скоростью 60 км/ч.

Таблица 1

Контактная пара		Р, кН	х, мм
профиль колеса	рельс		
ИТМ-73	неизношенный	128,2	12,6
ИТМ-73	малоизношенный	133,0	16,2
ИТМ-73	среднеизношенный	137,5	21,0
ИТМ-73К	неизношенный	128,5	16,8
ИТМ-73К	малоизношенный	134,2	19,8
ИТМ-73К	среднеизношенный	133,7	24,3

На рис. 6 – 8 показаны результаты расчета эквивалентных напряжений (по Мизесу) при взаимодействии колеса с профилем обода ИТМ-73 неизношенного, малоизношенного, среднеизношенного рельса соответственно. На рис. 9 – 11 приведены аналогичные варианты контактной пары при профиле обода колеса ИТМ-73К.

Из приведенных рисунков видно, что при взаимодействии колеса с разработанным профилем ИТМ-73К и изношенного рельса Р65 распределение контактных напряжений в паре “колесо–рельс” более равномерное (при контакте с малоизношенным рельсом контакт близок к конформному), чем при использовании профиля ИТМ-73. При неизношенном рельсе характер распределения контактных напряжений в колесах с профилями ИТМ-73К и ИТМ-73 примерно одинаков.

В табл. 2 показаны отношения (показатель ξ) максимальных значений контактных напряжений в колесе с профилем ИТМ-73К к максимальным значениям в соответствующих участках колеса с профилем ИТМ-73 при их взаимодействии с неизношенным, малоизношенным и среднеизношенным рельсом Р65.

Таблица 2

Профиль головки рельса	Показатель ξ для участков профиля обода колеса		
	средняя часть	галтель	гребень
неизношенный Р65	1,31	1,08	-
малоизношенный Р65	1,05	0,81	-
среднеизношенный Р65	1,16	1,29	0,79

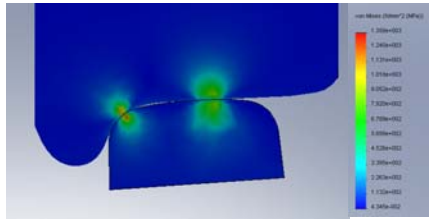


Рис. 6

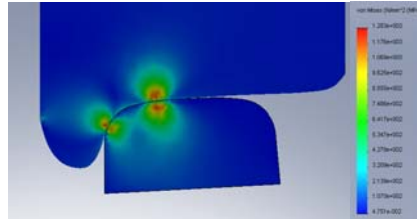


Рис. 9

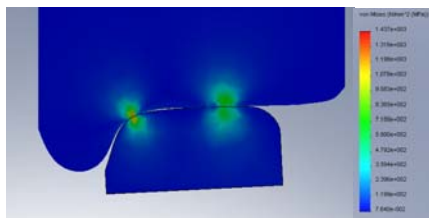


Рис. 7

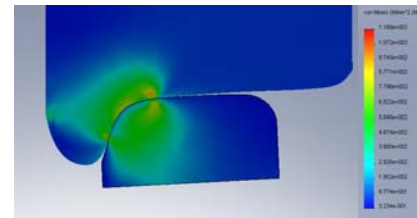


Рис. 10

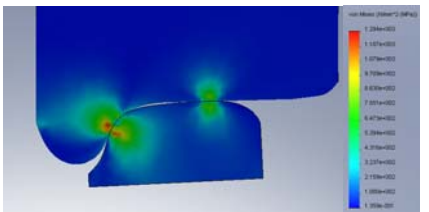


Рис. 8

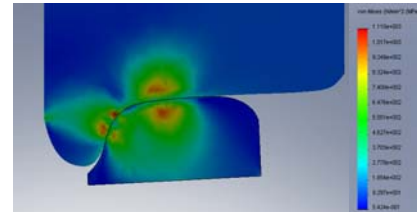


Рис. 11

Как видно из табл.2, при взаимодействии колеса с профилем ИТМ-73К и неизношенного рельса Р65 не происходит значительного ухудшения НДС в зоне галтели (по сравнению с профилем ИТМ-73), однако контактные напряжения в средней части профиля колеса несколько выше. При взаимодействии с малоизношенным рельсом имеет место равномерный контакт по профилю колеса, в том числе в зоне гребня, вместе с тем наблюдается некоторое снижение контактных напряжений в зоне галтели. Взаимодействие колеса, имеющего профиль ИТМ-73К, со среднеизношенным рельсом Р65 характеризуется некоторым возрастанием контактных напряжений в средней части и на

галтели, но снижением в зоне гребня. Несмотря на то, что контактные напряжения на некоторых участках колеса с профилем ИТМ-73К несколько возрастают, характер их распределения становится более равномерным, чем в случае профиля ИТМ-73. Это способствует более длительному сохранению первоначальной формы профиля в эксплуатации и в результате увеличению срока службы колеса. Таким образом, применение разработанного профиля поверхности катания колеса ИТМ-73К оправдано, с точки зрения улучшения НДС, прежде всего при взаимодействии с изношенным рельсом Р65.

Выводы. Приведенные в данной работе результаты показывают, что применение профиля ИТМ-73К в качестве первоначального профиля обода колеса при комплексной модернизации тележек грузовых вагонов является целесообразным как с точки зрения уменьшения износа колес в зоне гребня и галтели, так и с точки зрения более равномерного распределения контактных напряжений в паре “колесо–рельс”. При этом обеспечивается устойчивое движение вагона при скоростях до 110 км/ч.

1. Ушкалов В. Ф. Типовые формы изношенных профилей колес / В. Ф. Ушкалов, И. В. Подъяельников // Техническая механика. – 2009. – № 1. – С. 50 – 55.
2. Результаты сравнительных динамических ходовых испытаний полувагонов с различными типами профиля колес / М. Л. Коротенко, С. А. Кострица, Р. Б. Грановский, А. В. Султан, Е. Ф. Федоров, А. Е. Кривчинков // Тезисы докладов международной научно-практической конференции “Проблемы та перспективи розвитку залізничного транспорту”. – Днепропетровск. – 2005. – С. 41 – 42.
3. Ушкалов В. Ф. Комплексная модернизация ходовых частей грузовых вагонов / В. Ф. Ушкалов, Т. Ф. Мокрый, И. Ю. Малышева, И. А. Мащенко, С. С. Пасичник // Вагонный парк. – 2007. – №2. – С. 18 – 22.
4. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) / Гос. НИИВ – ВНИИЖТ. – Москва : Гос. НИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
5. Технічні вказівки щодо стану рейкової колії за показниками колієвимірвальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання колії. – Киев, 2005.
6. Ушкалов В. Ф. Разработка рационального профиля головки рельса с несимметричной поверхностью катания / В. Ф. Ушкалов, И. А. Серебряный, И. В. Подъяельников // Техническая механика. – 2008. – № 1. – С. 31 – 37.

Институт технической механики
НАН Украины и НКА Украины,
Днепропетровск

Получено 06.02.11,
в окончательном варианте 08.02.11