

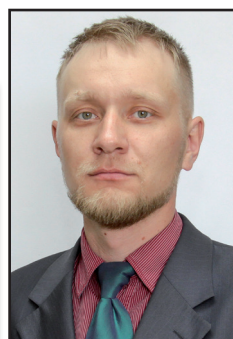


# Эксперимент с проскальзыванием колёсных пар локомотива



Пётр НОВОСЕЛЬЦЕВ  
Petr V. NOVOSELTSEV

Анна ГОРДЕЕВА  
Anna A. GORDEEVA



Юрий КУПЦОВ  
Yuri A. KUPTSOV

*Новосельцев Пётр Викторович* – кандидат технических наук, доцент Улан-Удэнского института железнодорожного транспорта (филиал ИрГУПС), Улан-Удэ, Россия.  
*Гордеева Анна Александровна* – аспирант УУИЖТ (филиал ИрГУПС), Улан-Удэ, Россия.  
*Купцов Юрий Алексеевич* – ст. преподаватель УУИЖТ (филиал ИрГУПС), Улан-Удэ, Россия.

**Experiment with Sliding of Locomotive Wheel Sets**  
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 108)

**Экспериментальные исследования, представленные в статье, выявили, что возникающая в процессе ведения по рельсам железнодорожного состава неравномерность движения отдельных его частей приводит к появлению толчков, которые могут стать причиной проскальзывания. Особенностью предлагаемого способа контроля ситуации является то, что определяется абсолютное движение локомотива по отношению к неподвижной системе, устанавливается его скорость, по изменению которой вычисляется проскальзывание, поскольку как раз уменьшение скорости при движении в режиме тяги указывает на возникновение отклонений.**

**Ключевые слова:** железная дорога, локомотив, колесо, рельс, касательная сила тяги, скорость, ускорение, сила инерции, сила сопротивления, скорость проскальзывания абсолютная и относительная.

Среди работ, посвященных исследованию проскальзывания колесных пар, одна из наиболее известных принадлежит Н. Н. Меншутину [1]. В ней описаны масштабные эксперименты, проведенные в реальных условиях эксплуатации локомотива в конце 1950-х годов. И тогда было установлено, что относительная скорость проскальзывания, равная 1,5–2 %, соответствует максимуму по сцеплению и не зависит от скорости движения локомотива. Особенностью тех экспериментов стало то, что скорость проскальзывания определялась на основе сравнения скоростей движения двух колесных пар, одна из которых была нагружена тяговым моментом, а у другой тяговый двигатель был выключен.

В целом ряде исследований рассматриваются самые разные вопросы теории и практики сцепления и проскальзывания [2, 3]. В работе [4] утверждается, что скорость проскальзывания колесной пары существенно зависит от технического состояния рельсового пути, в частности его продольной жёсткости.

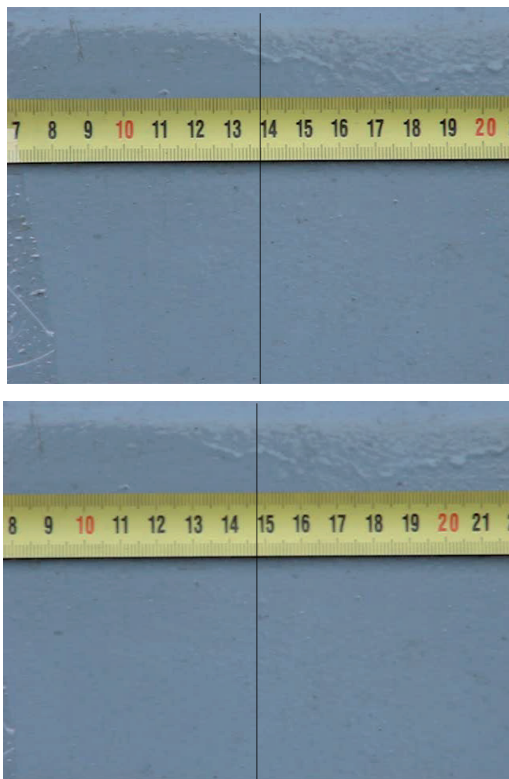


Рис. 1. Снимки положения локомотива через 0,25 с.

В нашем случае предлагается способ исследования проскальзывания колесных пар локомотива, состоящий в следующем:

- экспериментально определяется закон абсолютного движения локомотива относительно неподвижной системы координат:

$$S' = f_1(t), \quad (1)$$

где  $S'$  – перемещение локомотива, м;

- затем, на основе этой зависимости (1), фиксируется скорость локомотива (м/с):

$$V' = \frac{dS'}{dt} = f_2(t); \quad (2)$$

- далее определяется ускорение локомотива как величина изменения скорости (м/с<sup>2</sup>):

$$a' = \frac{dV'}{dt} = f_3(t); \quad (3)$$

- выявляются участки, на которых ускорение отрицательное (то есть возникает проскальзывание).

Ниже приводится пример исследования проскальзывания, выполненного на путях станции Улан-Удэ на прямом горизонтальном участке при температуре +8°C в сухую погоду. Испытанию подвергался грузовой состав массой 4370 тонн с локомотивом ВЛ-80<sup>Р</sup> при трогании с места.

Работа выполнялась в заданной последовательности:

- на корпусах локомотива и первого вагона были укреплены мерные ленты с ценой деления 1 мм (рис. 1);

- против них, на неподвижных опорах, были укреплены две цифровые камеры;

- по звуковому сигналу машиниста на отправление цифровые камеры были включены и выполнена цифровая запись перемещений локомотива и первого вагона (на рис. 1 представлены два снимка мерной ленты через промежуток времени 0,25 с).

Таким образом, путь, пройденный локомотивом за это времени:

$$\Delta S' = 147,5 - 138,2 = 9,3 \text{ мм} = 0,0093 \text{ м.}$$

Средняя скорость локомотива в этом промежутке времени:

$$V' = \frac{\Delta S'}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta S'}{\Delta t} = \frac{0,0093}{0,25} = 0,0372 \text{ м/с.}$$

Просматривая покадрово видеозапись, производим считывание основных параметров:

- время  $t_i$  данного кадра;

- соответствующую кадру координату

$S'_i$  положения локомотива и координату

$S''_i$  положения первого вагона;



Время	Перемещение локомотива	Перемещение вагона	Разница перемещений локомотива и вагона	Скорость локомотива	Скорость вагона	Ускорение локомотива	Ускорение вагона
t, (сек)	$S_i'$ , (м)	$S_i''$ , (м)	$S_i' - S_i''$ , (м)	$V_i'$ , (м/с)	$V_i''$ , (м/с)	$a_i'$ , (м/с <sup>2</sup> )	$a_i''$ , (м/с <sup>2</sup> )
1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	0	0,004	0	0	0
0,25	0,001	0	0,001	0,008	0,004	0,016	0,016
0,5	0,003	0,001	0,002	0,018	0,004	0,04	0
0,75	0,0075	0,002	0,0055	0,028	0,004	0,04	0
1	0,0145	0,003	0,0115	0,028	0,008	-5,6E-17	0,016
1,25	0,0215	0,005	0,0165	0,016	0,016	-0,048	0,032
1,5	0,0255	0,009	0,0165	0,026	0,024	0,04	0,032
1,75	0,032	0,015	0,017	0,022	0,028	-0,016	0,016
2	0,0375	0,022	0,0155	0,03	0,02	0,032	-0,032
2,25	0,045	0,027	0,018	0,056	0,024	0,104	0,016
2,5	0,059	0,033	0,026	0,08	0,028	0,096	0,016
2,75	0,079	0,04	0,039	0,096	0,032	0,064	0,016
3	0,103	0,048	0,055	0,128	0,068	0,128	0,144
3,25	0,135	0,065	0,07	0,14	0,08	0,048	0,048
3,5	0,17	0,085	0,085	0,132	0,12	-0,032	0,16
3,75	0,203	0,115	0,088	0,12	0,136	-0,048	0,064
4	0,233	0,149	0,084	0,116	0,136	-0,016	2,22E-16
4,25	0,262	0,183	0,079	0,096	0,14	-0,08	0,016
4,5	0,286	0,218	0,068	0,1	0,112	0,016	-0,112
4,75	0,311	0,246	0,065	0,104	0,112	0,016	4,44E-16
5	0,337	0,274	0,063	0,116	0,108	0,048	-0,016

- время  $t_{i+1}$  следующего кадра;
- соответствующую кадру координату

$S_{i+1}'$  положения локомотива и координату

$S_{i+1}''$  положения первого вагона.

Далее вычисляем среднюю скорость локомотива и вагона в промежутке времени от  $t_i$  до  $t_{i+1}$ :

$$V_i' = \frac{S_{i+1}' - S_i'}{\Delta t},$$

$$V_i'' = \frac{S_{i+1}'' - S_i''}{\Delta t}. \tag{4}$$

Затем считываем с видеозаписи координаты локомотива  $S_{i+2}'$  и вагона  $S_{i+2}''$  в момент времени  $t_{i+2}$ .

После этого вычисляем среднюю скорость локомотива и вагона в промежутке времени от  $t_{i+1}$  до  $t_{i+2}$ :

$$V_{i+1}' = \frac{S_{i+2}' - S_{i+1}'}{\Delta t}, \tag{5}$$

$$V_{i+1}'' = \frac{S_{i+2}'' - S_{i+1}''}{\Delta t}.$$

Находим ускорение локомотива и вагона на этом интервале времени:

$$a_{i+1}' = \frac{V_{i+1}' - V_i'}{\Delta t},$$

$$a_{i+1}'' = \frac{V_{i+1}'' - V_i''}{\Delta t}. \tag{6}$$

Производим вычисления в программе Excel и результаты сводим в таблицу 1.

При сравнении предыдущей и последующих скоростей локомотива  $V_i'$  и  $V_{i+1}'$  возможны варианты.

1-й вариант:  $V_i' > V_{i+1}'$ .

В этом случае ускорение локомотива направлено в сторону движения, а сила инерции противоположна ему. На основании принципа Даламбера имеем:

$$F_k - R - F = 0, \quad (7)$$

где  $F_k$  – касательная сила тяги;  $R$  – сила сопротивления;  $F$  – сила инерции.

Преобразуем уравнение (7):

$$F_k - R = F.$$

Вывод: локомотив движется с ускорением в нормальном режиме тяги.

$$2\text{-й вариант: } V_i' < V_{i+1}'.$$

Здесь ускорение локомотива,

$$a' = -\frac{V_{i+1}' - V_i'}{\Delta t},$$

будет отрицательным и направлено противоположно направлению движения. Сила инерции в этом случае совпадает с направлением движения. Основываясь на принципе Даламбера, получим:

$$F_k - R + F = 0; \quad (8)$$

$$F_k - R = -F. \quad (9)$$

Значит, касательная сила тяги меньше силы сопротивления движению. Равенство (8) может быть удовлетворено, когда:

- уменьшается касательная сила тяги  $F_k$ , то есть происходит проскальзывание;
- увеличивается сила сопротивления движению  $R$ .

Предположим, что сила  $F_k$  не изменилась. Тогда сила сопротивления будет  $R = F_k + F$ . Это маловероятно. Остаётся предположить, что уменьшилась касательная сила тяги и возникло проскальзывание.

Анализируя результаты таблицы 1, можно сделать следующие выводы:

1. Если ускорения локомотива и первого вагона положительны (в таблице при  $t = 3,25$  с), то они движутся в нормальном режиме тяги. В этом случае касательная сила тяги  $F_k = R + F$ . Сила инерции состава становится частью силы  $R$  сопротивления его движению. Проскальзывания нет.

2. Если ускорение локомотива отрицательно, а ускорение первого вагона положительно (например, при  $t = 3,5$  с), то касательная сила тяги  $F_k = R - F$ . При этом

сила сопротивления увеличивается за счёт силы инерции состава, касательная сила тяги уменьшается за счёт проскальзывания, а абсолютная величина скорости проскальзывания предстанет как

$$V_c = V'_{3,25} - V'_{3,5} = 0,140 - 0,132 = 0,012 \text{ м/с.}$$

Необходимо отметить, что  $V_c$  есть некоторая усредненная скорость проскальзывания всех колесных пар локомотива, величина в определенной степени условная, однако весьма значимая для практики ведения поезда.

Относительную скорость проскальзывания ориентировочно можно принять равной:

$$v_c = \frac{V_c}{V_i'} = \frac{0,012}{0,14} \cdot 100 \% = 8,57 \%.$$

И есть смысл вспомнить: в работе [1] указывалось, что при малых скоростях относительная скорость проскальзывания более 2 %.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый способ позволяет с достаточной точностью определять абсолютную и относительную скорости проскальзывания колесных пар локомотива и на его основе разработать устройство для автоматического предотвращения боксования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Меншутин Н. Н. Исследование скольжения колесной пары электровоза для реализации силы тяги в эксплуатационных условиях // Труды ВНИИЖТ – 1960. – Вып. 188. – С. 113–132.
2. Минов Д. К. Теория процесса реализации сил сцепления при электрической тяге и способы повышения их использования // Проблемы повышения эффективности работы транспорта. Вып. 1. – М.: АН СССР, 1953. – С. 7–129.
3. Казаринов А. В. Измерение эксплуатационного уровня смещения колес с рельсами в тормозных режимах на грузонапряженных участках Сибири и Забайкалья // Вестник НИИЖТ – 2010. – № 3. – С. 14–20.
4. Новосельцев В. П., Новосельцев П. В., Гордеева А. А. Влияние продольной жесткости пути на проскальзывание колесной пары локомотива по рельсу // Мир транспорта. – 2013. – № 4. – С. 34–38.
5. Купцов Ю. А., Новосельцев П. В. Исследование взаимодействия грузового железнодорожного состава и локомотива на основе натуральных экспериментов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2009. – № 2. – С. 77–81. ●

Координаты авторов: **Новосельцев П. В.** – nov-pv@mail.ru, **Гордеева А. А.** – uuf.vpo@mail.ru, **Купцов Ю. А.** – yourakupcov@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 06.12.2016, принята к публикации 22.03.2017.



## EXPERIMENT WITH SLIDING OF LOCOMOTIVE WHEEL SETS

**Novoseltsev, Petr V.**, Ulan-Ude Institute of Railway Transport, a branch of Irkutsk State University of Railway Engineering, Ulan-Ude, Russia.

**Gordeeva, Anna A.**, Ulan-Ude Institute of Railway Transport, a branch of Irkutsk State University of Railway Engineering, Ulan-Ude, Russia.

**Kuptsov, Yuri A.**, Ulan-Ude Institute of Railway Transport, a branch of Irkutsk State University of Railway Engineering, Ulan-Ude, Russia.

### ABSTRACT

Experimental studies presented in the article have revealed that the unevenness of movement of the individual parts of the train during its driving along the rails leads to appearance of shocks that could cause sliding. The peculiarity of the proposed

method of controlling the situation is that the absolute motion of the locomotive with respect to the fixed system is determined, its speed is set, according to the change of which sliding is calculated, since just decrease in speed when driving in traction mode indicates the occurrence of deviations.

**Keywords:** railway, locomotive, wheel, rail, tangential traction force, speed, acceleration, inertia force, drag force, absolute and relative sliding speed.

**Background.** Among the works devoted to the study of sliding of wheel sets, one of the most famous belongs to N. N. Menshutin [1]. It describes the scale experiments conducted in the real operating conditions of the locomotive in the late 1950s. And then it was found that the relative sliding rate, equal to 1,5–2 %, corresponds to the maximum in adhesion and does not depend on speed of the locomotive. The peculiarity of those experiments was that the sliding speed was determined on the basis of a comparison of speeds of two wheel sets, one of which was loaded by the traction moment, while the other had a traction motor switched off.

In a number of studies, various problems of the theory and practice of adhesion and sliding are considered [2, 3]. In work [4] it is asserted that the speed of sliding of a wheel set depends essentially on the technical condition of the track, in particular its longitudinal stiffness.

**Objective.** The objective of the authors is to consider sliding of locomotive wheel sets on the experimental basis.

**Methods.** The authors use general scientific and engineering methods, experiment, mathematical apparatus, comparative analysis.

**Results.** In our case, we propose a method for studying the sliding of wheel sets of a locomotive, consisting of the following:

- the law of the absolute motion of a locomotive relative to a fixed coordinate system is determined experimentally:

$$S' = f_1(t), \quad (1)$$

where  $S'$  is displacement of a locomotive, m;

- then, based on this dependence (1), locomotive speed (m/s) is fixed:

$$V' = \frac{dS'}{dt} = f_2(t); \quad (2)$$

- further, acceleration of a locomotive is determined as a magnitude of change in speed ( $m/s^2$ ):

$$a' = \frac{dV'}{dt} = f_3(t); \quad (3)$$

- areas are identified on which acceleration is negative (that is, sliding occurs).

Below is an example of a study of sliding performed on Ulan-Ude station tracks in a straight horizontal section at a temperature of +8°C in dry weather. The freight train was tested with a mass of 4370 tons with the locomotive VL-80<sup>n</sup> while starting.

The work was carried out in the following sequence:

- on the bodies of the locomotive and the first car, measuring tapes with sensitivity of 1 mm were fixed (Pic. 1);

- against them, on fixed supports, two digital cameras were fixed;

- according to the sound signal of the driver for departure, digital cameras were switched on and digital recording of movement of the locomotive and the first car (Pic. 1 shows two photographs of the measuring tape after a time interval of 0,25 s).

Thus, the distance covered by the locomotive over this time:

$$\Delta S' = 147,5 - 138,2 = 9,3 \text{ mm} = 0,0093 \text{ m}.$$

Average speed of the locomotive in this time interval:

$$V' = \frac{\Delta S'}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta S'}{\Delta t} = \frac{0,0093}{0,25} = 0,0372 \text{ m/s}.$$

Looking through the frame-by-frame video recording, we make reading of the main parameters:

- time  $t_i$  of this frame;

- the corresponding coordinate  $S'_i$  of the position

of the locomotive and the coordinate  $S''_i$  of the position of the first car;

- time  $t_{i+1}$  of the next frame;

- the corresponding coordinate  $S'_{i+1}$  of the

position of the locomotive and the coordinate  $S''_{i+1}$  of the position of the first car.

Next, we calculate average speed of the locomotive and the car in the time interval from  $t_i$  to  $t_{i+1}$ :

$$V'_{i'} = \frac{S'_{i+1} - S'_i}{\Delta t}, \quad (4)$$

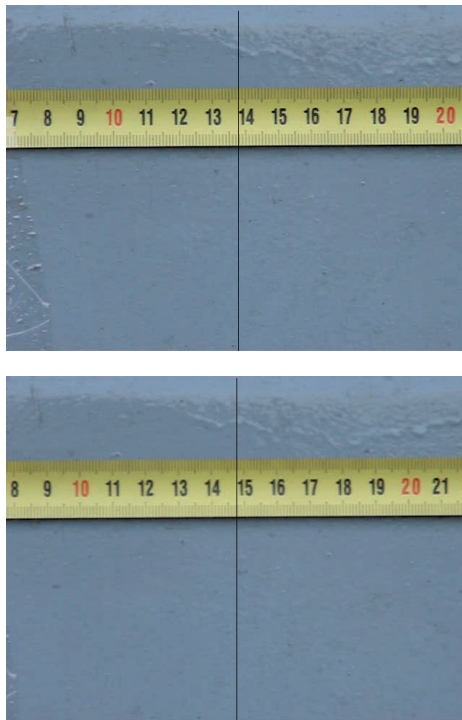
$$V''_{i''} = \frac{S''_{i+1} - S''_i}{\Delta t}.$$

Then we read from the video recording the coordinates of the locomotive  $S'_{i+2}$  and the car  $S''_{i+2}$  at time  $t_{i+2}$ .

After that we calculate average speed of the locomotive and the car in the time interval from  $t_{i+1}$  to  $t_{i+2}$ :

$$V'_{i+1'} = \frac{S'_{i+2} - S'_{i+1}}{\Delta t}, \quad (5)$$

$$V''_{i+1''} = \frac{S''_{i+2} - S''_{i+1}}{\Delta t}.$$



**Pic. 1. Photographs of locomotive position in 0,25 s.**

We find acceleration of the locomotive and the car in this time interval:

$$a'_{i+1} = \frac{V'_{i+1} - V'_i}{\Delta t},$$

$$a''_{i+1} = \frac{V''_{i+1} - V''_i}{\Delta t}. \quad (6)$$

We perform calculations in Excel and summarize the results in Table 1.

When comparing the previous and subsequent speeds of the locomotive  $V'_i$  and  $V'_{i+1}$  the following options are possible.

1<sup>st</sup> option:  $V'_i > V'_{i+1}$ .

In this case, acceleration of the locomotive is directed towards movement, and inertia force is opposite to it. Based on the d'Alembert principle, we have:

$$F_k - R - F = 0 \quad (7)$$

where  $F_k$  is tangential traction force;  $R$  is resistance force;  $F$  is inertia force.

We transform the equation (7):

$$F_k - R = F.$$

Conclusion: the locomotive moves with acceleration in the normal traction mode.

2<sup>nd</sup> option:  $V'_i < V'_{i+1}$ .

Here acceleration of the locomotive,

$$a' = -\frac{V'_{i+1} - V'_i}{\Delta t},$$

will be negative and directed opposite to the direction of motion. The inertia force in this case coincides with the direction of motion. Based on the principle of d'Alembert, we get:

$$F_k - R + F = 0; \quad (8)$$

$$F_k - R = -F. \quad (9)$$

Hence, tangential traction force is less than resistance to motion. The equation (8) can be satisfied when:

– tangential traction force decreases  $F_k$ , i.e. sliding occurs;

– resistance to motion  $R$  increases.

Suppose that the force  $F_k$  has not changed. Then the resistance force will be  $R = F_k + F$ . This is unlikely, therefore it remains to assume that the tangential traction force has decreased and sliding has occurred.

Analyzing the results of Table 1, we can draw the following conclusions:

1. If acceleration of the locomotive and the first car are positive (in the table at  $t = 3,25$  s), then they move in normal traction mode. In this case, the tangential traction force  $F_k = R + F$ . The inertia force of the train becomes part of the force  $R$  of resistance to its motion. There is no sliding.

2. If acceleration of the locomotive is negative, and acceleration of the first car is positive (for example, at  $t = 3,5$  s), then the tangential traction force  $F_k = R - F$ . In this case, the resistance force increases due to the inertia force of the train, tangential traction force decreases due to sliding, and the absolute value of sliding speed appears as

$$V_c = V'_{3,25} - V'_{3,5} = 0,140 - 0,132 = 0,012 \text{ m/s}.$$

It should be noted that  $V_c$  is some average speed of sliding of all locomotive wheel sets, a value to some extent conditional, but very significant for the practice of conducting the train.

The relative speed of sliding can roughly be taken as:

$$v_c = \frac{V_c}{V'_i} = \frac{0,012}{0,14} \cdot 100\% = 8,57\%.$$

And it makes sense to recall: in [1] it was pointed out that at low speeds the relative sliding speed is more than 2%.

**Conclusion.** The proposed method makes it possible to determine with absolute accuracy the absolute and relative rates of sliding of wheel sets of



Table 1

Time	Locomotive movement	Car movement	Difference in movements of locomotive and car	Locomotive speed	Car speed	Locomotive acceleration	Car acceleration
t, (sec)	$S_l'$ , (m)	$S_c''$ , (m)	$S_l' - S_c''$ , (m)	$V_l'$ , (m/s)	$V_c''$ , (m/s)	$a_l'$ , (m/s <sup>2</sup> )	$a_c''$ , (m/s <sup>2</sup> )
1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	0	0,004	0	0	0
0,25	0,001	0	0,001	0,008	0,004	0,016	0,016
0,5	0,003	0,001	0,002	0,018	0,004	0,04	0
0,75	0,0075	0,002	0,0055	0,028	0,004	0,04	0
1	0,0145	0,003	0,0115	0,028	0,008	-5,6E-17	0,016
1,25	0,0215	0,005	0,0165	0,016	0,016	-0,048	0,032
1,5	0,0255	0,009	0,0165	0,026	0,024	0,04	0,032
1,75	0,032	0,015	0,017	0,022	0,028	-0,016	0,016
2	0,0375	0,022	0,0155	0,03	0,02	0,032	-0,032
2,25	0,045	0,027	0,018	0,056	0,024	0,104	0,016
2,5	0,059	0,033	0,026	0,08	0,028	0,096	0,016
2,75	0,079	0,04	0,039	0,096	0,032	0,064	0,016
3	0,103	0,048	0,055	0,128	0,068	0,128	0,144
3,25	0,135	0,065	0,07	0,14	0,08	0,048	0,048
3,5	0,17	0,085	0,085	0,132	0,12	-0,032	0,16
3,75	0,203	0,115	0,088	0,12	0,136	-0,048	0,064
4	0,233	0,149	0,084	0,116	0,136	-0,016	2,22E-16
4,25	0,262	0,183	0,079	0,096	0,14	-0,08	0,016
4,5	0,286	0,218	0,068	0,1	0,112	0,016	-0,112
4,75	0,311	0,246	0,065	0,104	0,112	0,016	4,44E-16
5	0,337	0,274	0,063	0,116	0,108	0,048	-0,016

the locomotive and on its basis to develop a device for automatic prevention of sliding.

## REFERENCES

1. Menshutina, N. N. Research of sliding of a wheel set of an electric locomotive for realization of traction force under operating conditions [*Issledovanie skol'zhenija kolesnoj pary elektrovoza dlja realizacii sily tjagi v eksploatacionnyh uslovijah*]. *Trudy VNIIZhT*, 1960, Iss. 188, pp. 113–130.

2. Minov, D. K. Theory of process of realization of adhesion forces in electric traction, and ways to increase their use. Problems of increasing the efficiency of transport [*Teorija processa realizacii sil scepnenija pri elektricheskoj tjage i sposoby povyshenija ih ispol'zovanija. Problemy povyshenija effektivnosti raboty transporta*]. Iss. 1. Moscow, Academy of Sciences of the USSR, 1953, p. 7–129.

3. Kazarinov, A. V. Measurement of the operational level of displacement of wheels with rails in braking modes on freight-stressed sections of Siberia and Zabaikalie [*Izmerenie eksploatacionnogo urovnja smeshhenija koles rel'sami v tormoznyh rezhimah na gruzonaprjazhennyh uchastkah Sibiri i Zabajkal'ja*]. *Vestnik NIIZhT*, 2010, Iss. 3, pp. 14–20.

4. Novoseltsev, V. P., Novoseltsev, P. V., Gordeeva, A. A. Impact of longitudinal stiffness of rail track on the sliding of locomotive wheel pair. *World of Transport and Transportation*, Vol. 11, 2013, Iss. 4, pp. 34–38.

5. Kuptsov, Yu. A., Novoseltsev, P. V. Research of interaction of freight train and locomotive on the basis of full-scale experiments [*Issledovanie vzaimodejstvija gruzovogo zheleznodorozhnogo sostava i lokomotiva na osnove naturnyh eksperimentov*]. *Sovremennye tehnologii. Sistemy analiz. Modelirovanie*, 2009, Iss. 2, pp. 77–81. ●

Information about the authors:

**Novoseltsev, Petr V.** – Ph.D. (Eng), associate professor of Ulan-Ude Institute of Railway Transport, a branch of Irkutsk State University of Railway Engineering, Ulan-Ude, Russia, nov-pv@mail.ru.

**Gordeeva, Anna A.** – Ph.D. student of Ulan-Ude Institute of Railway Transport, a branch of Irkutsk State University of Railway Engineering, Ulan-Ude, Russia, uuf.vpo@mail.ru.

**Kuptsov, Yuri A.** – senior lecturer of Ulan-Ude Institute of Railway Transport, a branch of Irkutsk State University of Railway Engineering, Ulan-Ude, Russia, yourakupcov@mail.ru.

Article received 06.12.2016, accepted 22.03.2017.