УДК 629.2

Н. В. БЕЗРУКАВЫЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОФИЛЕЙ ГОЛОВОК РЕЛЬСОВ НА ДИНАМИКУ ГРУЗОВОГО ВАГОНА ПРИ ЕГО ДВИЖЕНИИ ПО КРИВОЛИНЕЙНЫМ УЧАСТКАМ ПУТИ

В данной статье рассматривается целесообразность использования асимметричных профилей головок рельсов на криволинейных участках пути. Целью данной работы был анализ влияния изменения профилей головок внутреннего и внешнего рельса на процессы качения колесных пар и динамические показатели вагона при его движении по криволинейным участкам пути. Для этого использовалась математическая модель движения грузового вагона, которая учитывала геометрические параметры контактирующих поверхностей и предусматривала возможность задания различных профилей колес и рельсов. В качестве механизма влияния профиля головки рельса на вписывание тележки в криволинейный участок пути рассмотрена возможность изменения радиуса качения колеса за счет смещения точки контакта колеса и рельса. Для этого в расчетах применялись новые асимметричные профили рельсов, которые обеспечивают контакт колес с внешним рельсом по максимально возможному радиусу качения, а с внутренним – по минимальному, что обеспечит лучшее вписывание тележки в кривую. По результатам моделирования построены зависимости динамических показателей грузового вагона от скорости его движения по криволинейным участкам пути с двумя вариантами профилей головок рельсов. Расчеты показали, что при движении вагона по криволинейному участку пути с асимметричными профилями головок рельсов наблюдается улучшение его динамических показателей. Применение асимметричных профилей позволит достичь увеличения разностей радиусов качения колес при вписывании в кривую, что позитивно влияет как на процессы взаимодействия колеса и рельса, так и на динамические качества вагона.

У даній статті розглядається доцільність використання асиметричних профілів головок рейок на криволінійних ділянках колії. Метою даної роботи був аналіз впливу зміни профілів головок внутрішньої та зовнішньої рейки на процеси кочення колісних пар і динамічні показники вагона при його русі по криволінійних ділянках колії. Для цього використовувалася математична модель руху вантажного вагона, яка враховувала геометричні параметри контактуючих поверхонь і передбачала можливість завдання різних профілів коліс і рейок. В якості механізму впливу профілю головки рейки на вписування візка в криволінійну ділянку колії розглянуто можливість зміни радіуса кочення колеса за рахунок зміщення точки контакту колеса і рейки. Для цього в розрахунках застосовувалися нові асиметричні профілі рейок, які забезпечують контакт коліс з зовнішньою рейкою по максимально можливому радіусу кочення, а з внутрішньою – по мінімальному, що забезпечить краще вписування візка в криву. За результатами моделювання побудовано залежності динамічних показників вантажного вагона від швидкості його руху по криволінійних ділянках колії з двома варіантами профілів головок рейок. Розрахунки показали, що при русі вагона по криволінійній ділянці колії з асиметричними профілями головок рейок спостерігається поліпшення його динамічних показників. Застосування асиметричних профілів дозволить досягти збільшення різниці радіусів кочення коліс при вписуванні в криву, що позитивно впливає як на процеси взаємодії колеса і рейки, так і на динамічні якості вагона.

The present paper deals with advantages of asymmetric railhead profiles on the curved track. The research under consideration has been aimed at analyzing the influence of introducing changes to railhead profiles of the inner and outer rail on wheel sets rolling and dynamic parameters of the freight car running on the curved track. For this purpose we used a mathematic model of the freight car motion, which took into consideration geometrical parameters of contacting surfaces, with provision for setting various profiles of wheels and rails. The possibility of changing the wheel rolling radius due to shifting the point of the wheel-rail contact is viewed as a mechanism of the influence of the railhead profile on entering the curved track. New asymmetric railhead profiles have been used ensuring the contact of wheels with the outer rail along the maximum rolling radius and with the inner rail along the minimum admissible rolling radius, which allows a better entering the curve. According to the simulation results the functional dependencies of dynamic parameters of the freight car on the speed of its movement along the curved track with two versions of railhead profiles have been derived. The calculations demonstrated that during the freight car movement along the curved track with asymmetric railhead profiles the improvement of the dynamic parameters is registered. The use of asymmetric profiles would allow an increase in differences of the wheel rolling radii while entering the curve, thus positively influencing both wheel/rail interactions and dynamic performance of a freight car.

Ключевые слова: *динамика грузового вагона, асимметричные профили головок рельсов.*

На сети железных дорог Украины преобладают криволинейные участки

пути радиусом до 1 тыс. метров, но на отдельных сложных участках, а также на подъездных путях применяются криволинейные вставки пути радиусом от 200 м [1]. При движении подвижного состава по криволинейным участкам пути малого и среднего радиуса возникают значительные дополнительные силы сопротивления движению, вызванные действием центробежных сил и особенностями контакта колесных пар с рельсами при их вписывании в кривые. Это приводит к возрастанию сил взаимодействия контактной пары «колесо – рельс» и, как следствие, к увеличению их износов и энергетических затрат на тягу поездов. Для компенсации центробежных сил применяется возвышение наружного рельса, для облегчения вписывания в кривые используются колеса с конической формой рабочей поверхности катания, что позволяет проходить колесам по наружному и внутреннему рельсу различные расстояния за счет разностей диаметров колес в точках их контактов с рельсами. Чем выше конусность поверхности колес, тем легче происходит вписывание колесной пары в кривые малого радиуса. Однако при этом ухудшаются динамические показатели подвижного состава при движении по прямолинейным участкам пути вследствие возникновения интенсивных колебаний виляния. Таким образом, конусность ободьев колес ограничивается необходимостью обеспечения устойчивости движения экипажа на прямолинейных участках пути и, как следствие, в кривых малого радиуса она не достаточна для свободного вписывания колесных пар без проскальзывания. С ростом относительных скоростей проскальзывания увеличиваются силы крипа, также значительно увеличиваются углы набегания колес на рельсы, что в совокупности приводит к повышению интенсивности износов гребней колес и боковых поверхностей рельсов.

Целью данного исследования является анализ влияния изменения профилей головок внутреннего и внешнего рельса на процессы качения колесных пар и динамические показатели вагона при его движении по криволинейным участкам пути. Как уже было отмечено, вписывание колесной пары в кривую осуществляется за счет конической формы ободьев колес. При движении по криволинейному участку пути под действием внешних сил происходит поперечное смещение колесной пары относительно продольной оси пути, вследствие чего смещаются точки контактов колес с рельсами: с наружным в сторону увеличения радиуса качения, а с внутренним – уменьшения. При этом радиус дуги, описываемой центром колесной пары в плане, может быть определен по простой формуле:

$$R = \frac{r \cdot S}{\Delta r}, \qquad (1)$$

где r – средний радиус колеса, м; S – расстояние между точками контакта, м; Δr – разница радиусов качения, м.

Радиус колеса по кругу катания уменьшается как вследствие износа, так и при обточках колесных пар, расстояние между точками контактов – величина фактически постоянная, так как колеса жестко закреплены на оси, поэтому радиус дуги, описываемой центром колесной пары, зависит в основном от разницы радиусов качения колес. Разница радиусов качения колес определяется коничностью обода и смещением колеса относительно рельса. При качении колесных пар в кривых со стандартными профилями рельсов точки контактов расположены вблизи центральной части ободьев колес (рис. 1 а),

следовательно, разница радиусов качения будет минимальной даже при максимально возможном поперечном смещении колеса относительно рельса. Поскольку точки контактов колеса и рельса определяются согласованием форм их профилей, то путем изменения формы профиля головки рельса можно изменить радиусы качения колес (рис. 1 б).

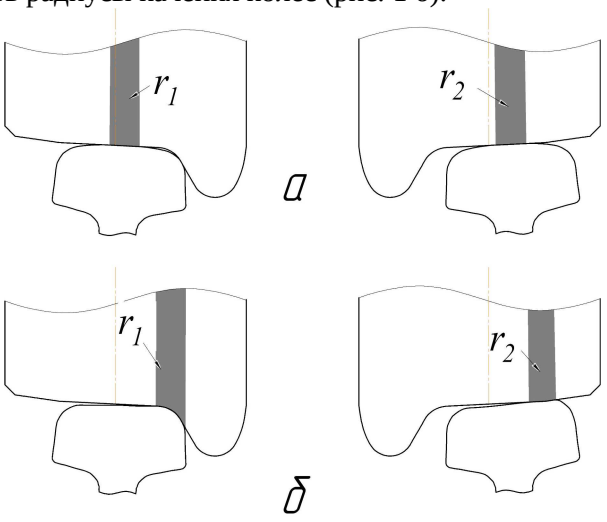
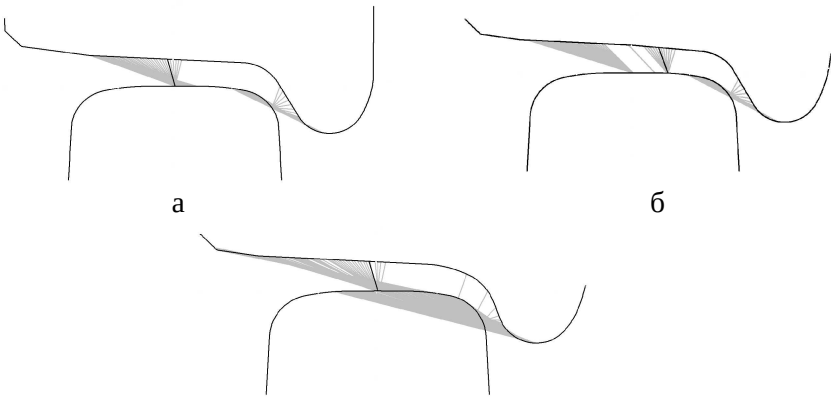


Рис. 1

При этом наружный рельс контактирует с колесом по большему радиусу, а внутренний – по меньшему, за счет чего колесная пара более плавно входит в кривую.

Рассмотрим более подробно контакт колес и рельсов со стандартным профилем Р65. На сети железных дорог Украины для вагонных колес наиболее широко используются поверхности качения по ГОСТ 9036-88, ДИИТ-УЗ и ИТМ-73 [2]. На рис. 2 показаны возможные контакты колес с различными профилями ободьев с головкой рельса Р65 (а – по ГОСТ 9036-88, б – ДИИТ-УЗ, в – ИТМ-73). Тонкие линии соединяют точки на поверхности колеса и рельса, по которым может происходить соприкосновение контактирующих поверхностей при различных смещениях колеса относительно рельса.



а б

в

Рис. 2

Из анализа рис. 2 можно сделать вывод, что при контакте ободьев колес, обточенных по профилям ГОСТ 9036-88 и ДИИТ-УЗ, с рельсом Р65 исключается контакт по выкружке колеса, при котором достигается максимальный радиус качения. В этом случае за счет изменения формы головки рельса можно добиться смещения зоны контакта колеса и рельса в сторону выкружки, что будет способствовать увеличению разности радиусов качения и лучшему вписыванию колесных пар в кривые малого и среднего радиуса. При этом нет необходимости в увеличении коничности ободьев колес, которое может привести к снижению устойчивости движения по прямым участкам пути. При использовании колес, обточенных по износостойкому профилю ИТМ-73, контакт с рельсом Р65 возможен по выкружке колеса, что способствует вписыванию колесных пар в кривые, а, следовательно, снижению износов колес и рельсов. Следует отметить, что контакт по выкружке достигается только при максимальных поперечных смещениях колеса относительно рельса, а в остальных случаях – по центральной части обода колеса. Поэтому изменение формы профиля головки рельса с целью смещения зоны контакта в сторону выкружки колеса может оказать позитивное влияние и на процесс вписывания колесной пары с ободьями, обточенными по профилю ИТМ-73.

Для оценки влияния смещения зон контактов колес и рельсов на динамику движения колесной пары выполнено моделирование процесса качения одиночной колесной пары с ободьями, обточенными по профилю ГОСТ 9036-88, в кривой со стандартным профилем рельсов Р65 и двумя вариантами асимметричных профилей. На рис. 3 представлен показатель так называемой эффективной коничности, известный под сокращением RRD (rolling radius difference) – зависимость разности радиусов качения колес от поперечного смещения колесной пары.

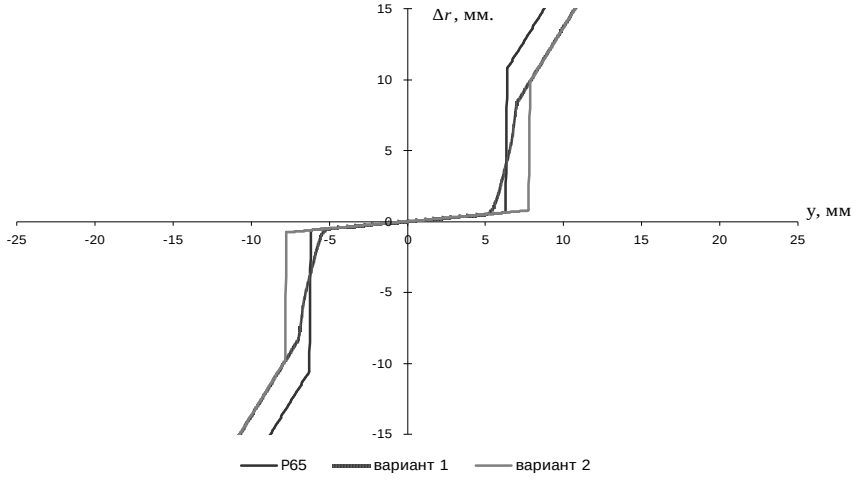


Рис. 3

Из анализа рис. 3 следует, что при поперечном смещении колес относительно рельсов со стандартным профилем на величину более 6 мм на набегающем на рельс колесе имеет место двухточечный контакт (вертикальная прямая на графике), дальнейшее смещение колес приводит к всползанию на рельс и сходу колесной пары. При смещении набегающего колеса более 5 мм относительно рельса с первым вариантом асимметричных профилей происходит интенсивный рост разности радиусов качения колес, вызванный кон-

тактом по его выкружке.

При взаимодействии колеса с рельсом по второму варианту асимметричных профилей, так же как и в случае рельса Р65, присутствует двухточечный контакт, однако вторая точка контакта появляется при большем смещении, а, следовательно, и большей разности радиусов колес колесной пары.

В качестве критерия для оценки влияния профиля головки рельса на процесс вписывания одиночной колесной пары в кривую выбран угол набегания колеса на рельс α, который характеризирует пространственное положение колесной пары относительно рельсовой колеи. На рис. 4 приведены углы набегания колес при движении одиночной колесной пары с равновесной скоростью по криволинейному идеально гладкому участку пути радиусом 300 м для трёх вариантов профилей головок рельсов.

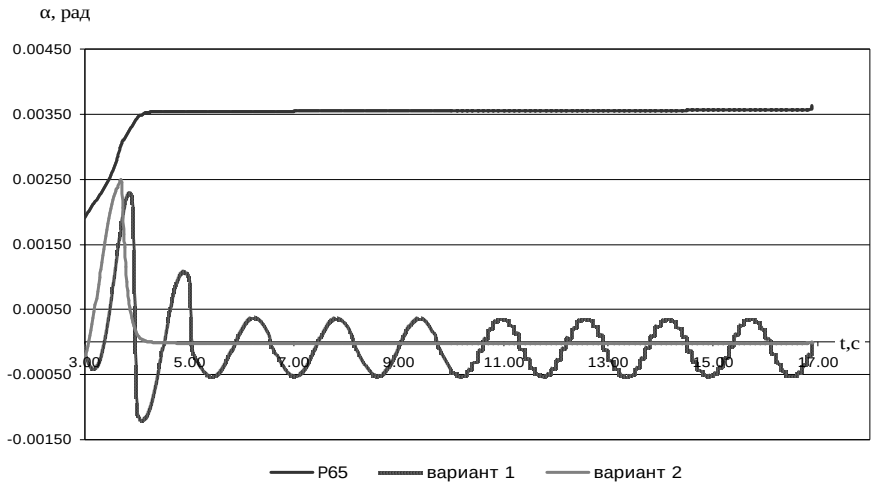


Рис. 4

При качении по стандартным рельсам Р65 угол набегания достигает максимального значения, что, как и предполагалось, вызвано недостаточной разностью радиусов качения внутреннего и наружного колеса. В процессе качения колесной пары по рельсам с асимметричным профилем по первому варианту наблюдаются колебания колесной пары относительно положения радиальной установки (поперечная ось колесной пары проходит через центр кривой, α=0). При этом следует отметить, что амплитуда этих колебаний значительно меньше значений угла набегания колеса при использовании стандартного профиля рельс Р65. При качении колесной пары по рельсам с асимметричным профилем по второму варианту углы набегания близки к нулю и колесная пара занимает положение радиальной установки. Однако следует отметить, что при втором варианте асимметричных профилей присутствует вторая точка контакта в гребневой зоне, что приводит к интенсификации износа контактной пары «колесо – рельс». Таким образом, изменение формы профиля по двум вариантам позитивно повлияло на процесс взаимодействия колес и рельсов при вписывании колесной пары в криволинейные участки пути.

Для оценки эффективности использования асимметричных профилей головок рельсов на железных дорогах выполнено моделирование движения

по криволинейным участкам пути грузовых вагонов с типовыми тележками и профилями ободьев колес по ГОСТ 9036-88 и ДИИТ-УЗ, а также вагона с комплексно модернизированными тележками и износостойким профилем колес ИТМ-73. Исследовалось движение вагонов в груженом состоянии со скоростями от 40 до 80 км/ч в кривых радиуса 300 м. Путь рассматривался с рельсами со стандартным профилем головок (Р65) и с асимметричным профилем (второй вариант).

Полученные результаты представлены в виде зависимостей показателей динамики от скоростей движения. На рис. 5 представлены результаты для вагона с комплексно модернизированными тележками и профилем колес ИТМ-73, а на рис. 6, 7 – с профилями ДИИТ-УЗ и по ГОСТ 9036-88 соответственно (а – горизонтальные ускорения пятника кузова в долях ускорения свободного падения, б – рамные силы в долях статической осевой нагрузки, в – коэффициент запаса устойчивости против схода колес с рельсов; сплошная линия с круглыми маркерами – значения для асимметричных профилей головок, пунктирная с квадратными маркерами – для профиля Р65).

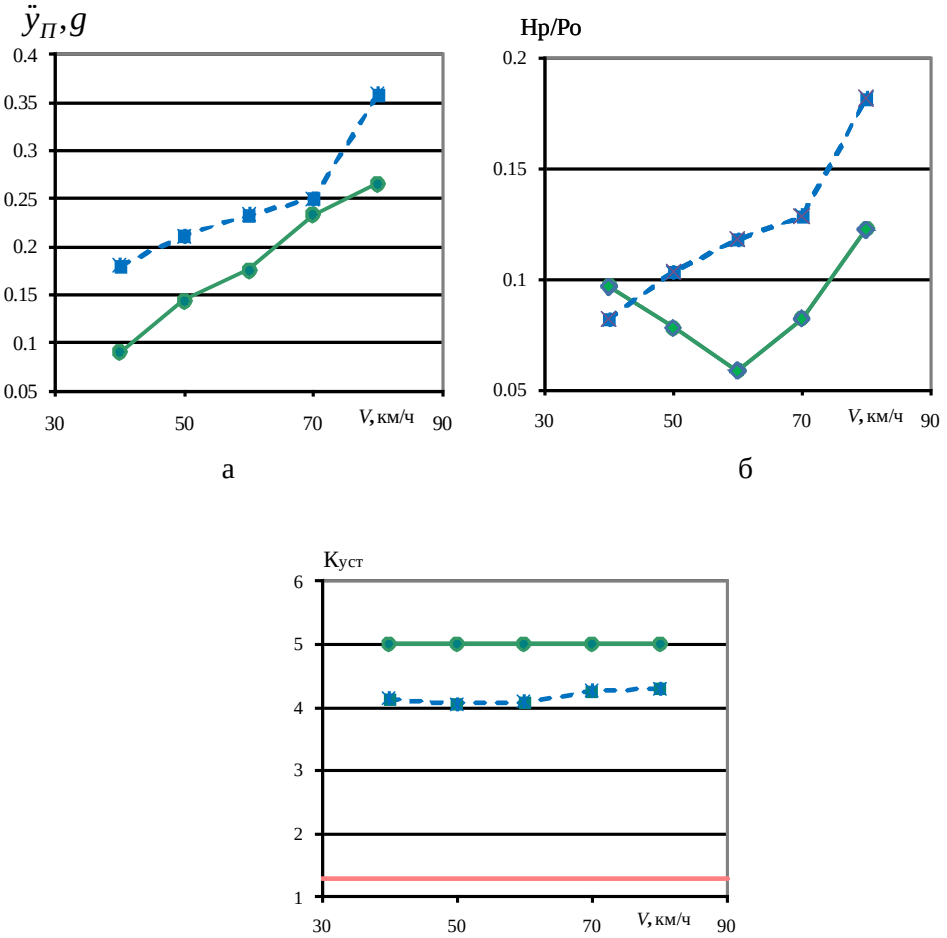
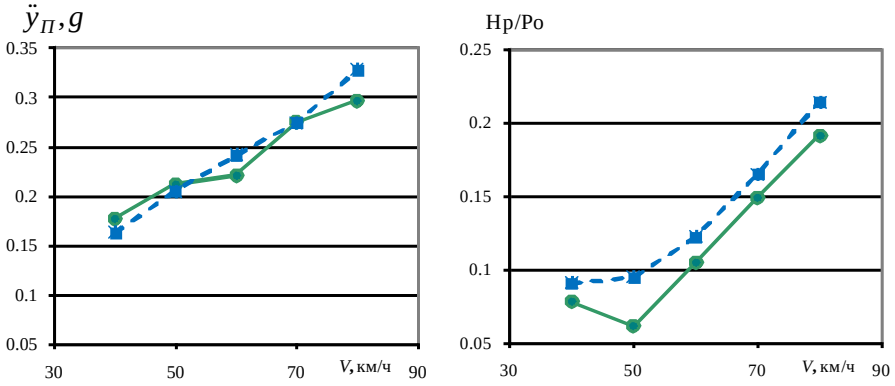
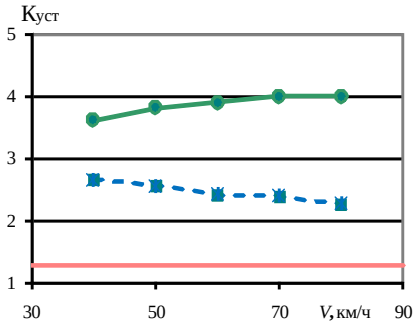


Рис. 5

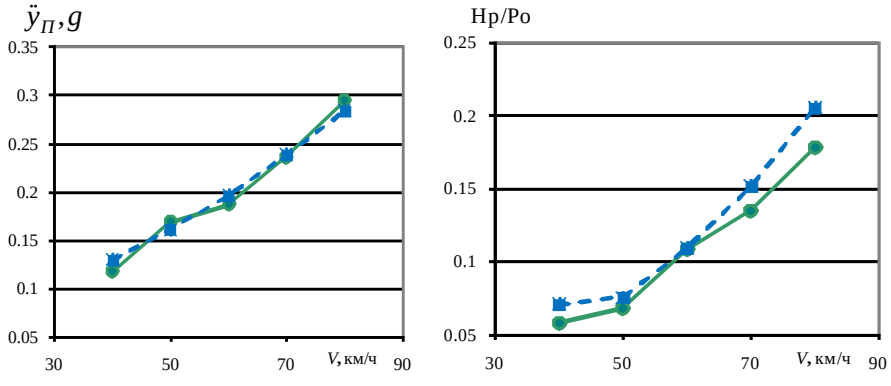


а б

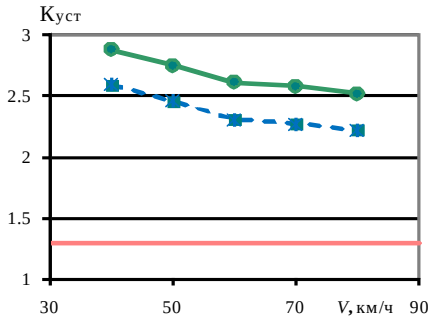


в

Рис. 6



а б



в

Рис. 7

Как следует из анализа рисунков, применение асимметричного профиля головок рельсов позволяет уменьшить значения рамных сил, которые передаются от колесных пар на раму тележки, при движении вагона по криволинейным участкам пути. Наибольшее снижение рамных сил зафиксировано при движении вагона с комплексно модернизированными тележками и профилем колес ИТМ-73, а наименьшее – для вагона со стандартными тележками и профилем колес по ГОСТ 9036-88.

При движении вагонов по пути с асимметричным профилем рельсов наблюдается повышение коэффициента запаса устойчивости против схода колес с рельсов, который является основным показателем безопасности движения [3]. Это обусловлено снижением сил взаимодействия, а также согласованием форм профилей ободьев колес и рассматриваемых рельсов.

Отметим также, что при использовании асимметричных профилей рельсов наблюдается снижение значений горизонтальных ускорений пятника кузова у вагонов с комплексно модернизированными тележками и профилем колес ИТМ-73. Это объясняется наличием боковых скользунов постоянного контакта, которые повышают устойчивость движения. При движении стандартной тележки (без скользунов постоянного контакта) возникают поперечные колебания колесных пар, которые снижают эффективность использования асимметричных профилей рельсов. Таким образом, наибольший эффект от применения асимметричных профилей головок рельсов может быть достигнут при наличии в конструкции экипажной части вагона элементов, повышающих устойчивость движения.

Выполненная оценка влияния профилей головок рельсов на динамику грузового вагона при его движении по криволинейным участкам пути показала, что за счет изменения формы головки рельса можно достичь увеличения разностей радиусов качения колес при вписывании в кривую, которое позитивно влияет как на процессы взаимодействия колеса и рельса, так и на динамические качества вагона.

1 Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України. ЦП–0269: від 22.12.2010, № 427–Ц – К., 2011. – 450 с.

2 Інструкція з огляду, обстеження, ремонту та формування вагонних колісних пар: ЦВ-ЦЛ-0062. – Затв. «Укрзалізниця» 01.04.05 р. – вид. офіц. – К. : ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2006. – 102 с.

3 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]: М. : ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319с

Институт технической механики
Национальной академии наук Украины и
Государственного космического агентства Украины,
Днепропетровск

Получено 14.05.2015,
в окончательном варианте 30.09.2015