

УДК 621.316.72

*Юрай Герлицы, профессор  
(заведуючий кафедри транспорта и подъёмно-транспортной техники Жилинского университета, Словакия)*

*Владимир Хаусер, к.т.н.  
(научный работник кафедры транспорта и подъёмно-транспортной техники Жилинского университета, Словакия)*

*Екатерина Кравченко, к.т.н., доцент  
(научный работник кафедры транспорта и подъёмно-транспортной техники Жилинского университета, Словакия)*

*Елена Ноженко, к.т.н., доцент  
(докторантка кафедры железнодорожного, автомобильного транспорта и подъёмно-транспортных машин Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля)*

*Томаш Лак, доцент  
(доцент кафедры транспорта и подъёмно-транспортной техники Жилинского университета, Словакия)*

*Юлия Фомина, бакалавр  
(студентка кафедры транспорта и подъёмно-транспортной техники Жилинского университета, Словакия)*

### **ПРОФИЛЬ КОЛЕСА С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ КАТАНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С КРИВЫМ УЧАСТКОМ ПУТИ МАЛОГО РАДИУСА**

*Особенностью рельсового городского транспорта является наличие кривых малого радиуса от 17 метров, что требует повышенного внимания. Движение в таких кривых приводит к увеличению воздействия на путь, повышению сопротивления движения транспортного средства, скольжению в контакте «колесо – рельс», ускоренному износу контактной пары, повышению шума. С целью уменьшения скольжения в контакте «колесо – рельс» при прохождении трамваем кривого участка пути малого радиуса предложена конструкция профиля колеса с двумя поверхностями катания, а также специфическая конструкция кривого участка пути. Предлагается способ движения колёсной пары в кривой, в которой обычная колёсная пара не сможет обеспечить движение качением. Целесообразность предлагаемого изобретения продемонстрирована посредством имитационного моделирования движения трамвайного вагона в S-образной кривой.*

© Герлицы Ю., Хаусер В., Кравченко К., Ноженко Е., Лак Т., Фомина Ю., 2018

*Авторами розроблена програма, що містить алгоритм, в якій на основі чертежа профіля колеса і рейки створюються файли з початковими даними профілів, придатні для прямого імпорту в програму Simpack. В результаті моделювання порівнюються параметри руху трамвайного вагона в рейковій колії звичайної і спеціальної конструкції. З допомогою імітаційного моделювання побудована залежність опору руху транспортного засоби від радіуса кривої для різних поверхонь качення колеса.*

*Ключові слова:* швидкість ковзання в контакті «колесо – рейка», кривої ділянки шляху малих радіусів, профіль колеса з двома поверхнями катання.

**Постановка проблеми.** Важливим питанням на залізничному транспорті, що потребує додаткових досліджень, є процес проходження кривих ділянок шляху. Найбільш гостро ця проблема виникає при експлуатації міського рейкового транспорту, особливістю якого є наявність значущої кількості кривих радіусом від 17 метрів. Це призводить до підвищення впливу в контакті «колесо – рейка», збільшенню швидкості ковзання профілів, відповідально до підвищеному опору руху, зносу і шуму.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В контакті колеса з рейкою виникає силове вплив транспортного засоби на рейкове полотно, що в разі проходження транспортного засоби кривих малих радіусів значущо збільшується. Підвищення сил в контакті призводить до виникнення ковзання в продольному і поперечному сеченнях. При цьому частка потужності транспортного засоби використовується на подолання вказаного ковзання [1 – 6]. В даному разі кінцевим продуктом втрати потужності є знос контакту «колесо – рейка». Величина зносу залежить від кількості проходжень транспортного засоби по певній ділянці шляху і має накопичувальний характер. Відповідно, необхідно звести до мінімуму втрати потужності транспортного засоби і, таким чином, продовжити термін служби контактної пари «колесо – рейка».

В даний час з метою зменшення зносу колеса і рейки, а також зниження шуму використовують гребне- і рейкосмазувачі, збільшують поперечний зазор колії, застосовують конструкції тележок з радіальною установкою колесних пар, незалежно обертаючих колес, оптимізують профілі колес, оснащують тележку мехатронними елементами, в елементах конструкції тележки і рейкового шляху встановлюють резинові демпфери, що поглинають шум [7-14]. І хоча ці рішення дозволяють досягти певного зниження негативних явищ, що виникають при проходженні кривих, їх недостатньо для забезпечення задовільних результатів при експлуатації в кривих малих радіусів міського рейкового транспорту. Це підтверджується отриманою залежністю (рис. 1), на якій представлені результати моделювання двох типів тележок з різними профілями колес [15 – 18].

Залежності, представлені на рис. 1, отримані для швидкості руху 10 км/ч для транспортного засоби, параметри якого подібні параметрам трамвая ТЗ. Верхня тележка має жорстко закріплені осі, нижня тележка оснащена механізмом радіальної установки колесних пар. Профіль колеса Е-99-00 оснащений більш низькою конусністю поверхні катання, конусність профіля КР-1 призначена для руху в колії з великою кількістю кривих. Во всіх випадках, втрати потужності транспортного засоби розділені на складові ковзання в продольному і поперечному напрямках.

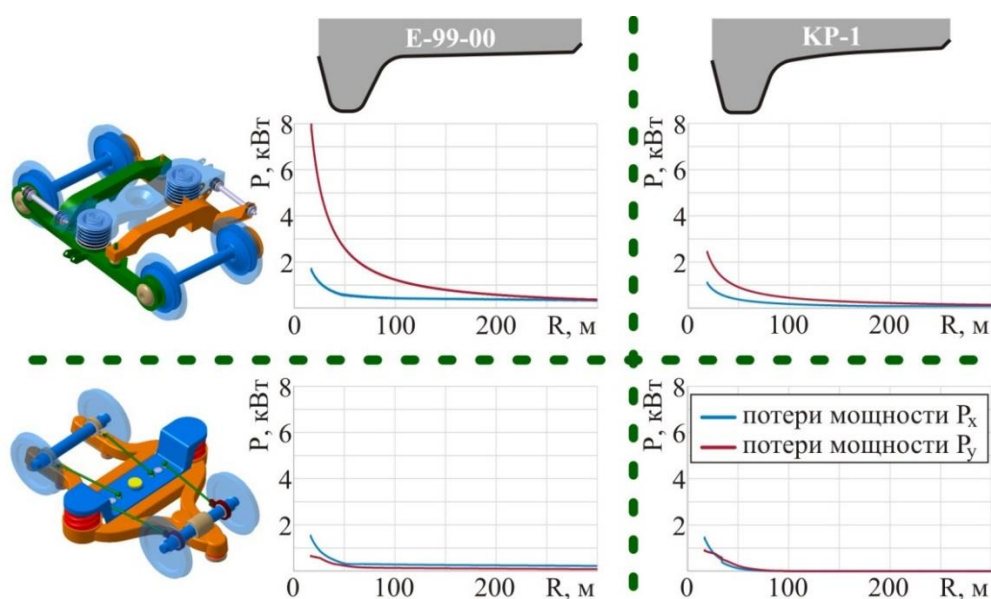


Рис. 1. Сравнение потерь мощности двух типов тележек, оснащенных разными профилями колес

**Цель статьи.** Улучшение взаимодействия в системе «колесо – рельс» трамвайного вагона в кривых малого радиуса путём минимизации скорости скольжения профилей в продольном направлении. Разработка технического решения криволинейного участка пути, отличающегося специфической конструкцией, и колесной пары с дополнительной поверхностью катания. Оценка с помощью имитационного моделирования прохождения трамвайного вагона по S-образной кривой целесообразности предлагаемого изобретения. Получение зависимости сопротивления движения транспортного средства от радиуса кривой с разными поверхностями катания колёс.

**Изложение основного материала исследования.** Радиус кривой, в котором колесная пара теоретически проходит с чистым качением, можно определить на основе соотношения:

$$R \geq \frac{2sr}{\Delta r}, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус кривой, мм;

$2s$  – расстояние между кругами катания колёс, мм;

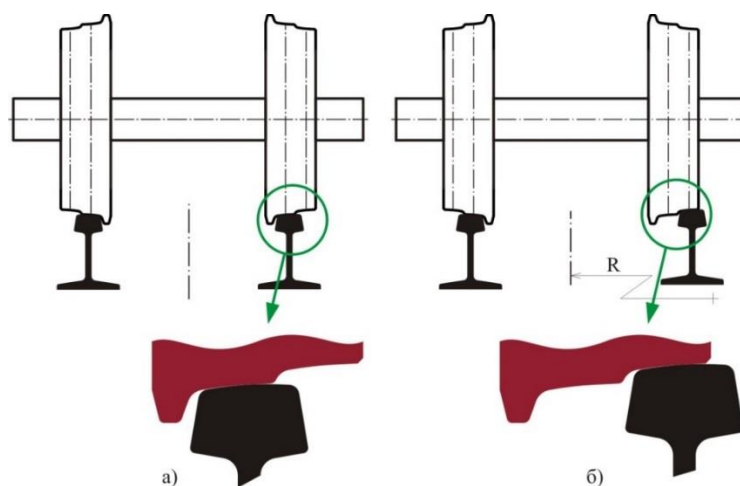
$r$  – мгновенный радиус колеса колесной пары в центрированном положении по отношению к оси пути, мм;

$\Delta r$  – значение разницы между мгновенными радиусами колес в момент исчерпания поперечного зазора, мм.

На основании вышеприведенного соотношения можно установить, что, например, трамвайная колесная пара с подходящим профилем колеса теоретически может

проходить без проскальзывания кривые радиусом более 65,64 м. В городских условиях конструкция рельсового транспортного средства должна обеспечить прохождение кривой радиусом до 17 метров. Поэтому необходимо обратить внимание на возможность уменьшения значения  $R$  в соотношении (1). Это может быть достигнуто путем увеличения значения  $\Delta r$ . Однако повышение его за счет увеличения конусности поверхности катания не является подходящим решением, поскольку это может привести к значительному ухудшению устойчивости прохождения по прямому участку пути. Возникает противоречивое требование увеличить значение  $\Delta r$  без вмешательства в поверхность катания профиля колеса. Это требование может быть достигнуто путем создания дополнительной поверхности катания колеса.

Предлагается вышеописанную проблему решить путем использования профиля колеса с дополнительной поверхностью катания на внешней стороне колес, предназначенной исключительно для прохождения кривого участка пути с радиусом, через который колесная пара классического исполнения теоретически не может обеспечить прохождение чистым качением. Схематически это решение показано на рис. 2.



**Рис. 2. Колесная пара с дополнительными поверхностями катания в кривом участке пути радиусом: а) в соответствии с соотношением (1), б) в котором обычная колесная пара не может проходить без проскальзывания**

Внутренняя поверхность профиля колеса идентична исходному профилю. Ходовые качества транспортного средства по прямому участку пути, или же в кривой согласно соотношению (1), остаются неизменными. В кривых малых радиусов предлагаемая колесная пара внешним колесом катится по первоначальной поверхности катания, внутреннее колесо катится по дополнительной поверхности катания, тем самым достигая желаемого изменения значения  $\Delta r$ , или же смещения функции  $\Delta r$  (зависимости разницы радиуса колес от поперечного смещения колёсной пары в колее), что образует основное предположение, которое дает возможность прохождению ко-

лесной парой в кривом участке пути малого радиуса качением. Изменение поверхности катания осуществляется путем прохождения колёсной пары через путь с переменной геометрией рельса, как описано ниже.

Для эффективного использования дополнительной поверхности катания необходимо определить ее смещение от исходного профиля в поперечном и вертикальном направлениях, как показано на рис. 3, а. Для создания дополнительной поверхности катания можно использовать сегмент исходной поверхности катания.

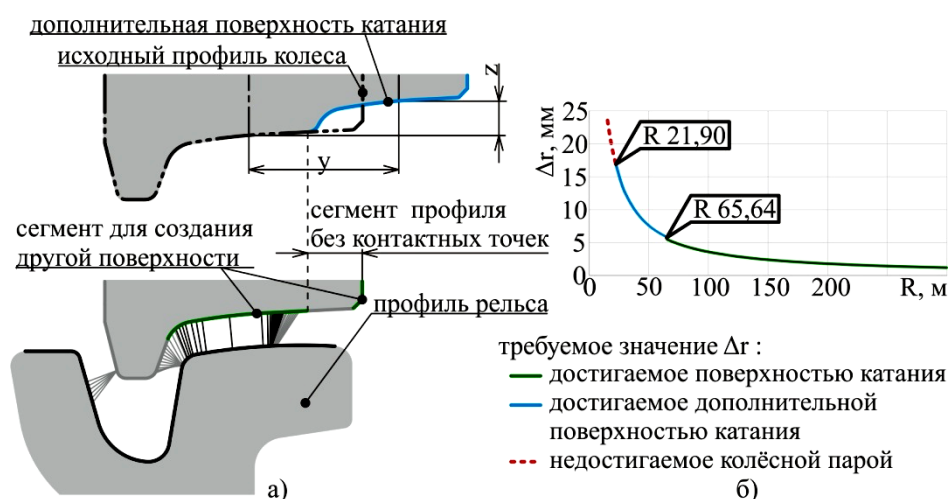


Рис. 3. Принцип построения профиля колеса с дополнительной поверхностью и его характеристика: а) местоположение добавленной поверхности катания на профиле колеса, б) требуемое и достигаемое значение  $\Delta r$ , необходимое для прохождения колесной пары кривой качением

Перемещение в поперечном направлении должно стремиться к минимуму, для устранения прироста массы от увеличения ширины колеса и, следовательно, неподрессоренной массы. Его минимальный размер ограничен распределением точек контакта между колесом и рельсом. Предлагается использовать часть исходной поверхности катания, в которой предположительно отсутствует контакт колеса с рельсом для размещения дополнительной поверхности катания.

Смещение в вертикальном направлении зависит от значения  $\Delta r$ . Для эффективной эксплуатации добавленной поверхности катания, это значение должно определяться по формуле:

$$z = 2\Delta r + \frac{y \cdot \Delta r}{2s}, \quad (2)$$

где  $z$  – вертикальное смещение дополнительной поверхности катания, мм;  
 $y$  – поперечное смещение дополнительной поверхности катания, мм.

Изменение желаемого и достигаемого значения  $\Delta r$  колесной пары, оснащенной дополнительной поверхностью катания, показано на рис. 3, б). Исходя из теоретических соображений, ожидается более благоприятное вписывание в кривые участки

пути. Это предположение подтверждено имитационным моделированием вписывания в кривые участки пути с выше описанной геометрией пути.

Выполнение имитационного моделирования в коммерческой расчетной программе Simpack требует определения среди других параметров профиля колеса и рельса заданной формы в виде текстовых файлов, содержащих, среди других параметров, прежде всего последовательность координатных точек, лежащих на поверхности катания профилей. В ходе вычисления эти точки автоматически преобразуются в кривую сплайна, которая представляет желаемый профиль. Для обычно используемых профилей колес и рельсов эти файлы уже предварительно подготовлены в расчетной программе Simpack. На контакт колеса с рельсом трамваев не распространяются нормы, касающиеся железнодорожных транспортных средств, поэтому авторами разработаны файлы для задания требуемого профиля и последующего его моделирования [19].

Необходимые файлы добавляются в базу данных программы Simpack, однако Simpack не располагает возможностью создавать такие файлы непосредственно на основе определения их геометрии. Поэтому необходимо создать требуемую последовательность точек и сохранить их координаты в соответствующем файле. Начальным действием для создания такого файла является чертеж профиля в заданной форме, как показано на рис. 4, а. На основе заданной им геометрии создаётся набор параметрических уравнений сегментов, из которых состоит профиль. Затем, основываясь на выборе одной из координатных точек, вторая координата этой точки может быть посчитана с использованием этих параметрических уравнений. Этот процесс должен повторяться циклически с целью получения достаточного количества точек профиля поверхности катания. Для достаточного количества, в соответствии с его сложностью, может потребоваться от 200 до 3000 точек, равномерно расположенных вдоль поверхности катания профиля.

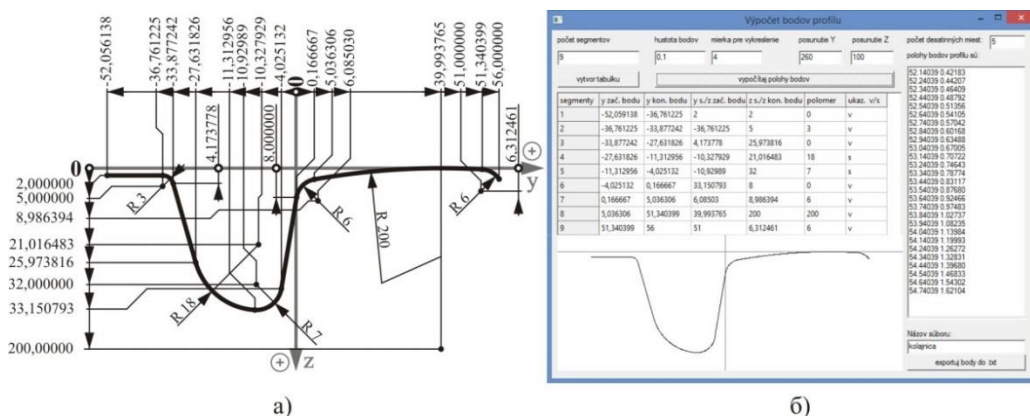


Рис. 4. Расчётная схема: а) чертеж профиля рельса в требуемой форме, б) диалоговое окно программы для получения координатных точек

Поскольку представленный процесс длительный, который в случае определения рельса с переменной геометрией необходимо многократно повторять, авторами была создана программа, содержащая алгоритм, в котором на основе простого определения

установленных специфических размеров отдельных сегментов профиля можно создать последовательность координатных точек этого профиля произвольной плотности и затем сохранить их в форме, подходящей для прямого импорта в программу Simpack. Диалоговое окно программы с заданными специфическими размерами сегментов поверхности катания рельса, генерированными координатами профиля и чертежом заданного профиля показано на рис. 4, б).

Чтобы проверить допущение прохождения колесной пары без скольжения за счет использования дополнительной поверхности катания, в программе Simpack была проведена серия имитационных анализов динамики движения транспортного средства. Цель заключалась в том, чтобы получить зависимость наблюдаемых величин от радиуса кривой пути. Учитывая большое количество контролируемых величин и объем полученных данных, далее представлены только характеристики потерь мощности транспортного средства, необходимые для преодоления скольжения в контактах «колесо – рельс», поскольку эта величина предоставляет целостный взгляд на прохождение транспортным средством по кривому участку пути. Для целей сравнения в моделировании были рассмотрены три случая, причем во всех случаях параметры рассматриваемого транспортного средства были подобны параметрам трамвая ТЗ, расстояние между шкворнями, как и база осей оставалось неизменным. Ширина пути считается 1000 мм.

В первом случае транспортное средство рассматривалось без возможности регулировки радиального положения осей и без дополнительной поверхности катания колес. Во втором случае рассматривалось транспортное средство с возможностью регулировки радиального положения колес, но без возможности использования дополнительной поверхности катания. В третьем случае транспортное средство имело возможность регулировать радиальное положение колесной пары, а также возможность использования дополнительной поверхности катания.

Для оценки поведения транспортного средства при движении в кривых разного радиуса выполнено моделирование движения транспортного средства в расчетной программе, с определением формы переходной кривой достаточной длины. В этом случае участок пути, через который проходит транспортное средство, может рассматриваться как кривая постоянного радиуса и, следовательно, расстояние, пройденное транспортным средством вдоль пути, пересчитывается на текущий радиус кривой в данном месте.

В моделировании использовалась переходная кривая формы клотоида длиной 10 км, связывающая прямой участок пути и кривую с радиусом 17 м. Для расчета радиуса кривого участка пути  $R$ , м, в котором транспортное средство находится в текущий момент времени, была использована формула:

$$R = \frac{R_2 \cdot l}{s}, \quad (3)$$

где  $R_2$  – радиус кривого участка пути в конце переходной кривой, м;

$l$  – общая длина клотоида, м;

$s$  – расстояние от начала переходной кривой до рассматриваемого участка, измеренное по кривой клотоида, м.

Форма пути и имитационная модель транспортного средства показаны на рис. 5.



Путь, рассматриваемый в имитационном анализе, состоит из прямого участка длиной 50 м, переходной кривой формы клотоида длиной 10 000 м и круговой кривой с радиусом 17 м. Движение транспортного средства было рассмотрено со скоростью 10 км/ч. Последующие изменения потерь мощности представлены в виде компонентов, необходимых для преодоления поперечного и продольного скольжения. Полная потеря мощности транспортного средства является суммой этих компонентов.

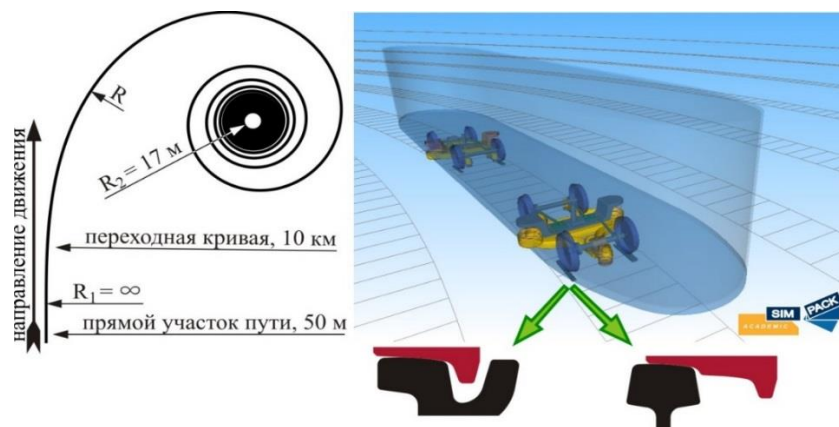


Рис. 5. Форма переходной кривой и имитационная модель транспортного средства

На основе анализа результатов имитационного анализа движения транспортного средства (рис. 6) установлено более эффективное прохождение кривых малого радиуса в широком диапазоне его значения. Использование добавленной поверхности катания является перспективным с точки зрения потерь мощности транспортного средства при радиусе кривой менее 62,3 м. Из приведенных графиков очевидно, что негативные явления наблюдаемых величин существенно сокращаются в случае использования дополнительной поверхности катания. В интервале радиусов кривых участков пути от 23,55 м до 44,88 м потеря мощности транспортного средства практически устранена. Для того, чтобы описанный способ прохождения кривых можно было применить на практике, необходимо было определить местоположение пути, где будет изменен режим движения. Также необходимо было определить реакцию транспортного средства на проход через такое место.

Общеизвестно, что с точки зрения безопасности от схода с рельсов прохождение транспортного средства S-образной кривой с возникновением скручивания пути представляется довольно проблематичным. Целью авторов было проверить реакцию транспортного средства на данном участке пути. Данное движение усложняется изменением режима движения тележки в случае, если радиус кривой пути превышает определенное значение.

В последующем имитационном анализе путь был определен в соответствии с нормой [12], состоящий из прямых сегментов, переходов и двух кривых радиусом 25 м. Длина отдельных деталей и их расположение показаны на рис. 7 а). Возвышение рельсов 33,6 мм. Сопоставлены три случая. В первом случае транспортное средство рассматривалось без механизма радиальной установки колесных пар и без добавленной



поверхности катания колес. Во втором и третьем случаях транспортное средство рассматривалось с механизмом радиальной установки и с возможностью использования добавленной поверхности катания колес. В первом случае ось с единственным буксовым узлом была направлена от центра, а во втором – к центру транспортного средства.

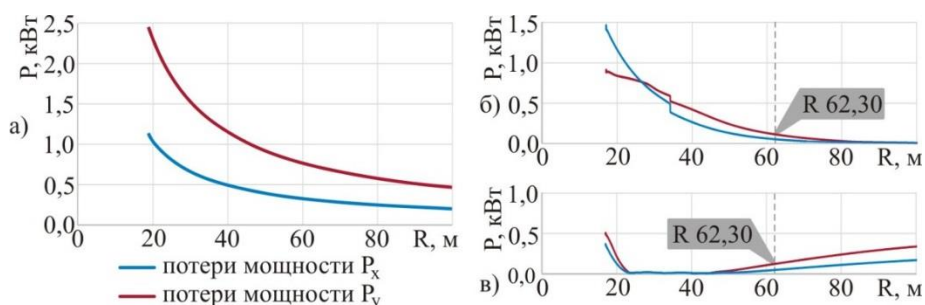


Рис. 6. Потери мощности транспортного средства: а) без механизма радиальной установки и без дополнительной поверхности катания, б) с механизмом радиальной установки, но без дополнительной поверхности катания, в) с механизмом радиальной установки и с использованием дополнительной поверхности катания

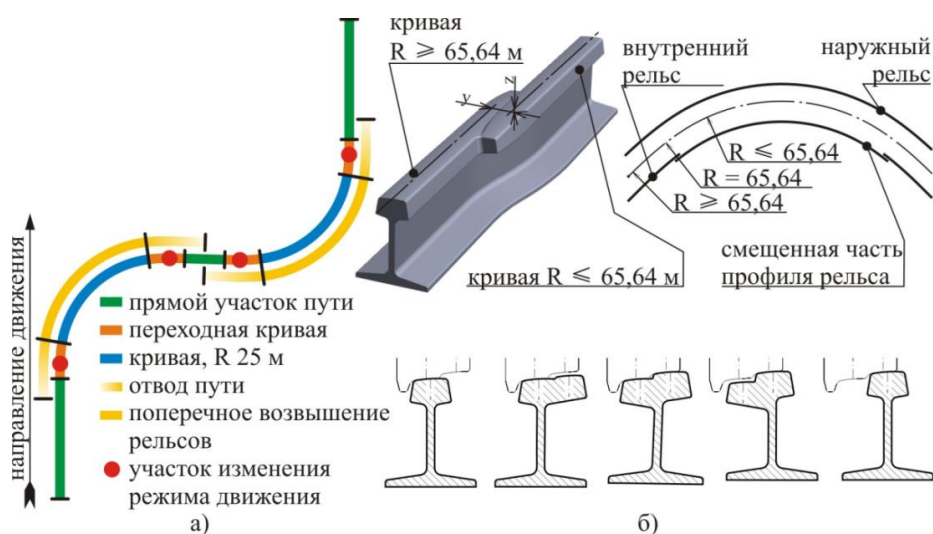
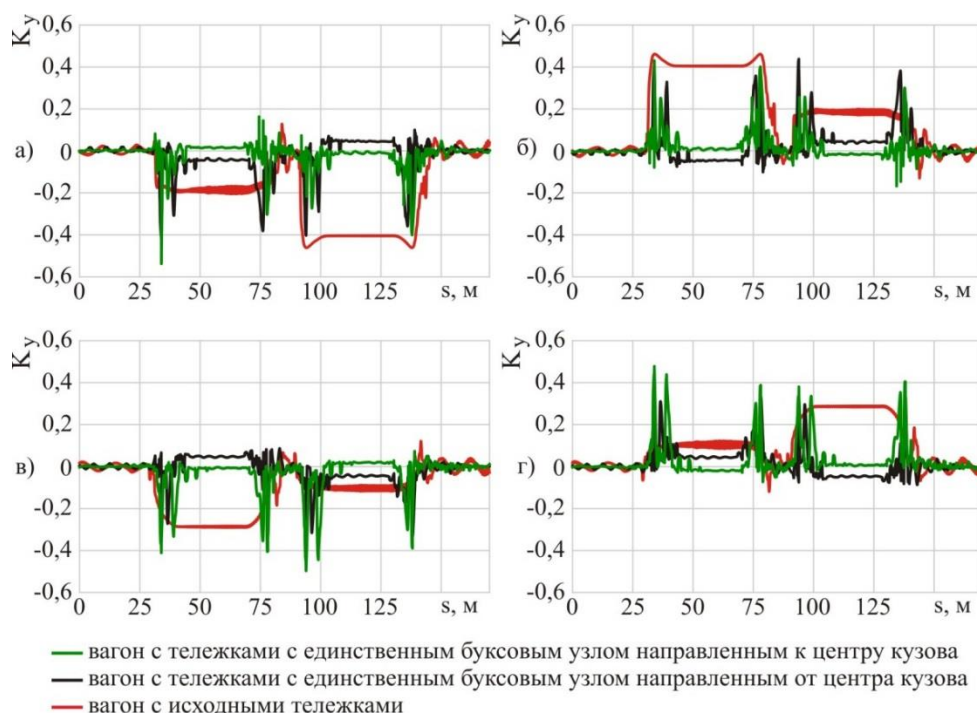


Рис. 7. а) Путь формы S-образной кривой, б) место изменения режима движения

Изменение поверхности катания выполнялось в точке, где радиус кривого участка, измеренный относительно оси пути, превышал значение 65,64 м. Участок рельса, на котором происходит это изменение, схематически показано на рис. 7, б). Речь идет о рельсовом стыке, смещенном в поперечном и вертикальном направлениях на то же расстояние, что и добавленная поверхность катания колеса. Для оптимизации момента

изменения поверхности катания, вблизи от смещенного рельсового стыка была использована переменная геометрия головки наружного и внутреннего рельсов.

Целью имитационного анализа было определение изменения коэффициента безопасности против схода транспортного средства с рельсов в отдельных случаях. Движение считалось со скоростью 10 км/ч. Характеристики коэффициента безопасности против схода с рельсов для передней тележки показаны на рис. 8.



**Рис. 8. Характеристика коэффициента безопасности против схода с рельсов**  
 а) первая тележка, левое колесо, б) первая тележка, правое колесо,  
 в) вторая тележка, левое колесо, г) вторая тележка, правое колесо

Из приведенных графиков можно увидеть, что транспортное средство с исходными тележками имеет более низкую безопасность схода с рельсов, чем тележка с возможностью регулирования положения оси. Также установлено, что предложенные тележки с единственным буксовым узлом (рис. 1) целесообразно расположить буксовым узлом к центру транспортного средства.

**Выводы и перспективы дальнейшего использования.** Проведенная серия имитационных анализов движения транспортного средства в переходной кривой предполагает, что в случае движения транспортного средства по кривому участку пути малого радиуса достигается значительное улучшение входу в кривую за счёт устранения причин возникновения негативных явлений при движении в кривой.

Для внедрения в эксплуатацию колёсной пары с двумя поверхностями катания разработан участок пути с переменной геометрией головки рельсов для изменения

поверхности катания колёсной пары. В этом контексте авторами был разработан ряд патентных заявок и полезных моделей.

Разработанная имитационная модель позволяет оценить параметры взаимодействия колёсной пары с рельсовой колеёй новой конструкции, спрогнозировать процесс изнашивания рабочих поверхностей колеса и рельса предложенной геометрии перед вводом системы в эксплуатацию.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Hauser, V.* Konštrukčný návrh podvozka električky so zmenšenými silovými účinkami na trať: дис. канд. техн. наук / Hauser Vladimír; Žilina, Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta, Katedra dopravnej a manipulačnej techniky. Д., 2017. – 116 с.
2. *Gerlici, J.* Kontakt železničného dvojkolesia a koľaje / J. Gerlici, T. Lack // University of Žilina, 2004. – 200 с. ISBN 80-8070-317-5.
3. *Lack, T.* Railway wheel and rail roughness analysis / T. Lack, J. Gerlici // Communications: Scientific Letters of the University of Žilina. ISSN 1335-4205. Vol. 11, No. 2 2009, pp. 41-48.
4. *Dižo, J.* Multibody System of a Rail Vehicle Bogie with a Flexible Body / J. Dižo, J. Harušinec, M. Blatnický // Manufacturing technology. – 2015. – Vol. 15, No. 5, pp. 781 – 788. ISSN 1213-2489.
5. *Фомін, О.В.* Використання профілю з перерізом у вигляді прямокутної труби в якості елементів каркасів кузовів залізничних напіввагонів / О.В Фомін, В.В Фомін // Зб. наук. праць. – Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2012. – Вип.№.3(174)- С.244-250.
6. *Fomin, O.* Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O.V. Fomin // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 1 – P.45-48.
7. *Zelenka, J.* Vztah kolo-kolejnice v podmínkách tramvajového provozu / J. Zelenka, M. Kohout // Univerzita Pardubice. – 2012.– 42 с.
8. *Gerlici, J.* Calculation of the equivalent conicity function of the railway wheelset tread profile at the Delta R function with a negative slope / J. Gerlici, T. Lack, M. Lacková // Communications – scientific letters of the University of Žilina. ISSN 1335-4205. Vol. 6, Nr. 2 2004, pp. 49-56
9. *Lack, T.* Iterational method for railway wheel tread profile design / T. Lack, J. Gerlici // XVIII konferencja naukova – pojazdy szynowe: Katowice-Ustroń, 17-19 września 2008: Materiały konferencyjne, pp. 137-149.
10. *Gerlici, J.* Rail geometry analysis (from the point of view of wearing in the operation) / J. Gerlici, T. Lack // Communications – scientific letters of the University of Žilina. – 2003. – Vol. 5, No. 1 (2003), (pp. 43-51). ISSN 1335-4205.
11. *Gerlici, J.* Railway wheel and rail head profiles development based on the geometric characteristics shapes. / J. Gerlici, T. Lack // Wear: An international journal on the science and technology of friction, lubrication and wear. – 2011. – Vol. 271, No. 1-2 Sp. iss. 2011, s. 246-258. ISSN 0043-1648.
12. *Technická norma železníc TNŽ 73 63 61.* Geometrická poloha a usporiadanie koľaje s rozchodom 1000 mm; введено в действие 2007-09-01. Bratislava. 2007, – 37 р. Bratislava, 2007 – 37 с.
13. *Иванов, М. Д.* Трамвайные вагоны Т-3 / М. Д. Иванов, А. А. Пономарев, Б. К. М. Иеропольский // Транспорт, 1977. – 240 с.
14. *Фомін, О.В.* Варіаційне описання конструктивних виконань вантажних вагонів/ О.В Фомін, А.В. Гостра // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Київ: ДЕТУТ, 2015. – Вип.26-27. – С.137-147.
15. *Hauser, V.* Impact of wheelset steering and wheel profile geometry to the vehicle behavior when passing curved track / V. Hauser, O.S. Nozhenko, K.O. Kravchenko, M. Loulová, J. Gerlici, T. Lack // Manufacturing technology: journal for science, research and production. – ISSN 1213-2489. – Vol. 17, no. 3 (2017), s. 306-312.
16. Пат. України на корисну модель 114040U, МПК В61F 3/00, В61F 5/52 (2006.01), В61F 5/30 (2006.01). Візок вагона / Герліці Ю., Лак Т., Хаусер В., Манюрова М., Ноженко О.С., Кравченко К.О. Заявка у 2016 09015; заявл. 25.08.2016; опубл. 27.02.2017, Бюл. 4. – 9с.
17. Заявка на пат. на винахід а201701589, МПК (2017) В 60В Е01В 11/36. Колісна пара визка рейкового транспортного засобу та колія криволінійної ділянки / Хаусер В., Герліці Ю., Лак Т., Лоулова М., Ноженко О.С., Кравченко К.О., Просвірова О.В. Заявл. 20.02.2017 – 11 с.

18. Пат. України на корисну модель 119104, МПК В61F 5/30 (2006.01). Візок вагона / Лоулова М., Хаусер В., Герлиці Ю., Лак Т., Ноженко О.С., Кравченко О.П., Кравченко К.О. Заявка u201703246; заявл. 05.04.2017; опубл. 11.09.2017, бюл. № 17/2017 – 9с.

19. Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 73363 від 12.04.2017. Комп'ютерна програма «Визначення координат точок геометрії профілю об'єкту» / Хаусер В., Герлиці Ю., Кравченко К.О., Лак Т., Лоулова М., Ноженко О.С., Кравченко О.П.

### REFERENCES

1. Hauser V. *Konstručný návrh podvozka električky so zmenšenými silovými účinkami na trať* [Construction proposal of tramcar bogie with minimized force effects to the track]: dis. kand. tehn. nauk Žilina, Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta, Katedra dopravnej a manipulačnej techniky. D., 2017. – 116 s.
2. Gerlici, J., Lack T. *Kontakt železničného dvojkolesia a koľaje* [The wheelset – track contact] University of Žilina, 2004. – 200 p. ISBN 80-8070-317-5.
3. Lack T., Gerlici J. *Railway wheel and rail roughness analysis*. In: Communications: Scientific Letters of the University of Žilina. ISSN 1335-4205. Vol. 11, No. 2 2009, pp. 41-48.
4. Dižo J., Harušinec J., Blatnický M. *Multibody System of a Rail Vehicle Bogie with a Flexible Body* In: Manufacturing technology. – 2015. – Vol. 15, No. 5, pp. 781 – 788. ISSN 1213-2489.
5. Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 1 – P.45-48.
6. Fomin, O.V. Using of rectangle profiles by elements of gondola bodies / O.V. Fomin, V.V. Fomin, // Zbirnyk naukovych prac' EU V. Dahl National University. 2012 (3(174)) – P. 244-250.
7. Zelenka J., Kohout M. *Vztah kolo-kolejnice v podmínkách tramvajového provozu* [The wheel-rail relationship in urban transport environment] Univerzita Pardubice. – 2012. – 42 s.
8. Gerlici J., Lack T., Lacková M. Calculation of the equivalent conicity function of the railway wheelset tread profile at the Delta R function with a negative slope. In: Communications – scientific letters of the University of Žilina. ISSN 1335-4205. Vol. 6, Nr. 2 2004, pp. 49-56
9. Lack T., Gerlici J. *Iterational method for railway wheel tread profile design*. XVIII konferencia naukova – pojazdy szynowe: Katowice-Ustroń, 17-19 września 2008: Materiały konferencyjne, pp. 137-149.
10. Gerlici J., Lack T. *Rail geometry analysis (from the point of view of wearing in the operation)*. In: Communications – scientific letters of the University of Žilina. – 2003. – Vol. 5, No. 1 (2003), (pp. 43-51). ISSN 1335-4205.
11. Gerlici J., Lack T. *Railway wheel and rail head profiles development based on the geometric characteristics shapes*. In: Wear: An international journal on the science and technology of friction, lubrication and wear. – 2011. – Vol. 271, No. 1-2 Sp. iss. 2011, s. 246-258. ISSN 0043-1648.
12. Technická norma železnic TNŽ 73 63 61. *Geometrická poloha a usporiadanie koľaje s rozchodom 1000 mm* [Geometrical location and layout of track with gauge 1000 mm]; vvedeno v dejstvie 2007-09-01. Bratislava. 2007. – 37 p. Bratislava, 2007 – 37 s.
13. Ivanov M.D., Ponomarev A.A., Ieropol'skij B.K. *Tramvajnye vagony T-3*. Transport, 1977. – 240 p.
14. Fomin, O.V. Variacijne opisannja konstruktivnih vikonan' vantazhnih vagoniv [Variations describe the structural designs of freight cars] / O.V. Fomin, A.V. Gostra // Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series «Transport systems and technologies.» – Kyiv: DETUT, 2015. – Vyp.26-27. – S.137-147.
15. Hauser V., Nozhenko O.S., Kravchenko K.O., Loulova M., Gerlici J., Lack T. *Impact of wheelset steering and wheel profile geometry to the vehicle behavior when passing curved track*. Manufacturing technology: journal for science, research and production. – ISSN 1213-2489. – Vol. 17, no. 3 (2017), pp. 306-312.
16. Gerlici J., Lak T., Hauser V., Manjurova M., Nozhenko O.S., Kravchenko K.O. *Vizok vagona* [Carriage bogie] Patent UA 114040U, no u 2016 09015, 2017.
17. Hauser V., Gerlici J., Lak T., Loulova M., Nozhenko O.S., Kravchenko K.O., Prosvirova O.V. *Kolisna para vizka rejkovogo transportnogo zasobu ta kolija krivolinijnoї diljanki* [Railway bogie wheelset and curved track segment] pat. no a201701589, 2017.
18. Loulova M., Hauser V., Gerlici J., Lak T., Nozhenko O.S., Kravchenko O.P., Kravchenko K.O. *Vizok vagona* [Carriage bogie]. Patent UA 119104, no u201703246; 2017.
19. Hauser V., Gerlici J., Kravchenko K.O., Lak T., Loulova M., Nozhenko O.S., Kravchenko O.P. *Komp'juterna programa «vznachennja koordinat tochok geometrii profilju ob'ektu»* [Computer program «defining coordinates points of object profile»] Svidoctvo pro reestraciju avtors'kogo prava na tvir, no 73363, 12.04.2017.

- Юрай Герліці, професор  
(завідувач кафедру транспорту та підйомно-транспортної техніки Жилінського університету, Словачія),*  
*Володимир Хаусер, к.т.н.  
(науковий співробітник кафедри транспорту та підйомно-транспортної техніки Жилінського університету, Словачія),*  
*Катерина Кравченко, доц., к.т.н.  
(науковий співробітник кафедри транспорту та підйомно-транспортної техніки Жилінського університету, Словачія),*  
*Олена Ноженко, доц., к.т.н.  
(докторантка кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля),*  
*Томаш Лак, доц.  
(доцент кафедри транспорту та підйомно-транспортної техніки Жилінського університету, Словачія),*  
*Юлія Фоміна, бакалавр  
(студентка кафедри транспорту та підйомно-транспортної техніки Жилінського університету, Словачія)*

**ПРОФІЛЬ КОЛЕСА З ДОДАТКОВОЮ ПОВЕРХНЕЮ КОЧЕННЯ  
ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ РЕЙКОВОГО ТРАНСПОРТНОГО  
ЗАСОБУ З КРИВОЮ ДІЛЯНКОЮ КОЛІЇ МАЛОГО РАДІУСА**

*Особливістю рейкового міського транспорту є наявність кривих малого радіуса від 17 метрів, що вимагає підвищеної уваги. Рух в таких кривих призводить до збільшення впливу на колію, підвищення опору руху транспортного засобу, ковзання в контакті «колесо – рейка», прискореного зносу контактної пари, підвищення шуму. З метою зменшення ковзання в контакті «колесо – рейка» при проходженні трамваєм кривої ділянки колії малого радіуса запропонована конструкція профілю колеса з двома поверхнями кочення, а також специфічна конструкція кривої ділянки колії. Пропонується спосіб руху колісної пари в кривій, в якій звичайна колісна пара не зможе забезпечити рух коченням. Доцільність запропонованого технічного рішення продемонстрована за допомогою імітаційного моделювання руху трамвайного вагона в S-подібній кривій. Авторами розроблена програма, яка містить алгоритм, в якому на основі креслення профілю колеса і рейки створюються файли з вихідними даними профілів, які підходять для прямого імпорту в програму Simpack. У результаті моделювання порівнюються параметри руху трамвайного вагона в рейкової колії звичайної і специфічної конструкції. За допомогою імітаційного моделювання побудована залежність опору руху транспортного засобу від радіуса кривої для різних поверхонь кочення колеса.*

*Ключові слова: швидкість ковзання в контакті «колесо – рейка», крива ділянка колії малого радіуса, профіль колеса з двома поверхнями кочення.*

*Juraj Gerlici, Doctor of Science (Engineering), Professor  
(Head of Department of Transport and Handling Machines, University of Zilina)*

*Vladimír Hauser, Ph.D. (Engineering)*

*(Scientific researcher of Department of Transport and Handling Machines, University of Zilina)*

*Kateryna Kravchenko, Ph.D. (Engineering), Assistant Professor*

*(Scientific researcher of Department of Transport and Handling Machines, University of Zilina),*

*Olena Nozhenko, Ph.D. (Engineering), Assistant Professor*

*(Postdoctoral of Department of Railway, Automobile Transport and Handling Machines, Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University),*

*Tomas Lack, Ph.D. (Engineering), Assistant Professor*

*(Docent of Department of Transport and Handling Machines, University of Zilina),*

*Yuliia Fomina, bachelor*

*(Student, Department of Transport and Handling Machines, University of Zilina)*

#### **WHEEL PROFILE WITH THE ADDITIONAL TREAD FOR ROLLING STOCK – TRACK INTERACTION IMPROVEMENT IN CURVED TRACK SECTIONS OF SMALL RADIUSES**

*Operation on the urban rail lines is specific because of large amount of track curves with radius up to 17 meters. This fact needs special attention. Operation on such strongly curved track increases impact of the vehicle to the track, increases vehicle arc-passing resistance, creepage formation in the rail-wheel contact, fast wear formation of the contact pair and noise emissions. With the aim to minimize creepage in the rail-wheel contact when vehicle passing through track curve of small radius, authors propose to use wheel with double tread design and specific track geometry for strongly curved section. New way of wheelset passing through track curve is proposed. This proposal is aimed for track radius in which common wheelset can no more run by pure rolling. Feasibility of described invention is investigated by tramcar model dynamics simulation when running in S-curved track. By authors was also created computer program, which on the basis of wheel and rail profiles drawings allows to describe them in a specific form, which is suitable for direct import to Simpack calculation software. Results of tramcar dynamical simulation analysis are compared for running in common, as well as for running in proposed track section with specific geometry. By simulation analysis was also obtained vehicle curve-passing resistance according track radius.*

*Keywords: creep velocity in the rail-wheel contact, curved track section with small radius, wheel profile with two treads.*

**Стаття надійшла до редакції 18.10.2017 р.**