УДК 629.423.2:592.52

Александр Сафронов, к.т.н.

(директор Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения» ГП «УкрНИИВ»).

ТОРМОЗНЫЕ ПУТИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ЭКР1 ПРИ СКОРОСТИ 200 КМ/Ч И НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ ТОРМОЖЕНИЯ

Представлены результаты исследования тормозной эффективности электропоезда при низком коэффициенте сцепления колеса с рельсом (юзовая ситуация) в диапазоне скоростей в начале торможения (40-200) км/ч. Исследования выполнены с применением математического и компьютерного моделирования. Результаты показали, что тормозной путь электропоезда при скорости 200 км/ч и непрерывном срабатывании противоюзного устройства в течении 37,4 с (44 % от общего времени торможения) и юзовой ситуации на 50 % колесных парах составил 1933 м, что меньше нормативного значения 1940 м. Приведены диаграммы и характеристики тормозного процесса при торможении в диапазоне скоростей (40-200) км/ч в условиях срабатывания противоюзного устройства.

Ключевые слова. *Электропоезд, юз, скорость, тормозной путь, удельная тормозная сила, противоюзное устройство.*

Вступление. Тормоза скоростного подвижного состава характеризуются высокой эффективностью действия с максимальным использованием при торможении силы сцепления колеса с рельсом, которая с ростом скорости движения, несколько снижается. Повышение тормозной эффективности пассажирских вагонов увеличивает вероятность появления юза[1] (заклинивания колесных пар) при торможении, поэтому для устранения предотвращения полной блокировки (заклинивания) колесных пар на вагоне используется противоюзное устройство с микропроцессорными блоками-анализаторами, безконтактными импульсными сенсорными датчиками и регулятором давления[2].

Противоюзное устройство отслеживает линейную скорость вагона и линейную скорость вращения каждой колесной пары. При входе колесной пары в юзовую ситуацию, линейная скорость вращения колесной пары уменьшается, при этом анализатор дает команду электромагнитному клапану для быстрого выпуска воздуха из тормозного цилиндра в атмосферу[3], в результате линейная скорость вращения колеса увеличивается и при достижении скорости равной скорости движения вагона происходит наполнение тормозного цилиндра сжатым воздухом до первоначального давления (рис. 1).

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-19

Анализ диаграмм изменения давлений показывает:

- 1 Время снижения давления в тормозном цилиндре от 4,15 кг/см² до 0 составляет 0,95 с;
- 2 Время наполнения тормозного цилиндра от 0 до первоначального (4,15 кг/см²) составляет 0,6 с;
- 3 Время от начала снижения давления в тормозном цилиндре до восстановления его до номинального составляет 2,75 с;
- 4 Порционное снижение давления в питательном резервуаре составляет в среднем 0,1 кг/см²;
- 5 Давление в главной тормозной магистрали и уравнительном резервуаре остаются постоянными;

Рис. 1. Изменение давления в тормозном цилиндре вагона при срабатывании противоюзного устройства

Основное требование к противоюзному устройству состоит в надежном функционировании в диапазоне скоростей движения вагона от 10 км/ч до 200 км/ч и выше[4], в том числе при использовании дополнительных тормозов, принцип действия которых не зависит от сцепления колеса с рельсом, при этом скорость скольжения колесных пар по рельсам не должно превышать 10-15 % от линейной скорости движения вагона. Снижение давления в тормозных цилиндрах обуславливает снижение удельной тормозной силы и, следовательно, увеличение тормозного пути пассажирского поезда[5-7]. В этой связи, в одну из актуальных выдвигаются задачи определения тормозного пути пассажирского поезда в условиях низкого коэффициента сцепления колеса с рельсом, сопровождаемое срабатыванием противоюзного устройства. Следует отметить, что нормы Евросоюза устанавливают для высокоскоростного подвижного состава тормозные расстояния как при благоприятных, так и при неблагоприятных погодных условиях при входе в юз колесных пар и срабатывании противоюзных устройств (табл. 1).

Таблиця 1. Международные стандарты в области эксплуатации высокоскоростного подвижного состава

Эксплуатационная скорость, км/ч	Технические требования	
	Технические требования Евросоюза TSI (благоприятные условия)	Технические требования Евросоюза TSI (неблагоприятные условия)
350	5360	-
300	3650	4690
250	2430	3130
200	1500	1940

Анализ последних исследований постановка проблемы. В работе [8,9] приводятся особенности кинематики вращения колесной пары при срабатывании противоюзного устройства – при безюзовом торможении частота вращения колесной пары изменяется равномерно (рис. 3), а при срабатывании противоюзного устройства характеризуется изменением частоты вращения колесной пары (рис. 4) и углового ускорения (рис. 5) [1].

Особенности кинематики вращения колесной пары при срабатывании противоюзного устройства для различных скоростей в начале торможения приведены на рис.6 – 9.

Рис. 3. Кинематика вращения колесной пары при отсутствии юзовой ситуации

Рис. 4. Кинематика вращения колесной пары при юзовой ситуации

В работе [7,10] приведена методика экспериментальных исследований эффективности противоюзного устройства по критерию увеличения тормозных путей вагона при срабатывании противоюзного устройства. Эффективность противоюзного устройства оценивается посредством серии экстренных торможений отдельного вагона на прямом участке пути с уклоном не более 1 ‰, при этом рельсы должны быть сухими и чистыми, а колеса полностью очищенными путем прохождения отрезка пути длиной не менее 20 км/ч.

Рис. 5. Ускорення колесної пари

Рис. 6. Кинематика вращения колесной пары при скорости в начале торможения 43 км/ч

Рис. 7. Кинематика вращения колесной пары при скорости в начале торможения 65 км/ч

Рис. 8. Кинематика вращения колесной пары при скорости в начале торможения 75 км/ч

Рис. 9. Кинематика вращения колесной пары при скорости в начале торможения 84 км/ч

В процессе торможения, с целью уменьшения коэффициента сцепления колеса и рельса, перед каждым колесом первой колесной пары вагона наносится

специальный раствор. Раствор, при движении вагона, подается на продольную поверхность рельса в нескольких сантиметрах от рельса и колеса под давлением от 0,1 бар до 0,2 бар через сопла диаметром 8 мм. Критериями условия проведения испытаний по определению тормозного пути при работе противоюзного устройства в процессе торможения являются:

- начальная скорость 120 км/ч;
- в юзовой ситуации (проскальзывании) должны находиться на менее 50% колесных пар;
- суммарное время проскальзывания колесных пар при торможении должно составлять не менее 35 % от времени торможения вагона.

Цель и задачи исследования. Проведение экспериментальных исследований по оценке эффективности противоюзного устройства связано со значительными материальными затратами и техническими трудностями [8]. Поэтому на первом этапе рационально использовать методы компьютерного моделирования для конкретного вагона (поезда), прошедшего полный цикл тормозных испытаний и для которого получены фактические значения удельной тормозной силы в заданном диапазоне скоростей в начале торможения.

Целью исследования является определение тормозных путей электропоезда при скорости в начале торможения 200 км/ч при неблагоприятных условиях, сопровождаемых низким коэффициентом сцепления колеса с рельсом.

Материалы и методы исследования. Моделирование юзовой ситуации осуществлялось путем задания функциональной зависимости изменения удельной тормозной силы в процессе торможения.

За основу математического моделирования тормозного процесса принимается дифференциальное уравнение, описывающее торможение вагона как единой массы [11, 12, 16]:

$$\frac{dv}{dt} = -\zeta \cdot \{1000 \cdot b_{уд}(t) + w_{ox}(v) + i_c\}, \quad (1)$$

где ζ - замедление поезда при действии удельной замедляющей силы, принимается равным 120 км/ч² [14];

$b_{уд}(t)$ - удельная тормозная сила, зависящая от времени торможения;

i_c - величина уклона рельсового пути, ‰.

w_{ox} - основное удельное сопротивление движению поезда, определяется по формуле [13]:

на звеньевом пути:

$$w_{ox} = 0,7 + \frac{8 + 0,18 \cdot V + 0,003 \cdot V^2}{q_0}, \quad (2)$$

на безстыковом пути:

$$w_{ox} = 0,7 + \frac{8 + 0,16 \cdot V + 0,0023 \cdot V^2}{q_0}, \quad (3)$$

где q_0 - осевая нагрузка, тс/ось.

Характеристики тормозного процесса электропоезда при экстренном электропневматическом и безъюзовом торможении в диапазоне скоростей (40-200) км/ч приведены в таблице 2 [14].

Таблица 2. Характеристики тормозного процесса электропоезда при безъюзовом торможении в диапазоне скоростей (40-200) км/ч

Скорость в начале торможения, м	Время торможения, с	Тормозной путь, м	Удельная тормозная сила	Среднее замедление вагона, м/с ²	Замедление в момент остановки вагона, м/с ²
1	2	3	4	5	6
40	8,0	49	0,1562	-1,364	-1,533
50	10,9	82	0,1397	-1,262	-1,370
60	13,8	122	0,1302	-1,200	-1,277
70	16,7	170	0,1241	-1,158	-1,217
80	19,6	227	0,1197	-1,128	-1,174
90	22,5	291	0,1163	-1,106	-1,142
100	25,4	364	0,1137	-1,088	-1,117
110	28,4	444	0,1116	-1,074	-1,096
120	31,3	533	0,1101	-1,062	-1,078
130	34,2	630	0,1084	-1,052	-1,063
/140	37,2	735	0,1069	-1,043	-1,050
150	40,2	848	0,1056	-1,035	-1,038
160	43,1	969	0,1046	-1,028	-1,027
170	46,5	1108	0,1025	-1,012	-1,007
180	49,8	1252	0,1011	-1,002	-0,992
190	53,2	1408	0,0990	-0,991	-0,978
200	56,6	1574	0,0979	-0,979	-0,963

При моделировании тормозного процесса использовалась методология [14-16], в соответствии с которой математическая модель торможения электропоезда представляется в виде:

$$\frac{d^2 S}{dt^2} = -\zeta \cdot \{1000 \cdot b_{TF}(V_i) \cdot f(b_{Tj}(t_j) / b_{TF}(V_i)) + w_{ox}(v) + i_c\}, \quad (4)$$

где $b_{TF}(V_i)$ фактическая удельная тормозная сила, соответствующая скорости V_i в начале торможения при безъюзовом торможении;

$b_{Tj}(t_j)$ удельная тормозная сила, соответствующая текущему времени торможения t_j ;

$f(b_{Tj}(t_j) / b_{TF}(V_i))$ – функция изменения относительной удельной тормозной силы в процессе торможения.

Параметры функциональной зависимости принимались исходя из целей исследования:

- срабатывание противоюзного устройства происходит непрерывно;
- в юзовую ситуацию попадает 50 % колесных пар электропоезда;
- суммарное время срабатывания противоюзных устройств составляет не менее 40 % от времени торможения.

Зависимость изменения удельной тормозной силы от времени торможения представляет непрерывную функцию, вид которой приведен на рис. 10.

Характеристики тормозного процесса электропоезда при экстренном электропневматическом торможении в диапазоне скоростей (40-200) км/ч для заданной функциональной зависимости изменения удельной тормозной силы приведены в табл. 3.

Рис. 10. Диаграмма задания удельной тормозной силы для моделирования юза

Результаты компьютерного моделирования показаны в таблице 3, в которой приведены характеристики тормозного процесса электропоезда при юзовом торможении в диапазоне скоростей (40-200) км/ч.

Полученные, в результате компьютерного моделирования, динамика изменения тормозных путей (рис. 11), скорости (рис. 12) и удельной тормозной силы (рис. 13) от времени торможения, а также особенность ее реализации от скорости в начале торможения (рис. 14), свидетельствует, что указанные характеристики в значительной степени отличаются от торможения электропоезда при отсутствии юзовой ситуации.

Сравнительный анализа показал, что при непрерывном срабатывании противоюзного устройства тормозной путь электропоезда при скорости 200 км/ч увеличивается на 22,8 %, а время торможения на 16,8 %. Суммарное время срабатывания противоюзного устройства составило 37,4 с или 44 % от общего времени торможения.

Таблица 3. Характеристики тормозного процесса электропоезда при юзовом торможении в диапазоне скоростей (40-200) км/ч

Скорость в начале торможения, м	Время торможения, с	Тормозной путь, м	Удельная тормозная сила	Среднее замедление вагона, м/с ²	Замедление в момент остановки вагона, м/с ²
1	2	3	4	5	6
40	8,2	49,5	0,1007	-1,3428	-0,9885
50	12,8	85,8	0,0901	-1,0803	-0,8840
60	16,8	134,8	0,1069	-0,9856	-1,0493
70	21,3	196,1	0,0651	-0,9083	-0,6381
80	25,5	269,6	0,1183	-0,8662	-1,1612
90	29,9	355,0	0,0592	-0,8343	-0,5790
100	34,3	452,4	0,0999	-0,8076	-0,9791
110	38,2	561,4	0,1116	-0,7977	-1,0958
120	41,1	679,0	0,1097	-0,8088	-1,0783
130	44,0	804,0	0,1084	-0,8183	-1,0632
/140	46,9	936,4	0,1071	-0,8264	-1,0498
150	49,9	1076,5	0,1048	-0,8339	-1,0378
160	52,8	1224,1	0,1044	-0,8399	-1,0267
170	56,1	1390,1	0,1026	-0,8391	-1,0072
180	59,4	1561,0	0,1007	-0,8405	-0,9924
190	62,7	1741,8	0,0996	-0,8405	-0,9776
200	66,1	1932,9	0,0972	-0,8396	-0,9627

Рис. 11. Диаграммы тормозных путей электропоезда в диапазоне (40-200) км/ч

Рис. 12. Диаграммы скоростей электропоезда в диапазоне скоростей в начале торможения (40-200) км/ч

Рис. 13. Диаграммы изменения удельных тормозных сил электропоезда от времени торможения в диапазоне скоростей в начале торможения (40-200) км/ч

Рис. 14. Коэффициенты сцепления, реализуемые тормозной системой, при торможении электропоезда в диапазоне скоростей в начале торможения (40-200) км/ч

Рис.15. Диаграммы тормозных путей электропоезда в диапазоне скоростей в начале торможения (40-200) км/ч

Рис. 16. Сравнительные диаграммы времени торможения электропоезда в диапазоне скоростей в начале торможения (40-200) км/ч

Выводы. Тормозной путь электропоезда при непрерывном срабатывании противоюзного устройства в течении 37,4 с (44 % от общего времени торможения) и юзовой ситуации на 50 % колесных парах составил 1933 м, что меньше значения 1940 м (см. табл. 1). Тормозной путь электропоезда при скорости 200 км/ч и неблагоприятных условиях отвечает Техническим требованиям Евросоюза TSI.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Водяніков Ю. Я. Дослідження причин появи повзунів на поверхні кочення коліс пасажирського вагона/М. І. Яланський, О. М. Сафронів., А. І.Шведов // Збірник наукових праць „ДП „УкрНДІВ” Рейковий рухомий склад”. Кременчук, 2009. Вип. 1. С. 49-54.
- 2 Водяніков Ю. Я. Дисковые тормозные системы пассажирских вагонов и их особенности / С.В.Кукин, А. Е. Нищенко, С. А. Павлов // Вагонный парк. 2013. № 9(78). С 27-29.

- 3 Пятаков О.О. Особенности тормозной системы электропоезда / Ю. Я. Водяников, А. В. Гречко, С. М. Свистун // Збірник наукових праць ДП „УкрНДІВ” «Рейковий рухомий склад». Кременчук., 2012. Вип. 7. С. 59-70.
- 4 Водяников Ю. Я. Выбор и оптимизация тормозных характеристик пассажирского вагона для скоростей движения 200 км/ч и более / А. И. Шведов, Н. И. Мусиенко // Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту, серія „Транспортні системи і технології”. Київ, 2006. Вип. 9. С. 21-25.
- 5 Водяников Ю. Я. Методология пересчета тормозной эффективности одиночного вагона на тормозную эффективность поезда/ С. М. Свистун, Е. Г. Макеева // Залізничний транспорт України. 2014. Вип. 2. С. 27-37.
- 6 Водяников Ю. Я. Оценка фрикционных свойств накладок дискового тормоза пассажирского вагона по результатам поездных тормозных испытаний / А. В. Гречко, А. М. Сафронов// Вагонный парк. 2010. №5. С. 12–13.
- 7 Водяников Ю. Я. Оценка тормозной эффективности пассажирского поезда с дисковыми тормозами на соответствие нормативным требованиям с использованием номограмм / О. М. Сафронов, С. М. Свистун, К. Л. Жихарцев // Збірник наукових праць ДП „УкрНДІВ” «Рейковий рухомий склад». Кременчук., 2012. Вип. 7. С. 44-53.
- 8 Пятаков О. О. Результаты исследования тормозной эффективности опытного электропоездаЭКр1 / Ю. Я. Водяников, С. М. Свистун, К. Л. Жихарцев // Вагонный парк. 2013. № 9(78). С. 19-26.
- 9 Водяников Ю. Я. Методика определения тормозного пути пассажирского поезда при недостаточном коэффициенте сцепления колеса с рельсом / Т. В. Шелейко, О. М. Сафронов // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту, присвячений 60-ти річчю кафедри «Вагони». Харків, 2013. Вип. 139. С. 182-187.
- 10 Ольгард Л. С. Основные методические положения исследования функциональных свойств противоюзного устройства пассажирских вагонов / Ю. Я. Водяников, Е. Г. Макеева // Збірник наукових праць ДП „УкрНДІВ” «Рейковий рухомий склад». Кременчук, 2011. Вип. 4-5. С.17-20.
- 11 Гребенюк П. Правила тормозных расчетов. Москва: «Интекст», 2004 – 112 с.
- 12 Осипов С. И., Осипов С.С. Основы тяги поездов: учебник для студентов техникумов и колледжей ж/д тр-та. Москва: УМК МПС, 2000. 592 с.
- 13 Слепцов М. А. Основы электрического транспорта: учебник для студ. высш. учебн. заведений. Москва: Издательский центр «Академия», 2006. 464 с.
- 14 Методология расчетных и экспериментальных исследований тормозной эффективности пассажирских вагонов с применением математических моделей и компьютерного моделирования: монография / Водяников Ю. Я. та ін. Кременчук, 2017. 287с.
- 15 Водяников Ю. Я., Сафронов О. М., Шелейко Т. В., Свистун С. М., Анализ тормозных испытаний электропоезда с применением математических моделей / А. М. Сафронов, Т. В. Шелейко, С. М. Свистун // Залізничний транспорт. 2013 № 5/6. С. 29-39.
- 16 Сафронов О. М. Підвищення гальмівної ефективності пасажирських вагонів шляхом удосконалення процесів функціонування дискових гальм: дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / О. М. Сафронов – К.: ДЕТУТ, 2010. – 203 с.

REFERENCES

- 1 Vodyannikov Yu. Ya., Yalanskiy M. I., Shvedov A. I. & Safronov O. M. (2009). Doslidzhennya reasons emerged povzuniv on the surface of the wheel train carriag [Investigation of reasons for appearance of slid flats on the wheel treads of a passenger car]. Zbirnyk naukovykh prats „Reikovii ruhomii sklad” [Collection of scientific works "Railbound rolling stock"] Kremenchuk: DP „UkrNDIV”, 1, 49-54. [in Ukrainian].
- 2 Vodyannikov Yu. Ya., Kulin S.V., Nischenko A.E., & Pavlov S.A. (2013). Diskovyye tormoznyye sistemy passazhirskikh vagonov i ikh osobennosti [Disk braking systems of passenger cars and their distinctive features]. Kharkov: Vagonnyy park - Rolling stock , 9 (78), 27-29. [in Russian].
- 3 Pyatkov O.O., Vodyannikov Yu. Ya., Grechko A.V., & Svistun S.M. (2012). Osobennosti tormoznoy sistemy elektropoyezda [Features of the brake system of the electric train]. Zbirnyk naukovykh

prats «Reykovy ruhomyi sklad» [Collection of scientific works "Railboundrollingstock"], Kremenchuk: DP „UkrNDIV”, 7, 59-70. [in Russian].

4 Vodyannikov Yu. Ya., & Shvedov A. I., Musienko N. I. (2006). Vybory i optimizatsiya tormoznykh kharakteristik passazhirskogo vagona dlya skorostey dvizheniya 200 km/h i boleye [Selection and optimization of the brake characteristics of a passenger car for speeds of 200 km/h and more] Zbirnyk naukovykh prats Kiivskogo universytetu ekonomiki i tehnologii transportu, seria „Transportnisystemy i tehnologii”, Kyiv, KUETT, 9, 21-25. [in Russian].

5 Vodyannikov Yu. Ya., Svistun S. M., & Makeeva E. G. (2014). Metodologiya perescheta tormoznoy effektivnosti odinochnogo vagona na tormoznyuyu effektivnost poezda. [Methodology of recalculation of the brake efficiency of a single car on the brake efficiency of a train]. Zalizn. transp. Ukrainy – Railway transport of Ukraine, 2, 27-37. [in Russian].

6 Vodyannikov Yu. Ya., Grechko A. V., & Safronov A. M. (2010). Otsenka friktsionnykh svoystv nakladok diskovogo tormoza passazhirskogo vagona po rezul'tatam poyezdnykh tormoznykh ispytaniy [Estimation of the frictional properties of the disk brake pads of the passenger car by the results of the train braking tests]. Zh. Vagonniypark – Rolling stock, 5, 12-13. [in Russian].

7 Vodyannikov Yu. Ya., Safronov O. M., & Svistun S. M., Zhihartsev K. L. (2012). Otsenka tormoznoy effektivnosti passazhirskogo poyezda s diskovymi tormozami na sootvetstviye normativnym trebovaniyam s ispol'zovaniyem nomogramm [Evaluation of the brake performance of a passenger train with disc brakes for compliance with regulatory requirements using nomograms] Zbirnyk naukovykh prats «Reykovy ruhomyi sklad» [Collection of scientific works "Railboundrollingstock"], Kremenchuk: DP „UkrNDIV”, 7, 44-53. [in Russian].

8 Pyatakov O. O., Vodyannikov Yu. Ya., Svistun S. M., & Zhihartsev K. L. (2013). Rezul'taty issledovaniya tormoznoy effektivnosti opytного elektropoyezda EKr1 [Results of the study of the brake efficiency of the experimental electric train EKr1]. Zhurnal "Vagonniypark" [Journal "Rolling stock"], 9(78), 19-26. [in Russian].

9 Vodyannikov Yu. Ya., Sheleyko T. V., & Safronov O. M. (2013). Metodika opredeleniya tormoznogo puti passazhirskogo poyezda pri nedostatocnom koeffitsiyente stsepleniya koleasa s rel'som [Method for determining the stopping distance of a passenger train with an insufficient ratio of wheel-rail adhesion] Zbirnyk naukovykh prats of the Ukrainian state power academy of transport, the assignment of 60 rychny department "Vagoni" [Collection of Scientific Works of the Ukrainian State Academy of Railway Transport, devoted to the 60-th anniversary of the department "Cars", no 139, (pp. 182-187) Kharkiv. [in Russian].

10 Ol'gard L. S., Vodyannikov Yu. Ya., & Makeeva E. G. (2011). Osnovnyye metodicheskiye polozheniya issledovaniya funktsional'nykh svoystv protivoyuznogo ustroystva passazhirskikh vagonov [The main methodological provisions of the study of the functional properties of the anti-harnessed device of passenger cars] Zbirnyk naukovykh prats «Reykovy ruhomyi sklad» [Collection of scientific works "Railboundrollingstock"], Kremenchuk: DP „UkrNDIV”, 4-5, 17-20. [in Russian].

11 Grebenyuk P. (2004). Pravilatormoznyhraschetov [Rules of Brake Calculation]. Moscow: Intekst, p. 112. [in Russian].

12 Osipov, S. I., & Osipov, S. S., (2000). Osnovy tyagi poyezdov. Uchebnik dlya studentov tekhnikumov i kolledzhey zh/d transporta [A textbook for students of colleges and colleges of railway transport]. Osnovy tyagi poezdov. [Fundamentals of train] (p. 592). Moscow: UMK Ministry of Railways of Russia. [in Russian].

13 Sleptsov, M. A., Dolaberidze, G. P., Prokopovich, A. V., Savina, T. I., Tulupov, V. D. (2006). Osnovy elektricheskogo transporta: uchebnik dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy [The basics of electric transport: a textbook for students of higher education institutions] (p. 464). Moscow: Akademiya Publishing Center [in Russian].

14 Vodyannikov Yu. Ya., Safronov A. M., & Makeeva E. G. (2017). Metodologiya raschetnykh i eksperimental'nykh issledovaniy tormoznoy effektivnosti pas-sazhirskikh vagonov s primeneniyyem matematicheskikh modeley i komp'yuternogo modelirovaniya [Methodology of computational and experimental studies of the braking efficiency of passenger cars using mathematical models and computer simulation]. Kremenchuk [in Russian].

15 Vodyannikov Yu. Ya., Safronov A. M., Sheleyko T. V., & Svistun S. M. (2013). Analiz tormoznykh ispytaniy elektropoyezda s primeneniyyem matematicheskikh modeley [Analysis of brake tests of electric trains using mathematical models]. "Zaliznichnij transport", 5/6, 23-39 [in Russian].

16 Safronov O. M. (2010). Padvyshchenskaya hal'mivniya efs sameknosti pasazhyrskykh vahonov u vorot udobno podderzhyvaet-sya protsessamy funktsyy diskovoho hal'ma [The Padimusha brake of the same degree of passenger carriages at the gate is conveniently supported by the processes of the disk brake functions]. Candidate's thesis. Kyiv. [in Ukrainian].

Олександр Сафонов, к.т.н.
(директор Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» ДП «УкрНДІВ»).

ГАЛЬМІВНІ ШЛЯХИ ВИСОКОШВИДКІСНОГО ЕЛЕКТРОПОЇЗДА ЕКР1 ПРИ ШВИДКОСТІ 200 КМ/ГОД ТА НЕСПРИЯТЛИВИХ УМОВАХ

Представлені результати дослідження гальмівної ефективності електропоїзда при низькому коефіцієнті зчеплення колеса з рейкою (юзова ситуація) в діапазоні швидкостей на початку гальмування (40-200) км/год. Дослідження виконані із застосуванням математичного та комп'ютерного моделювання. Результати показали, що гальмівний шлях електропоїзди при швидкості 200 км/год і безперервному спрацьовуванні протизнозного пристрою протягом 37,4 с (44% від загального часу гальмування) і юзової ситуації на 50% колісних парах склав 1933 м, що менше нормативного значення 1940 м. Наведено діаграми і характеристики гальмівного процесу при гальмуванні в діапазоні швидкостей (40-200) км/год в умовах спрацьовування протизнозного пристрою.

Ключові слова. Електропоїзд, юз, швидкість, гальмівний шлях, питома гальмівна сила, протизнозний пристрій.

OleksandrSafronov, Ph.D.in Engineering,
(Director of the State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute " DP "UkrNDIV").

BRAKING DISTANCES FOR HIGH-SPEED ELECTRIC TRAIN EKR1 AT A SPEED OF 200 KM/H UNDER ADVERSE CONDITIONS

The paper shows the study results of the braking efficiency of an electric train with a low coefficient of wheel adhesion to the rail (wheel sliding) in the speed range with the braking starting at 40–200 km/h. The studies were performed using mathematical and computer modeling. The results showed that the braking distance of the electric train at a speed of 200 km/h and continuous actuation of the wheel slide protection within 37.4 s (44% of the total braking time) and the wheel sliding on 50% of wheelsets is equal to 1933 m, which is less than the reference value of 1940 m. The diagrams and characteristics of the braking in the speed range of 40–200 km/h have been shown with the wheel slide protection in action.

Keywords. Electric train, wheel sliding, speed, braking distance, specific braking force, wheel slide protection.