



# 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.

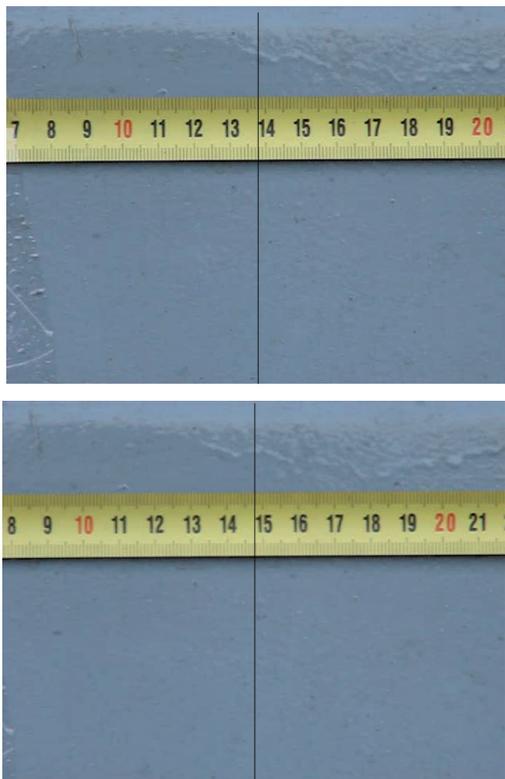


Рис. 1. Снимки положения локомотива через 0,25 с.

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°С 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-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 электровагона 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.

