

УДК 629.4.015:625.1.032.84

Ю.І. Осенін, докт. техн. наук, проф.,  
Л.М. Дегтярьова, канд. техн. наук, доц.,  
Г.Ю. Осеніна, магістр,  
О.В. Сергієнко, канд. техн. наук, доц.

Східноукраїнський національний університет імені  
Володимира Даля, м. Сєверодонецьк, Україна,  
Полтавський національний технічний університет  
імені Юрія Кондратюка, м. Полтава, Україна  
e-mail: [osenin@ukr.net](mailto:osenin@ukr.net)

## ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПЕРЕСУВАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ ГІРНИЧОРУДНОГО І ШАХТНОГО ТРАНСПОРТУ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ КОЛІС З КОНТРГРЕБЕНЕМ

Ю.И. Осенин, докт. техн. наук, проф.,  
Л.Н. Дегтярева, канд. техн. наук, доц.,  
Г.Ю. Осенина, магистр,  
О.В. Сергиенко, канд. техн. наук, доц.,

Восточноукраинский национальный университет  
имени Владимира Даля, г. Северодонецк, Украина,  
Полтавский национальный технический университет  
имени Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина  
e-mail: [osenin@ukr.net](mailto:osenin@ukr.net)

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ГОРНОРУДНОГО И ШАХТНОГО ТРАНСПОРТА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОЛЕС С КОНТРГРЕБНЕМ

Yu.I. Osenin, Doct. Sci. (Tech.), Prof.,  
L.N. Degtyareva, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,  
G.Yu. Osenina, Master of Science  
O.V. Sergienko, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University,  
Severodonetsk, Ukraine,  
Yuri Kondratyuk Poltava National Technical University,  
Poltava, Ukraine  
e-mail: [osenin@ukr.net](mailto:osenin@ukr.net)

## IMPROVING SAFETY OF MOVEMENT OF MINING TRANSPORT BY APPLYING WHEELS WITH COUNTER-FLANGE

**Objective.** Creation of wheel pair with wheels that provide protection against derailment due to counter-flanges and substantiation of efficiency of its applying at mining transport.

**Methods.** Mathematical and simulation modelling of geometric, friction and dynamic parameters of contact interaction between wheel and rail of proposed wheel pair by applying difference equations, elements of theoretical mechanics, mechanical system dynamics, analytical geometry, etc.

**Findings.** The authors have proposed scientifically grounded engineering solution for design of wheel pair that has wheels with counter-flange that satisfy the existing standards of vertical and horizontal dynamics and movement stability index. Results of calculations for coefficients of dynamics and transverse stability for wheel pair with wheels that have counter-flange are the same as computational data for freight cars with all-rolled wheels over the range of 10 – 15% and no more than standard values.

Improved contour of rail wheel with counter-flange has been developed. It provides the additional contact in horizontal plane while transverse vibrations of wheel pair relative to rail track and makes carriage more stable and increase the resisting force of wheel against derailment when passing curved portion of line.

**Originality.** Further development of methods for creating working contour of wheel for special-purpose rolling stock that takes into consideration counter-flange at the rolling surface. Force interaction patterns of wheel pair with wheels that have counter-flange and side edge of rail top have been obtained for the first time. Relation that describes the influence of transverse force during performance of car on curves at contact of wheel with counter-flange with rail has been obtained for the first time.

**Practical value.** The authors have developed a wheel pair for mining transport whose contour has the additional running track and counter-flange that protects against derailment when base flange of wheel rolls in working surface of rail or there is way spacer due to rail elastic deformation.

**Key words:** *wheel pair, two-flange wheel, derailment, wheel flange, railway track.*

**Problem statement.** One of the main criterion for safety of freight transportation by mine vehicle is prevention of derailment that may has disastrous consequences.

This is one of the most important problems at railway transport and it is a part of movement safety control problem. According to the work [1], derailment event deduction is one of the main tasks in researching wheel-rail interaction.

The basic kinds of derailment include derailment due to the wheeling onto the rail and track thrusting – railhead is pressed-out by one wheel flange due to its spring decline and the other wheel fall off the other rail [2].

Consequently, it is important to create such elements of truck (elements of wheel-rail system) that provide movement stability and preclude the possibility of wheel flange rolling onto railhead and have counteraction to derailment when spring rail deflection [3]. Currently, there are no mathematical models and relations that take into account influence of additional elements on vehicle safety of movement [4].

**Previous research analysis.** Analysis of researches on wheel-rail interaction proves that dynamic movement parameters, overcoming resistance forces and safety of movement in transport mainly depend on the processes in wheel-rail contact. Scientific works of V.A. Lazaryan, Ye.P. Blokhin, G.I. Bogomaz, M.F. Verigo, S.V. Verzhinskiy, V.D. Danovich, Yu.V. Dyomin, V.N. Ivanov, M.B. Keglin, M.B. Kelrikh, A.M. Konyaev, M.L. Korotenko, L.A. Manshkin, O.M. Pshinko, M.O. Radchenko, O.M. Savchuk, V.F. Ushkalov and foreign researches F. Carter, K. Muller, H. Heyman, etc. are dedicated to different aspects of wheel-rail interaction.

Parameters of wheel-rail interaction in different zones are non-unique: firstly, wheel-rail interaction must provide low resistance to train movement and reduce friction between wheel flange and side surface of railhead. Secondly, providing necessary tractive force requires providing quite high level of wheel-rail adhesion [5].

Analysis of existing researches on derailment [6] shows that this problem should be solved on the base of complex approach that includes improvement of wheel design that is, first of all, responsive for safety of movement.

**Unsolved problem statement.** One of effective methods to achieve an objective is improvement of design of wheel pair. The article proposes a new design of wheel pair that provides prevention of derailment due to counter-flange and makes possible its operation in the presence of track switches and other structural elements of mine track (fig. 1).

Profile of new wheel pair incorporates the following feature – it has the counter-flange in addition to the main flange. Rolling surface is connected with the counter-flange by ease curve with curve radius in transfer points  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  and creates extra rolling profile. Overall width of the rim of wheel is increased due to rail width and free split (fig. 1). Extra-profile allows wheel to return to standard position at tread circle due to curved surface. The

height of counter-flange that is less relatively to wheel tread circle does not allow a wheel to contact track switch and other equipment of rail track [7].

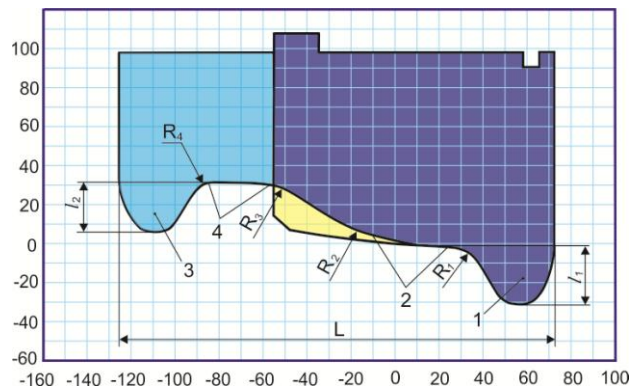


Fig. 1. Comparison of profiles of standard solid-rolled wheel and the proposed wheel:

■ + ■ – solid-rolled wheel profile (National State Standard 9036-76 );

■ + ■ – proposed wheel with counter-flange;

1 – inner solid-rolled flange of wheel;

2 – the main rolling profile; 3 – counter-flange;

$R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  – curve radius in transition sections of curved surface that connects counter-flange and the wheel; 4 – extra rolling profile.

In the case of emergency, when one wheel of the wheel pair rolls onto railhead by its inner flange, the other wheel contacts the outer side due to the counter-flange and creates a force that reacts against derailment. It is noteworthy that wheel rolling on extra-profile is emergency cycle of operation.

Researching the efficiency of derailment prevention due to the counter-flange is a task and content of present paper.

**Paper objective statement.** Creation of the wheel pair for mine vehicle that has the wheels that provides prevention of derailment due to counter-flange and substantiation of its efficiency on the base of mathematical and simulation modelling of interaction of wheel profile geometry, dynamics of contact interaction with the use of differential equations, elements of theoretical mechanics, analytical geometry, etc.

#### Presentation of main data for research.

Mathematical formulation of wheel-rail force interaction during movement is performed considering its changes in plan, i.e. in curved parts of track. This calculation is based on the model of wheel pair that has a counter flange to prevent derailment [8].

When calculating normal forces of wheel-rail interaction contacts areas are presented as points A and B (fig. 2).

A part of centrifugal force of inertia  $C_T$  acts on the bogie. This force depends on movement speed and directs from the side of exterior rail  $Y_l$  [9]:

$$C_T = 2m\Pi\left(\frac{v^2}{gR} - \frac{h}{2s}\right), \quad (1)$$

where  $h$  – raise of exterior rail, presented as  $h = 2sv^2/gR = 12,5v^2/R$ ;  
 $m$  – number of bogie axles;

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$  – acceleration of gravity (free falling);  
 $2s$  – distance between taping lines of wheel pair;  
 $v$  – movement speed;  
 $R$  – curve radius in curved part of track.

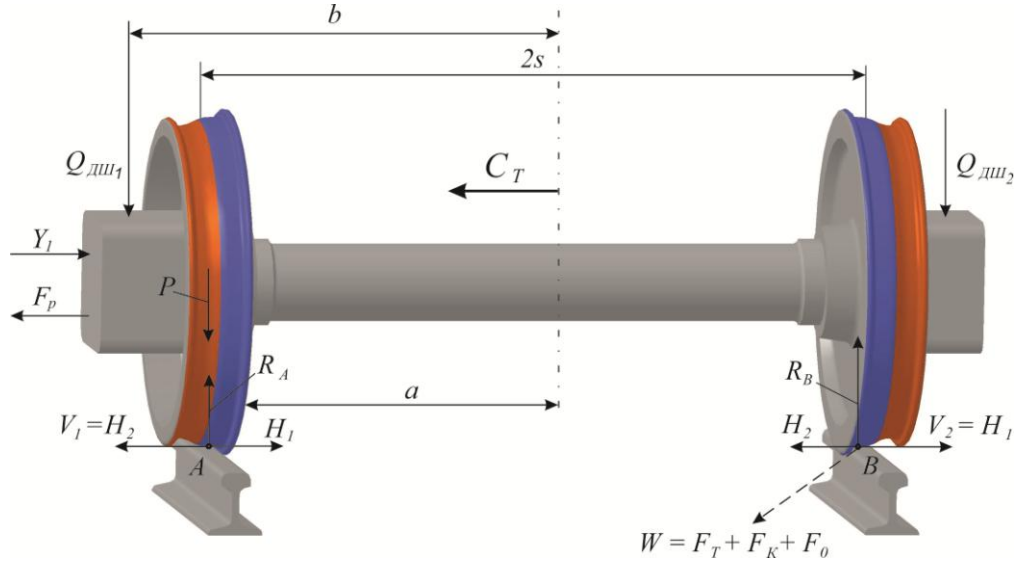


Fig. 2. Analytical model of wheel pair that has the wheels with counter-flange loaded with static and dynamic components of forces:

■ - main profile of the wheel; ■ - extra profile of the wheel;

$H_1$  – side pressure on the wheel that guides (overruns);  $H_2$  – component of frictional force [8].

$V_1, V_2$  – the forces generated when counter-flange contact.

Force of inertia can be represented as  $H_y$  [9]:

$$H_y = \frac{P_{\sigma p} v^2}{gR}, \quad (2)$$

where  $P_{\sigma p}$  – carriage shipping weight (kg)

$v$  – movement speed, m/s;

$R$  – radius of curve, m.

We will use the concept of outstanding acceleration instead of centrifugal force [9]:

$$a_{in} = \frac{v^2}{R} - \frac{h}{2s} g. \quad (3)$$

$a_{in} = 0,7 \text{ m/s}^2$  is considered as overload capacity.

Force of wheel compression on rail head is calculated according to the formula [8, p. 84]:

$$Y = A\left(4\kappa \frac{l_T}{R}\right) + BF_{TK} + C \frac{H_y}{2}, \quad (4)$$

where  $A, B, C$  are observed adjustment coefficients that take into account the impact of made assumptions;

$\kappa$  – creep coefficient (pseudo sliding)

$\kappa = (60 \div 80) \sqrt{Nr}$  ( $N$  – loading, normal pressure in contact point;  $r$  – wheel radius);

$l_T$  – half the distance between neighboring axles of wheel pairs;

$R$  – radius of curvature made from curve centre through the center of gravity of wheel pair to the outer rail;

$F_{TK} = N \cdot \mu$  – lateral friction force of wheel on rails (0.25) than can be changed according to weather and physico-chemical parameters of surface;

$N$  – vertical loading of wheel on rail).

Rail lateral pressure on the overrunning wheel  $H_1$  is presented as total forces  $Y_p, Y_i$  and  $H_2$  according to [9]:

$$H_1 = Y_p + Y_i + H_2, \quad (5)$$

where  $Y_p = k_h Q/2$  – frame lateral pressure on the wheel pair ( $k_h = 0,3 \div 0,6$  – coefficient of frame pressure that depends on dynamic parameters of carriage in horizontal plane, movement speed and track condition;  $Q$ , kgf, wheel pair static loading on the rail);

$Y_i = 2(1 - \delta) j_h \frac{Q}{2}$  – lateral force of inertia of wheel

pair and rigidly connected parts that happens when pass-

ing horizontal track inequalities ( $\delta = 0,65 \div 0,9$  – amortization coefficient in vertical plane;  $j_h$  – acceleration coefficient of wheel pair);

$H_2 = fQ/2$  – lateral component of friction force between inside wheel and the rail ( $f = 0,15 \div 0,25$  – friction coefficient between wheel and rail).

Under the condition of car balanced state vertical reaction force  $R_A$  of outer rail to the car wheel is [9]:

$$R_A = (1/2s)[Q(s - h_y\theta) + P_y h_y + P_\theta h_\theta - P_z h_a], \quad (6)$$

where  $Q$  – car weight;

$2s$  – distance between tapping lines of wheel pair;

$h_y, h_\theta, h_a$  – force points height above the level of rail heads, correspondingly  $P_y, P_\theta, P_z$ ;

$\theta$  – car inclination (rolling motion);

$P_y, P_\theta$  – centrifugal force ( $P_y = C_m$ ) and wind pressure force correspondingly;

$P_z = \psi_a N$  – horizontal cross component of force  $N$  (according to calculate norms  $N \leq 2,5 MN$ ) in connection ( $\psi_a = L_c/R$  – the angle between longitudinal axes of car body and adhesion at curve part of track in radius of  $R$ ).

Horizontal force of dynamic pressure of the wheel on rail head  $P_\theta$  and vertical force  $P_\theta$  are used to calculate pressure force of wheel on rail [9]:

$$P_\theta = 2Q_{cm} \left[ \frac{b - a_{1,2}}{l} (1 - \kappa_{\theta\delta}) \pm \frac{b}{l} \kappa_{\theta\delta\kappa} \right] \pm F_p \frac{r}{l} + q_{kn} \frac{b - a_{1,2}}{l}, \quad (7)$$

where  $Q_{cm}$  – static loading on neck of axle;

$q_{kn}$  – wheel pair weight ( $q_{kn} = m\kappa_{ng}$ );

$\kappa_{\theta\delta}$  – coefficient of dynamics due to vertical oscillations of car body:

$$\kappa_{\theta\delta} = \frac{Q_{\theta u1} + Q_{\theta u2}}{2Q_{cm}};$$

$\kappa_{\theta\delta\kappa}$  – coefficient of dynamics due to body rolling motion:

$$\kappa_{\theta\delta\kappa} = \frac{Q_{\theta u1} - Q_{\theta u2}}{2Q_{cm}};$$

$Q_{\theta u1}$  and  $Q_{\theta u2}$  – dynamic vertical force acting on the neck of axle;

$F_p$  – force acting from the frame;

$b$  – half of the distance between the axles of spring groupings of the car;

$a$  – distance between wheel flanges of wheel pair.

External friction force in contact zone presented as

$$W = F_T + F_\kappa + F_\theta,$$

where  $F_\theta$  – sliding frictional force  $F_\theta \leq Nf_{cu}$  ( $N$  – normal force acted at the wheel;  $f_{cu}$  – wheel-to-rail traction coefficient);

$F_T$  – dry friction force:  $F_T = \mu N$  ( $\mu$  – dry friction coefficient (0,25);  $N$  – normal pressure force in the point of rail-road contact);

$F_\kappa$  – friction force of wheel rolling along the rail

$F_\kappa = (G + G_\theta) \frac{2k}{D}$  ( $G$  and  $G_\theta$  – weight of cargo and carriage,  $D$  – wheel diameter on tread circle;  $k$  – friction coefficient of wheel rolling along the rail).

Numerical implementation and analysis above shows that providing stable movement of wheel that has a counter-flange requires taking into consideration interdependency of individual components of their force interaction in the design: friction coefficient in wheel-rail contact, angle of inclination of wheel flange, forces of wheels that roll onto and fall, car axleloads, weight of train, movement speed, sliding forces, temperature, specific pressure in wheel and rail rolling surface contact point [10]. Redistribution of forces due to applying counter-flanges that prevent crawling (sliding) of wheels on the rail head must be taken into consideration in addition to classical distribution of forces.

To check the efficiency of the wheels with additional counter-flange the authors have performed simulation modelling of movement of loaded tank-car along the right curved track of 300 m radius. To receive demonstrable data, the following assumptions have been chosen:

- length of curve – 400 m (100 m of in-coming curve + 200 m of circular curve + 100 m of elution curve);
- movement speed has been chosen higher than acceptable for such curves;
- rails without unevenness;
- distance between the outer side of rail and the additional flange  $\delta_H$  – 15 mm.

To analyze process of interaction of wheels that have counter-flange with the rails, the following oscillograms have been recorded during modelling:

- lateral assignment of the first in the direction of motion wheel pair;
- lateral forces of interaction of the first wheel pair and left rail;
- lateral forces of interaction of the first wheel pair and right rail.

Oscillograms of lateral assignment of the first wheel pair are illustrated at fig. 3.

Lines 1 illustrate the wheel without additional flange and lines 2 – the wheel with the additional flange.

Demonstrated results shows cross movement of wheel pair along the track. At first, the left wheel moving along the transition part at the beginning of curve ( $0 < X < 100$  m) comes close and presses to the outer rail. Then moving along circular curve ( $100 \text{ m} < X < 300$  m) left wheel is fully pressed to outer rail and keeps moving to the left, rolling onto the rail. Finally, when coming out of the curve ( $300 \text{ m} < X < 400$  m), the wheel gradually extends away from outer rail and returns inside the track. Modelling results prove the efficiency of applying the wheel pair with counter-flange. It improves carriage stability and

increases the resistance against derailment when passing curve parts of track.

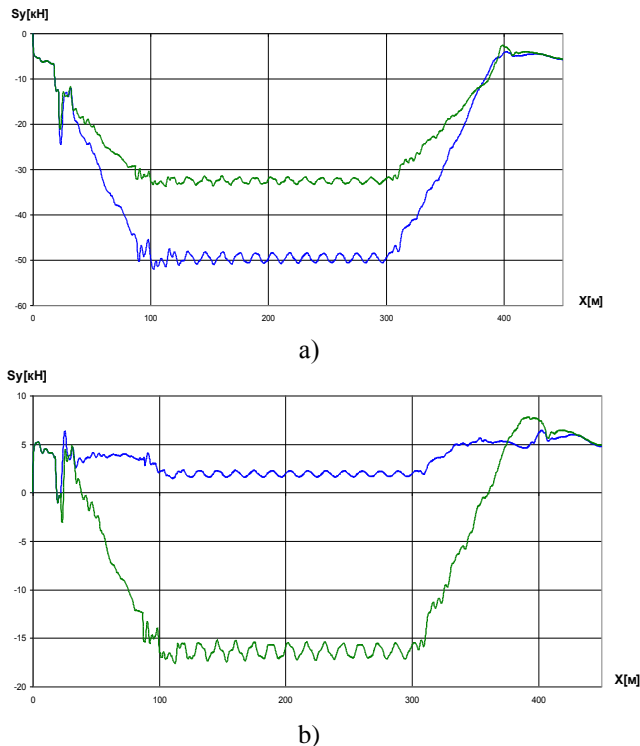


Fig. 3. Oscillograms of lateral forces of interaction of left (a) and right (b) wheel of the first wheel pair with left and right rail correspondingly.

### Conclusions and prospects for further development.

1. The authors have developed a wheel pair for mine transport that profile has the additional running track and counter-flange that provides the additional contact in a horizontal plane while lateral vibrations of wheel pair relatively to the track, provides the stability and increases the resistance against derailment when passing curved part of the track and in the case of spring deflection of the rail as a result of force interaction.

Design of wheel pair that has the additional counter-flange is covered by Ukrainian useful model patent.

2. Providing stable wheel movement on the rail requires taking into account interdependence of geometrical, frictional and dynamical parameters of wheel-rail interaction at the stage of design. It is necessary to take into consideration redistribution of forces due to presence of the wheels with counter-flange in addition to classic distribution of forces in wheel-rail contact zone.

3. The authors have found analytic dependencies for wheel pairs with the wheels that have counter-flange that characterizes influence of lateral forces on stability of movement under the conditions of counter-flange and rail contacting.

4. The efficiency of applying the wheel pair with counter-flange has been proved on the base of mathematical and simulation modelling of geometrical, frictional

and dynamical parameters of interaction of wheel pair that has the wheels with counter-flange. It increases stability and resistance to derailment when passing curved parts of the track.

5. Implementation of the proposed wheel pair that has counter-flange at mine transport and special-purpose rolling-stock will provide improving safety of movement and carriage integrity and will provide social and economic effect due to emergency decrease and decrease of disastrous consequences.

### References

1. Соколов О.Й. Безпека руху — передусім // Залізничний транспорт України. — 2007. — № 2. — С. 69 - 70.
2. Sokolov, O.I. (2007), "Road safety is first of all", *Railway transport of Ukraine*, no. 2, pp. 69-70.
3. Губар О.В. Дослідження безпеки руху вантажних вагонів у кривих ділянках колії малого радіусу [текст] / О.В. Губар, Н.В. Халіпова, В.В. Циганенко // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Митна політика та актуальні проблеми економічної та митної безпеки України на сучасному етапі» Д.: Вид-во Акад. митн. служби України, 2008. — С. 252 – 254.
4. Hubar, O.V., Khalipova, N.V. and Tsyhanenko, V.V. (2008), "Research safe freight car operation in short curve parts of track", *Proc. of the International scientific conference "Custom Policy and Current Problems of Economic and Custom Safety of Ukraine at the Present Stage"*, Academy of Custom Service of Ukraine, pp. 252 – 254.
5. Дьомін Ю.В. Динаміка порожнього вагона і безпека руху поїзда / Ю.В. Дьомін, Г.Ю. Черняк // Залізничний транспорт України. — 2007. — № 3. — С. 50 - 52.
6. Dyomin, Yu. V. and Chernyak, G. Yu. (2007), "Dynamics of the empty car and traffic safety", *Railway transport of Ukraine*, no. 3, pp. 50 - 52.
7. Губар О.В. Аналіз матеріалів розслідування сходів рухомого складу в кривих ділянках колії радіусом менше 350 м. [текст] / О.В. Губар, Н.В. Халіпова, Циганенко В.В., В.В. Рибкін // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. тр-ту ім. акад. В. Лазаряна, — 2008. — Вип. 24. — С. 94–99
8. Hubar, O.V., Khalipova, N.V., Tsyhanenko, V.V. and Rybkin, V.V. (2008), "Analysis of investigation files on derailments in curve parts of track in radius of less than 350 m", *Visnyk of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, no. 24, pp. 94 – 99.
9. Воронін С.В. Аналіз робіт з керування тертям та зчепленням в контакт «колесо-рейка» / С.В. Воронін, С.С. Карпенко, О.В. Волков, К.О. Бакін // Збірник наукових праць УкрДАЗ – Харків: УкрДАЗТ, 2013. — вип. 141. — С. 247 – 253.
10. Voronin, S.V., Karpenko, S.S., Volkov, O.V. and Bakin, K.O. (2013), "Analysis of works on controlling friction and adhesion in wheel-rail contact", *Proc. of Ukrai-*

nian State University of Railway Transport, no. 141, pp. 247 – 253.

6. Молчанов В.М. Ретроспективний аналіз методик оцінки стійкості проти накочування гребенів коліс на рейки. / В.М.Молчанов // Тези Міжнародної науково-практичної конференції ім. д.т.н. Сокола Е.М. «Безпека руху і наукові засади експертних досліджень транспортних пригод та інженерних споруд», ДНУЗТ ім. ак. В.Лазаряна. – 2015. – С. 76-78).

Molchanov V.M. (2015), “Post-event analysis of methods to evaluate resistance to wheel flange overruns the rail”, *Proc. of the International scientific conference named after Doctor of Engineering Sciences Sokol Ye. M.*, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, pp. 76 - 78

7. Деклараційний патент на корисну модель № 52359 Україна, МПК (2010) B60B3/00, B 60 17/00. Колесо рейкового транспортного засобу / Осенін Ю.І., Дегтярьова Л.М.; заявник і патентовласник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля.; заявл. 18.02.2010; опубл. 25.08.2010, Бюл. № 16.

Osenin, Yu.I. and Degtyareva, L.N. “Wheel of the rail vehicle”, Patent on the useful model no. 52359, MPK (2010) B60 B3/00, B60 17/00; patent owner Volodymyr Dahl East Ukrainian National University; Application 18.02.2010, Date of publishing 25.08.2010, Bull. 16, Ukraine.

8. Деклараційний патент на корисну модель №38720 Україна, МПК B61F19/00. Пристрій для запобігання сходу колісної пари з рейок / Осенін Ю.І., Дегтярьова Л.М.; заявник і патентовласник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля.; заявл. 26.05.2008; опубл. 12.01.2009, Бюл. № 1.

Osenin, Yu.I. and Degtyareva, L.N. “Device for rising preventing wheelset from the rails”, Patent on the useful model no. 38720, MPK (2009) B61F19/00; patent owner Volodymyr Dahl East Ukrainian National University; Application 26.05.2008, Date of publishing 12.01.2009, Bull. 1, Ukraine.

9. Дегтярева Л.М. Математическое описание силового взаимодействия колес и рельсов / Л.М. Дегтярева, С.В. Мямлин, Ю.И. Осенин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – вип. 28. – С. 21-25.

Degtyareva, L.M., Myamlin, S.V., Osenin, Yu.I. (2009), “Mathematical formulation of wheel-rail force interaction”, *Visnyk of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, no. 28, pp. 21 – 25.

10. Рубан В.Г., Матва А.М. Влияние изменения геометрии контактирующих поверхностей на условия взаимодействия колеса и рельса // Сб. науч. тр. РГУПС: Минеральные Воды, 2010. – Вып. 16. – С. 88 – 95.

Ruban, V.G. and Matva, A.M. (2010), “Impact of change of contacting surfaces geometry on conditions of wheel-rail interaction”, *Proc. of Rostov State Transport University*, no. 16, pp. 88 – 95.

**Цель.** Создание колесной пары, которая имеет колеса с защитой от схода с рельсового пути в виде контргребней и обоснование эффективности ее использования для подвижного состава горнорудного и шахтного транспорта.

**Методы.** Математическое и имитационное моделирование геометрических, фрикционных и динамических параметров контактного взаимодействия колеса с рельсом предложенной колесной пары с использованием дифференциальных уравнений, элементов теоретической механики, динамики механических систем, аналитической геометрии и т.д.

**Результаты.** Предложено научно-обоснованное техническое решение конструктивного исполнения колесной пары, которая имеет колеса с контргребнем, что соответствует существующим нормам по критериям вертикальной и горизонтальной динамики, а также показателям устойчивости движения. Результаты расчета коэффициентов динамики и поперечной устойчивости для колесной пары с колесами, имеющими контргребень, совпадают с расчетными данными для грузовых вагонов с цельнокатаными колесами в пределах 10-15% и не превышают нормативных значений.

Разработан усовершенствованный профиль железнодорожного колеса с контргребнем, что обеспечивает дополнительный контакт в горизонтальной плоскости при поперечных колебаниях колесной пары относительно рельсового пути и добавляет экипажу устойчивости и увеличивает силы сопротивления колес против схода с рельсов при прохождении криволинейных участков пути, а также при упругом отклонении рельсов в результате силового взаимодействия.

**Научная новизна.** Получила дальнейшее развитие методика создания рабочего профиля колес для специального подвижного состава, которая учитывает контргребень на поверхности качения. Впервые получены закономерности силового взаимодействия колесной пары с колесами с контргребнем и боковой грани головки рельса. Впервые получена зависимость, характеризующая влияние поперечных сил при вписывании экипажа в кривые при контакте колеса с контргребнем с рельсом.

**Практическая значимость.** Разработана колесная пара для подвижного состава горнорудного и шахтного транспорта, профиль которой характеризуется наличием дополнительной дорожки качения и контргребень, что обеспечивает противодействие схода колесной пары с рельсов в то время, когда основной гребень колеса вкатывается на рабочую поверхность рельса или имеет место распор пути в результате упругой деформации рельсов. Предложенная конструкция колесной пары защищена патентами Украины на полезную модель.

**Ключевые слова:** колесная пара, контргребень, сход с рельсов, гребень колеса, рельсовый путь.

**Мета.** Створення колісної пари, що має колеса з захистом від сходу з рейкової колії у вигляді контргребенів та обґрунтування ефективності її використання для рухомого складу гірничорудного і шахтного транспорту.

**Методи.** Математичне та імітаційне моделювання геометричних, фрикційних та динамічних параметрів контактної взаємодії колеса з рейкою запропонованої колісної пари з використанням диференціальних рівнянь, елементів теоретичної механіки, динаміки механічних систем, аналітичної геометрії тощо.

**Результати.** Запропоновано науково-обґрунтоване технічне рішення конструктивного виконання колісної пари, яка має колеса з контргребенем, що відповідає існуючим нормам за критеріями вертикальної та горизонтальної динаміки, а також показникам стійкості руху. Результати розрахунку коефіцієнтів динаміки та поперечної стійкості для колісної пари з колесами, що мають контргребінь, збігаються з розрахунковими даними для вантажних вагонів із суцільнокатаними колесами в межах 10-15% і не перевищують нормативних значень.

Розроблено удосконалений профіль залізничного колеса з контргребенем, що забезпечує додатковий контакт у горизонтальній площині при поперечних коливаннях колісної пари відносно рейкової колії та додає екіпажу стійкості і збільшує сили опору коліс проти сходу з рейок при проходженні криволінійних ділянок колії, а також при пружньому відхиленні рейок в результаті силової взаємодії.

**Наукова новизна.** Отримала подальший розвиток методика створення робочого профілю коліс для спеціального рухомого складу, яка враховує контргребінь на поверхні кочення. Вперше отримано закономірності силової взаємодії колісної пари з колесами з контргребенем та бічної грані головки рейки. Вперше отримано залежність, яка характеризує вплив поперечних сил при вписуванні екіпажу в криві при контакті колеса з контргребенем з рейкою.

**Практична значимість** Розроблено колісну пару для рухомого складу гірничорудного і шахтного транспорту, профіль якої характеризується наявністю додаткової доріжки кочення та контргребеня, що забезпечує протидію сходу колісної пари з рейок в той час, коли основний гребінь колеса вкочується на робочу поверхню рейки або має місце розпір колії в результаті пружної деформації рейок.

**Ключові слова:** колісна пара, контргребінь, схід з рейок, гребінь колеса, рейкова колія.

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук  
С. К. Рамазанов. Дата надходження рукопису ....*