

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.4.077-592.52:004.94

Л. В. УРСУЛЯК^{1*}, Г. ВАЙЧИУНАС², Я. Н. РОМАНЮК³, В. ПЕТРЕНКО⁴,
Е. С. СТЕПЧЕНКОВА⁵¹*Каф. «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 776 72 44, эл. почта lyudmila.urs@yandex.ua, ORCID 0000-0001-5957-6926²Каф. «Железнодорожный транспорт», Вильнюсский технический университет имени Гедиминаса, ул. Й. Басанавичуса, 28, Вильнюс, Литва, LT-03224, тел. +37 (052) 74 48 03, эл. почта gediminas.vaiciunas@vgtu.lt³Проектно-конструкторское технологическое бюро автоматизированных систем управления железнодорожного транспорта, пер. Сичевой, 4, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 776 72 44, эл. почта gotyana81@gmail.com, ORCID 0000-0001-6405-2780⁴Каф. «Железнодорожный транспорт», Вильнюсский технический университет имени Гедиминаса, ул. Й. Басанавичуса, 28, Вильнюс, Литва, LT-03224, тел. +37 (052) 74 48 03, эл. почта viaceslav.petrenko@vgtu.lt⁵Каф. «Компьютерные информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 776 72 44, эл. почта thisday@ukr.net, ORCID 0000-0003-1641-8455

О ФОРМЕ КРИВОЙ НАПОЛНЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ ЦИЛИНДРОВ В ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДАХ

Цель. В рамках научной работы нужно изучить влияние формы кривой наполнения тормозных цилиндров при различных режимах торможения на продольную динамику поезда. Необходимо оценить при этом уровень наибольших продольных сил и величину тормозных путей в грузовых поездах различной длины. **Методика.** В данной работе сделана попытка аппроксимировать реальные диаграммы наполнения тормозных цилиндров рациональными функциями различной степени. При подборе коэффициентов в искомым функциях в качестве контролируемых параметров использовались наибольшие значения продольных сил и тормозные пути, которые сопоставлялись с аналогичными величинами, полученными в результате опытных поездок. Уровень продольных сил и величину тормозных путей оценивали с помощью математического моделирования продольных колебаний поезда при переходных режимах движения, вызванных различными режимами торможения. **Результаты.** При математическом моделировании предполагалось, что поезд состоит из 60-ти однородных четырехосных полувагонов массой 80 тонн, оборудованных воздухораспределителями № 483 (включенными на средний режим работы), композиционными тормозными колодками, и одного локомотива ВЛ-8. Поезд перед началом торможения был предварительно растянут. Моделировались различные виды пневматических торможений (экстренное, полное служебное и регулировочное торможения) грузового поезда на горизонтальном участке пути. В результате расчетов были получены значения продольных сил, величины тормозных путей и время снижения скорости движения при различных режимах торможения. **Научная новизна.** Исследовано влияние формы кривой наполнения тормозных цилиндров на уровень продольных сил и величину тормозных путей в грузовых поездах. Исследована также продольная нагруженность грузовых поездов при различных пневматических торможениях. **Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы для оценки уровня наибольших продольных сил и тормозных путей в грузовых поездах разной длины путем математического моделирования различных режимов торможений.

Ключевые слова: математическое моделирование; переходные режимы; движение поезда; пневматическое торможение; продольные силы; тормозные пути

Введение

Как показывает опыт эксплуатации грузовых поездов, наиболее опасным режимом движения является торможение [5–14].

Цель

Обеспечение безопасности движения поездов требует совершенствования методики математического моделирования тормозных процессов, происходящих в грузовых поездах.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Методика

Моделюючи процеси торможения грузовых поездов, в ряде случаев график изменения во времени силы нажатия k тормозных колодок на колесо железнодорожного экипажа, которое пропорционально давлению воздуха в тормозном цилиндре, аппроксимируют кусочно-линейной зависимостью [1–4].

Предположим, что силу нажатия i -го экипажа $k_i(t)$ в процессе ее роста от нуля до максимального значения, можно описать рациональной функцией.

Подбирая параметры этой функции, предполагалось, что этап прижатия тормозных колодок к колесам (время выхода штока) уже завершен.

На основании проведенного анализа реальных диаграмм наполнения тормозных цилиндров, полученных по результатам многолетних, многочисленных опытов, проведенных с поездами в реальных условиях опытного кольца на станции Щербинка Московской ж.д. учеными ДИИТа и ВНИИЖТа, можно четко различить две фазы.

Первая фаза – более интенсивное наполнение тормозного цилиндра до значения $k_1(i)$ в течение малого промежутка времени, вторая фаза – время наполнения тормозного цилиндра от значения $k_1(i)$ до максимального значения k_{\max} .

Ниже на рис.1 изображены диаграммы наполнения тормозных цилиндров в грузовом поезде, составленного из 60 вагонов при полном служебном торможении.

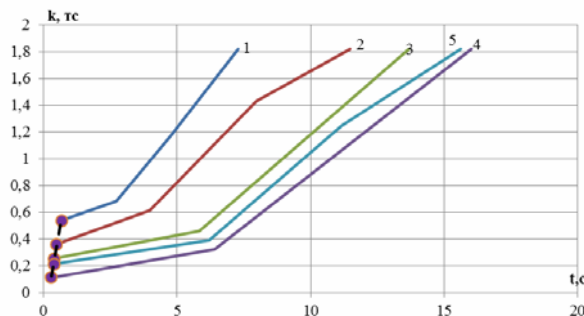


Рис. 1. Диаграммы наполнения тормозных цилиндров для различных экипажей поезда

Fig. 1. Diagrams of brake cylinder filling for different train vehicles

На рис. 1 линии 1–5 соответствуют изменению силы нажатия на колесо в 1-ом, 12-ом, 27-ом, 43-ем и 60-ом вагонах грузового поезда, состоящего из 60 вагонов при полном служебном торможении. Значения первой узловой точки $k_1(i)$ на диаграммах отмечено круглым маркером.

Как видно из приведенного рисунка, наполнение тормозного цилиндра до значения силы нажатия $k_1(i)$, происходит более интенсивно, а время наполнения тормозных цилиндров до максимального значения k_{\max} возрастает от головного экипажа к хвостовому по нелинейному закону.

В табл. 1 приведены значения первой узловой точки из диаграммы наполнения тормозных цилиндров, полученной опытным путем и путем их аппроксимации нелинейной функцией, которая зависит от номера вагона.

Таблица 1

Значение первой узловой точки на диаграмме наполнения тормозных цилиндров для различных вагонов в грузовом поезде из 60 вагонов при полном служебном торможении

Table 1

Value of the first node point in the diagram of brake cylinder filling for various cars in a freight train among 60 cars at full service braking

№ вагона	Реальные диаграммы		Аппроксимация	
	t , с	k_1 , кН	t , с	k_1 , кН
1	0,68	0,536	0,7	0,55
12	0,49	0,36	0,5	0,36
27	0,39	0,25	0,37	0,27
43	0,29	0,11	0,29	0,19
60	0,39	0,21	0,25	0,12

Табл. 2 содержит значения времени наполнения тормозных цилиндров от нуля до значения k_{\max} .

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Таблица 2

Значения времени наполнения тормозных цилиндров от нуля до максимального значения для различных вагонов в грузовом поезде из 60 вагонов при полном служебном торможении

Table 2

Time values of brake cylinder filling from zero up to the maximum value for different cars in a freight train among 60 cars with full service braking

№ вагона	Реальные диаграммы	Аппроксимация
1	7,28	7,35
12	11,47	11,17
27	13,69	14,12
43	16,2	15,99
60	15,63	17,27

Время наполнения тормозных цилиндров, приведенное в табл. 2, аппроксимировано рациональной зависимостью от номера вагона.

Из данных, приведенных в табл. 1 и 2 видно, что нестабильное срабатывание воздухораспределителей в грузовых вагонах привело к тому, что в реальных диаграммах сила нажатия $k_1(43)$ оказалась меньше $k_1(60)$, а время наполнения тормозного цилиндра до k_{\max} в 43-ем вагоне больше, чем в 60-ом.

Ниже на рис. 2–6 приведены диаграммы наполнения тормозных цилиндров в 1-ом, 12-ом, 27-ом, 43-ем, и 60-ом вагонах в грузовом поезде из 60 вагонов при полном служебном торможении, полученные с использованием рациональных функций.

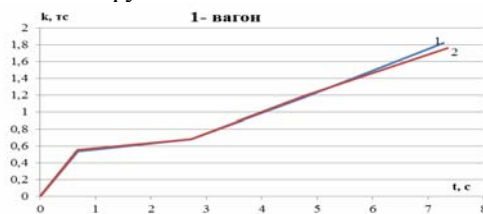


Рис. 2. Диаграмма наполнения тормозного цилиндра в 1-ом вагоне грузового поезда, состоящего из 60 вагонов при полном служебном торможении

Fig. 2. Diagrams of brake cylinder filling in the first car of a freight train consisting of 60 cars at full service braking

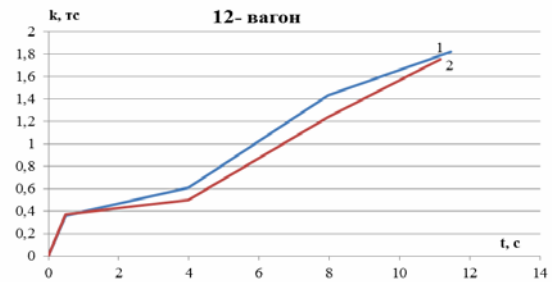


Рис. 3. Диаграмма наполнения тормозного цилиндра в 12-ом вагоне грузового поезда, состоящего из 60 вагонов при полном служебном торможении

Fig. 3. Diagrams of brake cylinder filling in the 12th car of a freight train consisting of 60 cars at full service braking

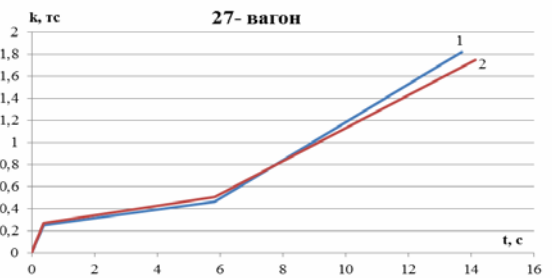


Рис. 4. Диаграмма наполнения тормозного цилиндра в 27-ом вагоне грузового поезда, состоящего из 60 вагонов при полном служебном торможении

Fig. 4. Diagrams of brake cylinder filling in the 27th car of a freight train consisting of 60 cars at full service braking

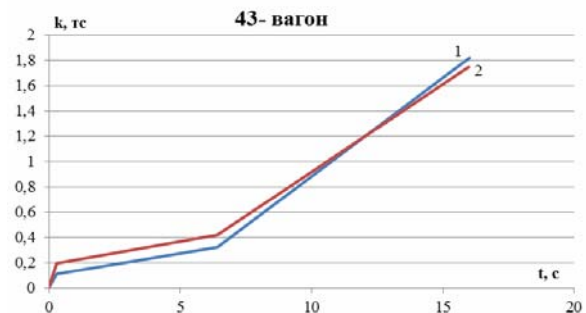


Рис. 5. Диаграмма наполнения тормозного цилиндра в 43-ом вагоне грузового поезда, состоящего из 60 вагонов при полном служебном торможении

Fig. 5. Diagrams of brake cylinder filling in the 43^d car of a freight train consisting of 60 cars at full service braking

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

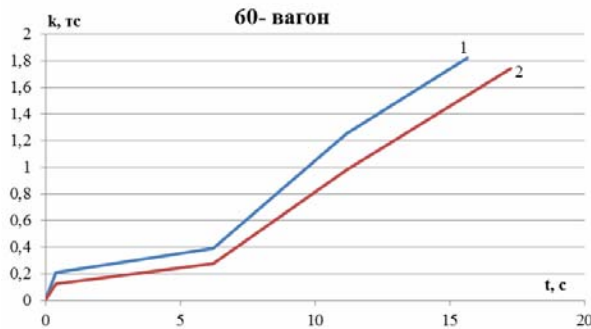


Рис. 6. Діаграма наповнення тормозного циліндра в 60-ом вагоні грузового поїзда, состоящего из 60 вагонів при повному службовому торможенні

Fig. 6. Diagrams of brake cylinder filling in the 60th car of a freight train consisting of 60 cars at full service braking

Как известно, при экстренном торможении тормозные цилиндры наполняются более интенсивно, поэтому для моделирования указанного торможения диаграммы наповнення были получены по той же методике, но с использованием рациональных функций с другими коэффициентами.

Ниже в качестве примера на рис. 7–9 приведены диаграммы наповнення тормозных цилиндров в 1-ом, 27-ом и 60-ом вагонах грузового поїзда, состоящего из 60 вагонів при экстренном торможении.

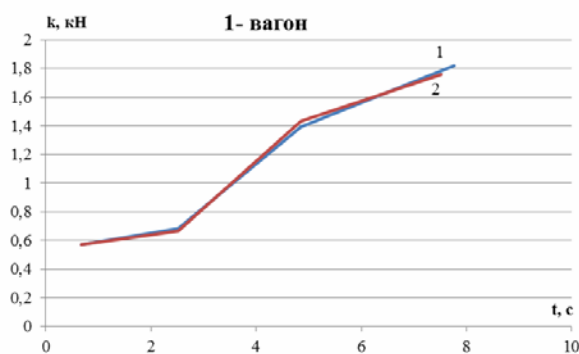


Рис. 7. Діаграма наповнення тормозного циліндра в 1-ом вагоні грузового поїзда, состоящего из 60 вагонів при экстренном торможении

Fig. 7. Diagrams of brake cylinder filling in the first car of a freight train consisting of 60 cars at emergency braking

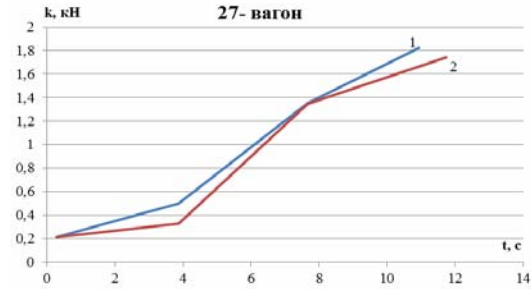


Рис. 8. Діаграма наповнення тормозного циліндра в 27-ом вагоні грузового поїзда, состоящего из 60 вагонів при экстренном торможении

Fig. 8. Diagrams of brake cylinder filling in the 27th car of a freight train consisting of 60 cars at emergency braking

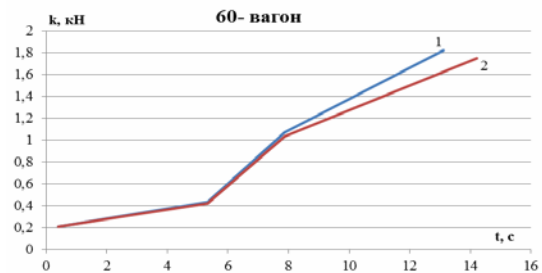


Рис. 9. Діаграма наповнення тормозного циліндра в 60-ом вагоні грузового поїзда, состоящего из 60 вагонів при экстренном торможении

Fig. 9. Diagrams of brake cylinder filling in the 60th car of a freight train consisting of 60 cars at emergency braking

На рис. 2–9 линии 1 соответствуют реальным диаграммам наповнення тормозных цилиндров, линии 2 – полученным путем аппроксимации реальных диаграмм рациональными функциями.

Из приведенных рисунков видно, что форма кривой наповнення тормозных цилиндров, полученная путем аппроксимации достаточно хорошо отображает реальные процессы, происходящие в тормозных цилиндрах при пневматических торможениях.

Форма кривой наповнення тормозных цилиндров и ее параметры существенно влияют на уровень продольных сил и величину тормозных путей. Поэтому представляет интерес исследовать процессы возникновения продольных сил и величины тормозных путей при пневматических торможениях.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Результати

Моделювались різні види пневматических торможень (ПСТ, ЭТ и РТ) грузового поезда на горизонтальному участку пути [3].

Полные служебные и экстренные торможения моделювались с начальной скорости движения $V_0 = 30$ км/ч до остановки, а регулювальні торможения с разрядкой тормозной магистрали на 0,8 атм со скорости $V_0 = 60$ км/ч до $V_k = 40$ км/ч.

Поезд перед началом торможения был предварительно растянут.

Предполагалось, что поезд состоит из 60-ти однородных четырехосных полувагонов массой 80 тонн и одного локомотива ВЛ-8.

Полагалось также, что вагоны оборудованы воздухораспределителями №483, включенными на средний режим работы, и композиционными тормозными колодками, а междвагонные соединения – упруго-фрикционными поглощающими аппаратами Ш-1-ТМ.

В результате расчетов были получены диаграммы распределения максимальных продольных сил вдоль длины поезда, зависимости наибольших продольных сил от времени движения и траектория движения.

Нижче в качестве примера приведены диаграммы распределения максимальных продольных сил вдоль длины поезда (рис. 10, 12 и 14) и зависимости наибольших продольных сил от времени движения (рис. 11, 13 и 15) для различных видов торможений.

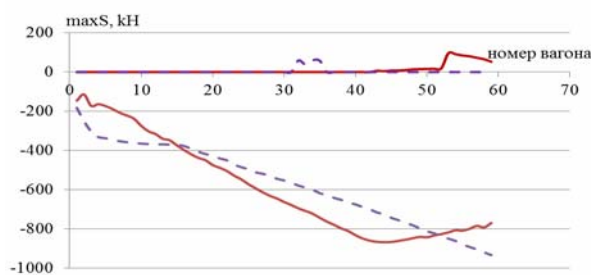


Рис. 10. Распределение максимальных значений продольных сил по длине поезда при регулювальном торможении

Fig. 10. Maximum values distribution of the longitudinal forces along the length of the train at adjusting braking

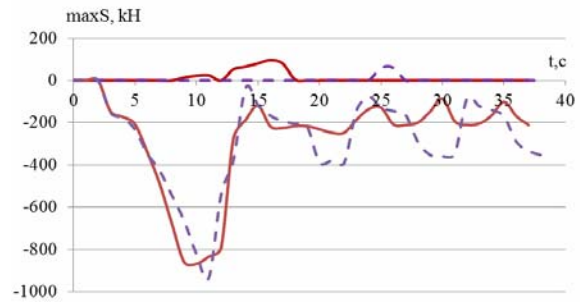


Рис. 11. Зависимость наибольших продольных сил от времени движения при регулювальном торможении

Fig. 11. Dependence of the largest longitudinal forces from the motion time at adjusting braking

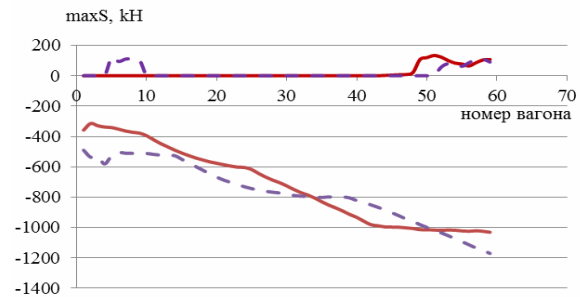


Рис. 12. Распределение максимальных значений продольных сил по длине поезда при полном служебном торможении

Fig. 12. Maximum values distribution of the longitudinal forces along the length of the train at full service braking

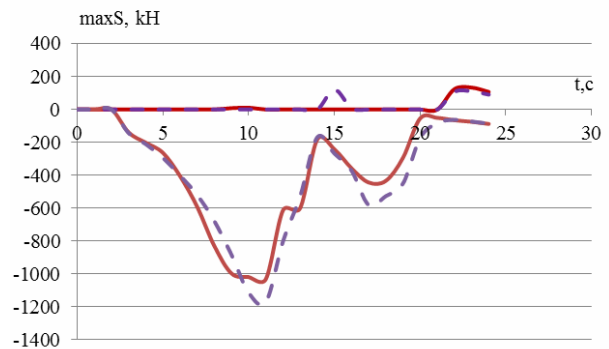


Рис. 13. Зависимость наибольших продольных сил от времени движения при полном служебном торможении

Fig. 13. Dependence of the largest longitudinal forces from the motion time at full service braking

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

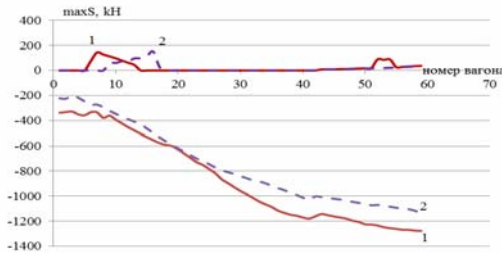


Рис. 14. Распределение максимальных значений продольных сил по длине поезда при экстренном торможении

Fig. 14. Maximum values distribution of the longitudinal forces along the length of the train at emergency braking

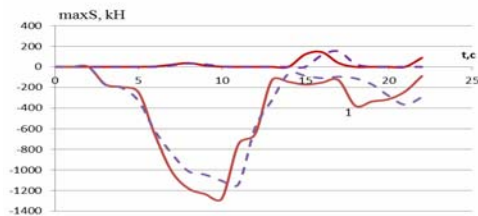


Рис. 15. Зависимость наибольших продольных сил от времени движения при экстренном торможении

Fig. 15. Dependence of the largest longitudinal forces from the motion time at emergency braking

На приведенных рисунках сплошные линии соответствуют моделированию торможений с использованием диаграмм наполнения тормозных цилиндров, полученных в реальных условиях, пунктирные – аппроксимация экспериментальных данных в виде рациональных функций.

Ниже в табл. 3 приведены значения тормозных путей и времен до остановки поезда при полном служебном и экстренном торможениях, при регулировочном торможении соответствующие величины получены при снижении начальной скорости движения на 20 км/ч.

Из графиков, изображенных на рис. 10–15, следует, что погрешность оценки уровня наибольших сжимающих продольных сил с использованием предложенной методики при регулировочном торможении не превышает 7,5 %, при полном служебном торможении – 13,5%, при экстренном торможении – 10 %.

Наибольшая погрешность величины тормозного пути при регулировочном торможении составила 2,5 %.

Таблица 3

Значения тормозных путей и времени движения при различных режимах торможения

Table 3

Values of braking distances and motion time at different braking modes

Вид торможения	Реальные диаграммы		Аппроксимация	
	L, м	T, сек	L, м	T, сек
РТ	37	525	38	538
ПСТ	24	135	24	137
ЭТ	22	121	22	123

Результаты, приведенные выше, показывают, что данная методика аппроксимации реальных диаграмм наполнения тормозных цилиндров рациональными функциями довольно хорошо отображает процессы, имеющие место при различных видах торможений.

Научная новизна и практическая значимость

Исследована продольная нагруженность грузовых поездов при различных пневматических торможениях. Оценено влияние формы кривой наполнения тормозных цилиндров в грузовых поездах на уровень продольных сил и величину тормозных путей. Приведенную методику следует иметь в виду при моделировании характеристик тормозных приборов подвижного состава железных дорог.

Выводы

Полученные зависимости силы нажатия от времени можно использовать при моделировании пневматических торможений поездов различной длины, в том числе соединенных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анисимов, В. В. Расчет длины тормозного пути с использованием аппроксимирующих полиномов / В. В. Анисимов // Инновационные технологии в автоматике, информатике и телекоммуникациях : сб. науч. тр. / Дальневост. гос. ун-т путей сообщ. – Хабаровск, 2013. – С. 13–17.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

2. Блохин, Е. П. Вычислительный комплекс для решения задач безопасности и устойчивости движения подвижного состава железных дорог / Е. П. Блохин, К. И. Железнов, Л. В. Урсуляк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 18. – С. 106–114.
3. Блохин, Е. П. Динамика поезда / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин. – Москва : Транспорт, 1982. – 222 с.
4. Блохин, Е. П. Продольные нагрузки при переходных режимах движения поезда / Е. П. Блохин // Залізн. трансп. України. – 2000. – № 3. – С. 8–11.
5. Гребенюк, П. Т. Динамика торможения грузовых поездов / П. Т. Гребенюк // Вестн. ВНИИЖТа. – 2002. – № 1. – С. 23–27.
6. Никифоров, Б. Д. Автоматизация управления торможением поездов / Б. Д. Никифоров, В. И. Головкин, Ю. Г. Кутыев. – Москва : Транспорт, 1985. – 263 с.
7. О вождении длинносоставных поездов / Е. П. Блохин, Л. В. Урсуляк, К. И. Железнов, Я. Н. Романюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 30. – С. 48–55.
8. Расчеты и испытания тяжеловесных поездов / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин, Е. Л. Стамблер [и др]. – Москва : Транспорт, 1986. – 264 с.
9. About the evaluation of the longitudinal forces level effecting the track displacement at transient modes of train movement / V. L. Horobets, L. H. Masleieva, L. V. Ursuliak, V. V. Arsonov // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 2 (56). – С. 207–221. doi: 10.15802/stp2015/42179.
10. Andersson, E. Rail Vehicle Dynamics : Text Book / E. Andersson, M. Berg, S. Stichel. – Stockholm : Royal Institute of Technology, 2005. – 168 p.
11. Effect of Structural Dynamics on the Shaft Line Rotor Response in Turbomachines / E. Meli, G. Pallini, A. Rindi [et al.] // Vibration Engineering and Technology of Machinery. Series: Mechanisms and Machine Science. – 2015. – Vol. 23. – P. 987–997. doi: 10.1007/978-3-319-09918-7_87.
12. Lingaitis, L. P. Research on selection of modes of driving heavy trains on main IXB and IXD corridors of JSC «Lietuvos geležinkeliai» / L. P. Lingaitis, S. Dailydka, G. Jevdomacha // Transport problems. Problemy transportu. – 2012. – Vol. 7. – Iss. 4. – P. 39–47.
13. Methods of calculation line optimum travel of trains with consideration of longitudinal dynamic efforts / L. P. Lingaitis, G. Vaičiūnas, L. Liudvinaičius, G. Jevdomacha // Transport problems. Problemy transportu. – 2013. – Vol. 8. – Iss. 2. – P. 25–34.
14. Muller, L. Train—a Computer Model for the Simulation of Longitudinal Dynamics in Trains / L. Muller, T. Witt // Conference on Railway Engineering. – Rockhampton : Institution of Engineers, 1998. – P. 181–186.

Л. В. УРСУЛЯК^{1*}, Г. ВАЙЧУНАС², Я. М. РОМАНЮК³, В. ПЕТРЕНКО⁴,
К. С. СТЕПЧЕНКОВА⁵

^{1*}Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 776 72 44, ел. пошта lyudmila.urs@uandex.ua, ORCID 0000-0001-5957-6926

²Каф. «Залізничний транспорт», Вільнюський технічний університет імені Гедімінаса, вул. Й. Басанавічуса, 28, Вільнюс, Литва, LT-03224, тел. +37 (052) 74 48 03, ел. пошта gediminas.vaiciunas@vgtu.lt

³Проектно-конструкторське технологічне бюро автоматизованих систем управління залізничного транспорту, пров. Січовий, 4, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 739 51 32, ел. пошта gomyana81@gmail.com, ORCID 0000-0001-6405-2780

⁴Каф. «Залізничний транспорт», Вільнюський технічний університет імені Гедімінаса, вул. Й. Басанавічуса, 28, Вільнюс, Литва, LT-03224, тел. +37 (052) 74 48 03, ел. пошта viaceslav.petrenko@vgtu.lt

⁵Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 776 72 44, ел. пошта thisday@ukr.net, ORCID 0000-0003-1641-8455

ПРО ФОРМУ КРИВОЇ НАПОВНЕННЯ ГАЛЬМІВНИХ ЦИЛІНДРІВ У ВАНТАЖНИХ ПОЇЗДАХ

Мета. У рамках наукової роботи необхідно вивчити вплив форми кривої наповнення гальмівних циліндрів при різних режимах гальмування на поздовжню динаміку поїзду. При цьому обов'язково потрібно оцінити рівень найбільших поздовжніх сил та величину гальмівних шляхів у вантажних поїздах різної

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

довжини. **Методика.** В даній роботі зроблена спроба апроксимувати реальні діаграми наповнення гальмівних циліндрів раціональними функціями різного ступеня. При визначенні коефіцієнтів у цих функціях в якості контрольованих параметрів використовувалися найбільші значення поздовжніх сил і гальмівні шляхи, які порівнювалися з аналогічними величинами, отриманими в результаті експериментальних поїздок. Рівень поздовжніх сил та величину гальмівних шляхів оцінювали за допомогою математичного моделювання поздовжніх коливань поїзда при перехідних режимах руху, викликаних різними режимами гальмування. **Результати.** При математичному моделюванні передбачалося, що поїзд складається з 60-ти однорідних чотирьохвісних піввагонів масою 80 тонн, обладнаних повітродозподільниками № 483 (включеними на середній режим роботи), композиційними гальмівними колодками, і одного локомотива ВЛ-8. Поїзд перед початком гальмування був попередньо розтягнутий. Моделювалися різні види пневматичних гальм (екстрене, повне службове та регульоване гальмування) вантажного поїзда на горизонтальній ділянці шляху. В результаті розрахунків були отримані значення поздовжніх сил, величини гальмівних шляхів та час зниження швидкості руху при розглянутих режимах гальмування. **Наукова новизна.** Досліджено вплив форми кривої наповнення гальмівних циліндрів на рівень поздовжніх сил та величину гальмівних шляхів у вантажних поїздах. Досліджена також поздовжня навантаженість вантажних поїздів при пневматичних гальмуваннях. **Практична значимість.** Отримані результати можуть бути використані для оцінки рівня найбільших поздовжніх сил та гальмівних шляхів у вантажних поїздах різної довжини шляхом математичного моделювання різних режимів гальмувань.

Ключові слова: математичне моделювання; перехідні режими; рух поїзда; пневматичне гальмування; поздовжні сили; гальмівні шляхи

L. V. URSULIAK^{1*}, G. VAICIUNAS², YA. M. ROMANIUK³, V. PETRENKO⁴,
K. S. STEPCHENKOVA⁵

^{1*}Dep. «Structural Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St. 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 776 72 44, e-mail lyudmila.urs@yandex.ua, ORCID 0000-0001-5957-6926

²Dep. «Railway Transport», Vilnius Gediminas Technical University, Y. Basanavichyus St., 28, Vilnius, Lithuania, LT-03224, tel. +37 (052) 74 48 03, e-mail gediminas.vaiciunas@vgtu.lt

³Design and production engineering consultancy of automated systems at rail transport management, Sichovyi Lane, 4, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 776 72 44, e-mail romyana81@gmail.com, ORCID 0000-0001-6405-2780

⁴Dep. «Railway Transport», Vilnius Gediminas Technical University, Y. Basanavichyus St., 28, Vilnius, Lithuania, LT-03224, tel +37 (052) 74 48 03, e-mail viaceslav.petrenko@vgtu.lt

⁵Dep. «Computer and Information Technologies», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 776 72 44, e-mail thisday@ukr.net, ORCID 0000-0003-1641-8455

ABOUT WAVEFORM OF BRAKING CYLINDER FILLING IN FREIGHT CARS

Purpose. As part of the scientific paper it is necessary to study the waveform impact of the braking cylinders filling on longitudinal train dynamics at different modes of braking. At this one should estimate the level of maximum longitudinal forces and braking distance size in freight cars of various lengths. **Methodology.** In this paper we attempt to approximate the actual diagram of braking cylinders filling with rational functions of varying degrees. In selection of coefficients in the required functions the highest values of the longitudinal forces and braking distances were used as controlled parameters. They were compared with similar values obtained as a result of experimental rides. The level of longitudinal forces and braking distances amount were evaluated by means of mathematical modeling of train longitudinal vibrations, caused by different braking modes. **Findings.** At mathematical modeling was assumed that the train consists of 60 uniform four-axle gondola cars, weight of 80 tons, equipped with air dispenser No. 483 included in the median operation, composite braking blocks, and one locomotive VL-8. Train before braking has been pre-stretched. Various types of pneumatic braking (emergency, full service and adjusting braking) of the freight train on the horizontal section of the track were simulated. As the calculation results were obtained values of the longitudinal forces, braking distances amounts and reduction time in speed at various braking modes.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Originality. Waveform impact of the braking cylinders filling on the longitudinal forces level and braking distances amount in freight trains were investigated. Also the longitudinal loading of freight trains at various pneumatic braking was investigated. **Practical value.** Obtained results can be used to assess the level of largest longitudinal forces and braking distances in the freight trains of different lengths by mathematical modeling of different braking modes.

Keywords: mathematical modeling; transient modes; train motion; pneumatic braking; longitudinal forces; braking distances

REFERENCES

1. Anisimov V.V. Raschet dliny tormoznogo puti s ispolzovaniyem approksimiruyushchikh polinomov [Length calculation of the braking distance using the approximating polynomials]. *Innovatsionnyye tekhnologii v avtomatike, informatike i telekommunikatsiyakh* [Innovative technologies in automation, informatics and telecommunications]. Khabarovsk, 2013. pp. 13-17.
2. Blokhin Ye.P., Zheleznov K.I., Ursuliak L.V. Vychislitelnyy kompleks dlya resheniya zadach bezopasnosti i ustoychivosti dvizheniya podvizhnogo sostava zheleznykh dorog [Computing system for solving problems of security and stability of railway rolling stock]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 18, pp. 106-114.
3. Blokhin Ye.P., Manashkin L.A. *Dinamika poyezda* [Train dynamics]. Moscow, Transport Publ., 1982. 222 p.
4. Blokhin Ye.P. Prodolnyye nagruzki pri perekhodnykh rezhimakh dvizheniya poyezda [Longitudinal loads at transient modes of the train motion]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2000, no. 3, pp. 8-11.
5. Grebenyuk P.T. Dinamika tormozheniya gruzovykh poyezdov [Brake dynamics of freight cars]. *Vestnik VNIIZhTa – Bulletin of ARSRIRT*, 2002, no. 1, pp. 23-27.
6. Nikiforov B.D., Golovkin V.I., Kutuyev Yu.G. *Avtomatizatsiya upravleniya tormozheniyem poyezdov* [Control automation of train braking]. Moscow, Transport Publ., 1985. 263 p.
7. Blokhin Ye.P., Ursulyak L.V., Zheleznov K.I., Romanyuk Ya.N. O vozhdenii dlinnosostavnykh poyezdov [About driving of long compound trains]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 30, pp. 48-55.
8. Blokhin Ye.P., Manashkin L.A., Stambler Ye.L. *Raschety i ispytaniya tyazhelovesnykh poyezdov* [Calculations and tests of heavy trains]. Moscow, Transport Publ., 1986. 264 p.
9. Horobets V.L., Masleieva L.H., Ursuliak L.V., Arsonov V.V. About the evaluation of the longitudinal forces level effecting the track displacement at transient modes of train movement. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 2 (56), pp. 207-221. doi: 10.15802/stp2015/42179.
10. Andersson E., Berg M., Stichel S. Rail Vehicle Dynamics. Stockholm, Royal Institute of Technology Publ., 2005. 168 p.
11. E. Meli, G. Pallini, A. Rindi, F. Capanni, S. Rossin. Effect of Structural Dynamics on the Shaft Line Rotor Response in Turbomachines. *Vibration Engineering and Technology of Machinery. Series: Mechanisms and Machine Science*, 2015, vol. 23, pp. 987-997. doi: 10.1007/978-3-319-09918-7_87.
12. Lingaitis L.P., Dailydka S., Jevdomacha G. Research on selection of modes of driving heavy trains on main IXB and IXD corridors of JSC «Lietuvos geležinkeliai». *Transport problems. Problemy transportu*, 2012, vol. 7, issue 4, pp. 39-47.
13. Lingaitis L.P., Vaičiūnas G., Liudvinavičius L., Jevdomacha G. Methods of calculation line optimum travel of trains with consideration of longitudinal dynamic efforts. *Transport problems. Problemy transportu*, 2013, vol. 8, issue 2, pp. 25-34.
14. Muller L., Witt T. Train—a Computer Model for the Simulation of Longitudinal Dynamics in Trains. Conference on Railway Engineering. Rockhampton, Institution of Engineers Publ., 1998, pp. 181-186.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. И. Гаврилюком (Украина); к.т.н., Н. Е. Науменко (Украина)

Поступила в редколлегию 07.12.2015

Принята к печати 14.03.2016