

В. Д. ДАНОВИЧ, В. В. РЫБКИН, А. Г. РЕЙДЕМЕЙСТЕР,  
Н. В. ХАЛИПОВА, А. П. ТРЯКИН (ДИИТ)

## К ВОПРОСУ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОТИВ ВКАТЫВАНИЯ КОЛЕСА НА РЕЛЬС ДЛЯ ПОРОЖНИХ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

У статті розглядаються питання визначення стійкості проти вкочування гребеня колеса на головку рейки для різних моделей порожніх чотиривісних вантажних вагонів з візками моделей 18-100 (ЦНИИ-ХЗ). Досліджено вплив характеристик вагона на тривалість відрізка часу, протягом якого відбувається вкочування гребеня колеса під час руху вагона по прямій і в кривих малих і середніх радіусів.

В статье рассматриваются вопросы определения устойчивости против вкатывания гребня колеса на головку рельса для различных моделей порожних четырехосных грузовых вагонов с тележками моделей 18-100 (ЦНИИ-ХЗ). Исследовано влияние характеристик вагона на время возможного вкатывания гребня колеса при движении вагона по прямой и в кривых малых и средних радиусов.

The paper considers the issues of determining the rates of stability against a wheel flange climb onto the railhead for various models of empty four-axle freight cars with bogie series 18-100. The influence of the car parameters on the period of probable wheel flange climb in running on straight track sections and in negotiating small and medium-radius curves has been investigated.

Робота посвящена изучению влияния параметров порожнего грузового вагона с тележками моделей 18-100 (ЦНИИ-ХЗ) на показатели безопасности движения и определению предельных скоростей движения по магистральным путям. Результаты получены путем математического моделирования пространственных колебаний системы «грузовой вагон – железнодорожный путь». Основы этого подхода изложены в [1; 2]. Из работ последних лет, посвященных рассматриваемому вопросу, можно упомянуть [3; 4], от которых настоящая работа отличается тем, что в ней рассматривается большее число моделей вагонов и изучается влияние параметров вагона на качественный характер зависимости коэффициента запаса устойчивости против вкатывания гребня колеса на рельс от времени (а не только на его величину).

В период 1991–1992 гг. ДИИТ силами лаборатории динамики и прочности подвижного состава, путеиспытательной и мостоиспытательной лабораторий выполнил на Южно-Уральской железной дороге комплексные исследования воздействия на путь поездов из порожних полувагонов, имеющих в своем составе 300...400 осей [5]. Результаты проведенных исследований показали, что при скорости движения, превышающей 65 км/ч, возникает угроза безопасности движения, связанная с потерей устойчивости порожних полувагонов из-за возможного схода колес.

Выводы ДИИТа подтверждались опытом эксплуатационной работы Южно-Уральской,

Куйбышевской и Западно-Сибирской железных дорог, где имели место сходы поездов из порожних полувагонов.

По результатам неоднократных рассмотрений таких сходов на заседаниях экспертной комиссии, а также анализа экспериментальных исследований ДИИТа с целью обеспечения безопасности движения в 1995 г. приказом Укрзалізниці было введено ограничение скорости движения поездов с порожними вагонами до 70 км/ч.

В 1999–2002 гг. в ДИИТе проводились комплексные исследования с целью подготовки приказа по нормам допускаемых скоростей движения подвижного состава на железных дорогах Украины. В рамках этой работы были проведены теоретические исследования по определению допускаемых скоростей движения четырехосных грузовых вагонов на тележках 18–100 (ЦНИИ-ХЗ) на основе математического моделирования [6]. Моделировалось взаимодействие порожних и груженых четырехосных грузовых вагонов и железнодорожного пути при движении по прямым участкам пути и в кривых радиусом 300 и 600 м. Диапазон исследуемых скоростей движения вагонов 30...90 км/ч с интервалом 20 км/ч.

В качестве возмущений использовались горизонтальные и вертикальные неровности рельсовых нитей, которые были получены путем двукратного интегрирования соответственно горизонтальных и вертикальных ускорений бугк грузового вагона.

Теоретические расчеты выполнялись на ПЭВМ с помощью математической модели, разработанной в ДИИТе [7–9] для выбранных типов вагонов. Экипаж рассматривался как многомассовая нелинейная система, состоящая из 11 твердых тел (кузова, двух надрессорных балок, четырех боковых рам тележек и четырех колесных пар), с жесткими и упруго-фрикционными связями между ними, движущаяся по инерционному упруговязкому пути. Общее число степеней свободы составило 72.

Для исследования были выбраны различные модели грузовых вагонов, обращающихся на сети железных дорог Украины, отличающиеся

длиной базы, массой и положением центра тяжести кузова [10–13].

На основании этих исследований было установлено, что скорость движения в прямых участках пути груженых вагонов может составлять до 90 км/ч. В то же время расчет, проведенный для вагонов в порожнем состоянии, показал, что возможна потеря запаса устойчивости против вкатывания гребня колеса на головку рельса при скорости движения выше 55 км/ч в зависимости от типа исследуемого экипажа [6].

Типы исследованных вагонов и их характеристики в порожнем состоянии приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Значения моментов инерции порожних грузовых вагонов и расстояний от центра масс вагона до уровня головки рельса**

Модель вагона	Длина базы, м	Масса, т	Моменты инерций, т·м <sup>2</sup>			Положение центра масс $z_c$ , м
			$I_x$	$I_y$	$I_z$	
Крытый вагон 11-217	10,00	24,7	48,10	355,47	346,82	2,29
Крытый вагон 11-280	12,24	26,0	53,10	488,11	478,75	2,31
Полувагон 12-4004	15,69	30,0	53,10	1001,64	925,44	2,06
Полувагон 12-726	8,65	22,0	28,58	268,02	277,33	1,79
Цистерна 15-1443	7,80	23,2	32,20	182,91	175,43	2,23
Цистерна 15-884	11,50	31,3	53,10	488,11	478,75	2,31
Хоппер 20-4015	7,78	25,0	36,28	161,92	169,10	1,99
Хоппер 20-480	5,87	22,0	28,70	80,96	85,91	1,72

Определение допустимых скоростей движения вагонов выполнялось на основе сравнения динамических показателей и непогашенных ускорений, действующих на кузов вагона в кривых, с рекомендуемыми и допустимыми значениями [14–16].

Допускаемая скорость движения экипажа определялась на основании оценки устойчивости против вкатывания гребня колеса на рельс по значению коэффициента устойчивости  $K_{уст}$ , поскольку для порожних вагонов этот показатель дал наиболее жесткие ограничения. При оценке результатов исходили из того, что запас устойчивости колеса от вкатывания на головку рельса обеспечен, если вероятность появления значения  $K_{уст}$  в диапазоне до 1,3 не превышает 0,001. Действующие в настоящее время допускаемые величины коэффициента устойчивости  $[K_{уст}] \leq 1,3$  приведены в [15].

В данной статье рассматривается влияние на устойчивость против вкатывания колеса скорости движения и характеристик экипажа.

На рисунках 1, 2 приведены зависимости коэффициента устойчивости набегающего колеса первой колесной пары от времени для порожнего полувагона с базой 8,65 м (модель 12-726) в прямых участках пути при скорости движения 70 км/ч (рис. 1) и 90 км/ч (рис. 2).

Из графика на рис. 1 видно, что при движении порожнего полувагона по прямой некоторые значения коэффициента устойчивости уже при скорости 70 км/ч опускается ниже нормативного значения 1,3. С увеличением скорости до 90 км/ч количество зон возможного вкатывания возрастает (рис. 2).

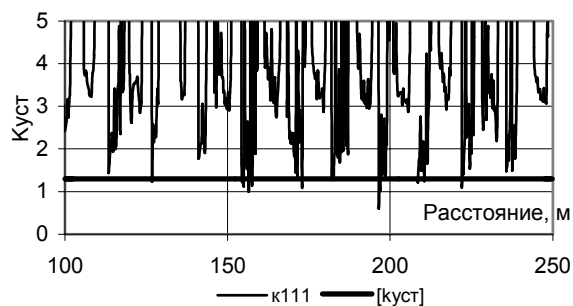


Рис. 1. Изменение коэффициента устойчивости набегающего колеса первой колесной пары порожнего полувагона с базой 8,65 м (модель 12-726) в прямых участках пути при скорости движения 70 км/ч.

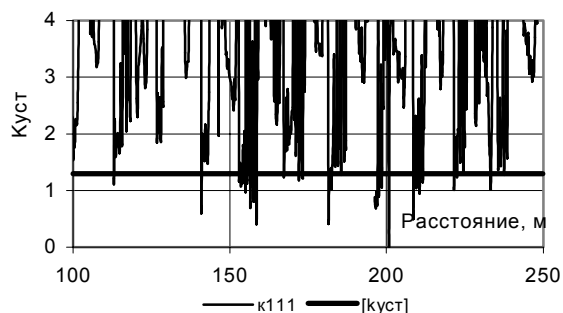


Рис. 2. Изменение коэффициента устойчивости набегающего колеса первой колесной пары порожнего полувагона с базой 8,65 м (модель 12-726) в прямых участках пути при скорости движения 90 км/ч

Были проанализированы зависимости коэффициента устойчивости от скорости движения для всех исследуемых экипажей. Графики зависимостей для полувагона с базой 8,65 м приведены на рис. 3 при движении в прямой, на рис. 4 – в кривой 600 м при возвышении наружного рельса 0, 60 и 150 мм, на рис. 5 – в кривой 300 м при возвышении наружного рельса 0, 95 и 150 мм.

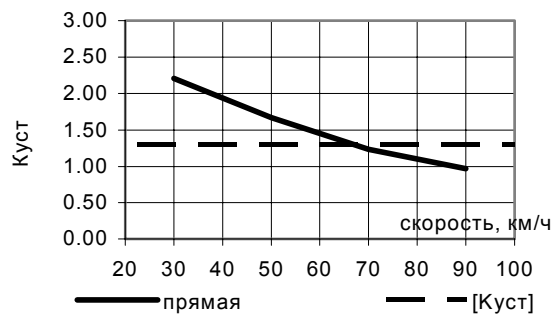


Рис. 3. Зависимость коэффициента устойчивости полувагона с базой 8,65 м (модель 12-726) от скорости в прямых участках пути

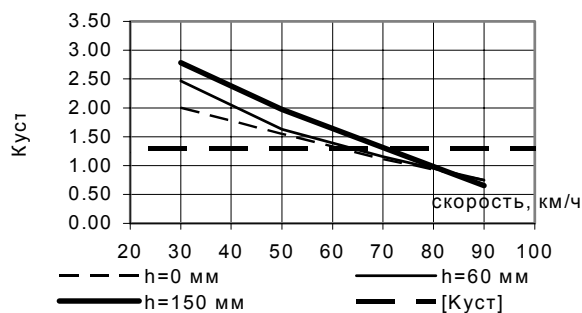


Рис. 4. Зависимость коэффициента устойчивости полувагона с базой 8,65 м (модель 12-726) от скорости в кривой радиусом 600 м

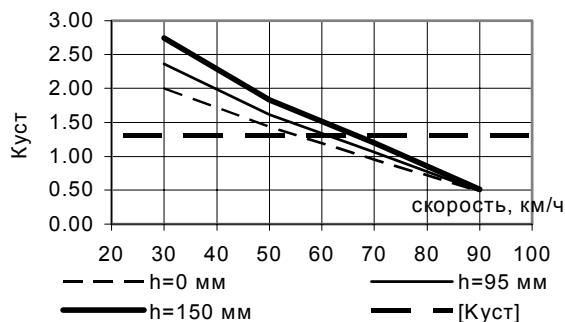


Рис. 5. Зависимость коэффициента устойчивости полувагона с базой 8,65 м (модель 12-726) от скорости в кривой радиусом 300 м

Анализ графиков (рис. 3–5) показывает, что у полувагона с базой 8,65 м ограничение скорости в прямой по коэффициенту устойчивости против вкатывания гребня колеса на рельс устанавливается при скорости 65...70 км/ч.

На рис. 6 приведен график для порожнего полувагона с длиной базы 15,69 м. Из графика видно, что при базе 15,69 м ограничение скорости из-за возможного вкатывания устанавливается при скорости 55 км/ч.

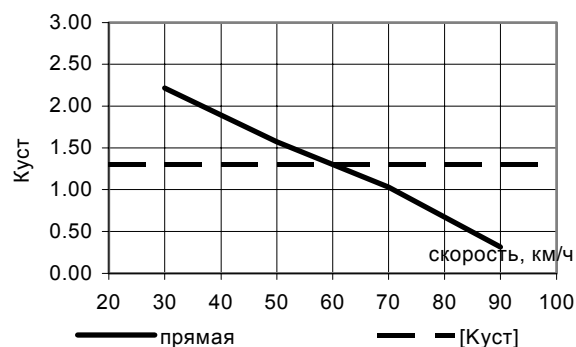


Рис. 6. Зависимость коэффициента устойчивости порожнего полувагона с базой 15,69 м (модель 12-4004) от скорости в прямых участках пути

Из рис. 7–9 видно, что для крытого вагона с базой 12,24 м в прямой вкатывание возможно при скорости выше 65 км/ч, для хоппера с базой 5,87 м и цистерны с базой 7,8 м – при скорости выше 60 км/ч. На графиках приведены также зависимости коэффициента устойчивости от скорости в кривых радиусом 600 м при возвышении наружного рельса 60 мм и радиусом 300 м при возвышении 95 мм.

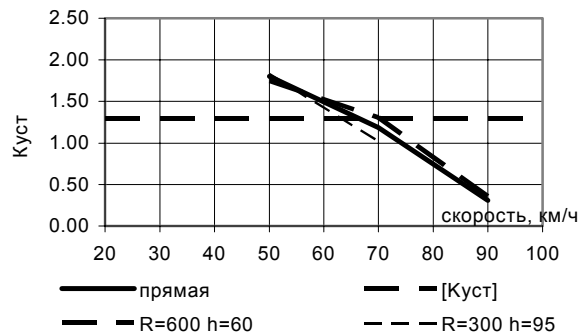


Рис. 7. Зависимость коэффициента устойчивости крытого вагона с базой 12,24 м (модель 11-280) в прямых участках пути и в кривых радиусом 600 и 300 м

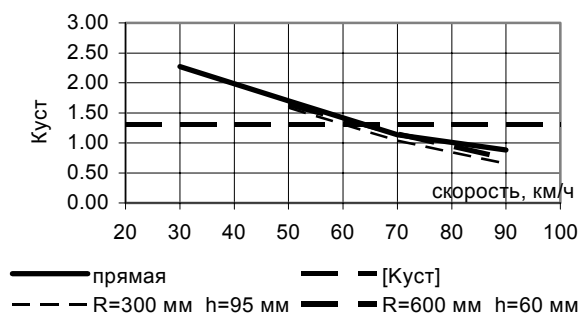


Рис. 8. Зависимость коэффициента устойчивости хоппера с базой 5,87 м (модель 20-480) в прямых участках пути и в кривых радиусом 600 и 300 м

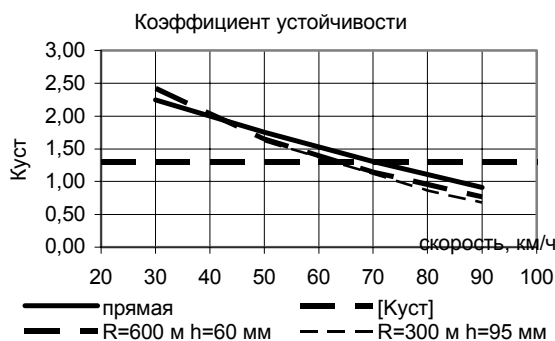


Рис. 9. Зависимость коэффициента устойчивости цистерны с базой 7,8 м (модель 150-1443) в прямых участках пути и в кривых радиусом 600 и 300 м

Допускаемые скорости движения грузовых и порожних вагонов, полученные в результате математического моделирования, представлены в табл. 2 для прямых участков пути, в кривых радиусом 600 и 300 м.

Таблица 2

Допускаемые скорости движения порожних вагонов

Тип экипажа	Допускаемые скорости движения, км/ч, в участках пути				
	Прямая	Кривая 600 м с возвышением, мм		Кривая 300 м с возвышением, мм	
		0	60	0	95
Крытый вагон, модель 11-217	70		70		60
Крытый вагон, модель 11-280	65		70		60
Полувагон, модель 12-726	70		65		60
Полувагон, модель 12-4004	55	45	55	35	55
Цистерна, модель 15-1443	70		60		60
Цистерна, модель 15-884	70		70		60
Хоппер, модель 20-4015	75		70		60
Хоппер, модель 20-480	65		65		60

Согласно [2] даже, если значение коэффициента устойчивости против вкатывания колеса принимает значение ниже нормативного, это не означает, что сход колеса с рельса неизбежен. Для того, чтобы произошел сход время действия сил, при котором нарушено нормативное значение коэффициента устойчивости должно быть таким, чтобы колесо успело вкатиться гребнем на рельс.

При помощи модели были произведены расчеты, получены и проанализированы зависимости времени  $t_{\text{возм. вк}}$  когда может произойти вкатывание гребня набегающего колеса на головку рельса, от скорости и типа экипажа. Под временем возможного вкатывания гребня колеса на рельс в данной статье подразумевается непрерывный интервал времени, в течение которого значение коэффициента устойчивости принимает значение ниже нормативного. На рис. 10–12 приведены фрагменты зависимости

коэффициента устойчивости от времени для хоппера с базой 5,87 м (рис. 10), для крытого вагона с базой 12,24 м и для цельнометаллического полувагона с базой 15,69 м при движении по прямому участку пути. Фрагменты показаны в тех местах, где значение коэффициента устойчивости опускается ниже нормативного значения на протяжении наибольшего промежутка времени. Здесь же стрелками указаны участки возможного вкатывания колеса на рельс  $l_{\text{возм. вк}}$  на уровне, соответствующем нормативному значению коэффициента устойчивости.



Рис. 10. Зависимость коэффициента устойчивости хоппера с базой 5,87 м в прямых участках при движении со скоростью 90 км/ч

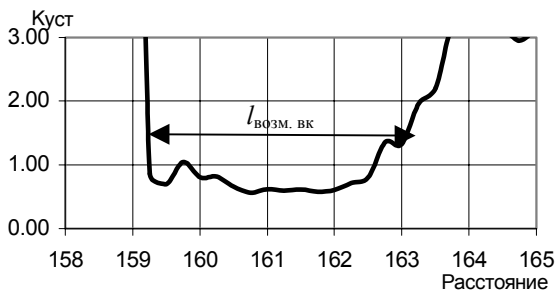


Рис. 11. Зависимость коэффициента устойчивости крытого вагона с базой 12,24 м в прямых участках при движении со скоростью 90 км/ч

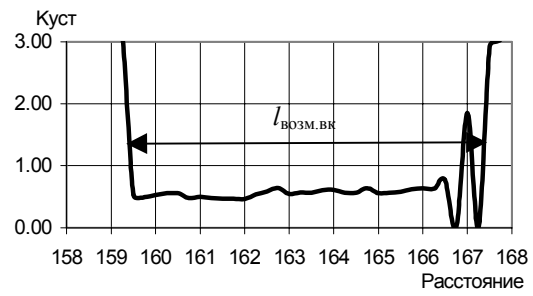


Рис. 12. Зависимость коэффициента устойчивости полувагона с базой 15,69 м в прямых участках при движении со скоростью 90 км/ч

Анализ графиков на рис. 10–12 показывает, что с увеличением длины базы возрастает время возможного вкатывания гребня колеса на головку рельса. Так, для хоппера этот промежуток равен 0,03 с, для крытого вагона – 0,16 с, для длиннобазного полувагона – 0,27 с.

Были сделаны расчеты и проведен анализ времени возможного вкатывания гребня колеса на головку рельса для всех исследуемых экипажей при скоростях движения 50, 70 и 90 км/ч. Из всех значений времени возможного вкатывания для каждого из экипажей были выбраны максимальные значения. Результаты представлены в виде гистограмм на рис. 13–15.

Из анализа гистограмм видно, что при увеличении скорости и длины базы экипажа возрастает и время возможного вкатывания гребня колеса на рельс. Так, при скорости 90 км/ч в прямом участке пути при увеличении базы от 5,87 м (хоппер) до 15,64 м (длиннобазный полувагон) время вкатывания (возрастает от 0,03 до 0,27 с, т. е. почти в десять раз. Аналогичная ситуация наблюдается и при движении экипажей в кривых участках пути.

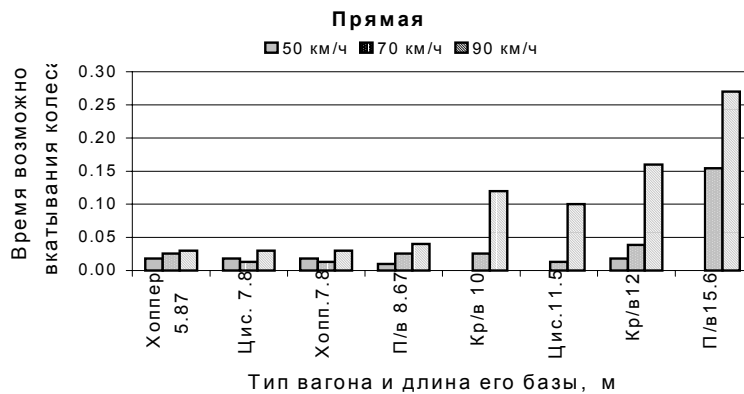


Рис. 13. Время возможного вкатывания гребня колеса на головку рельса при движении экипажей по прямому участку пути

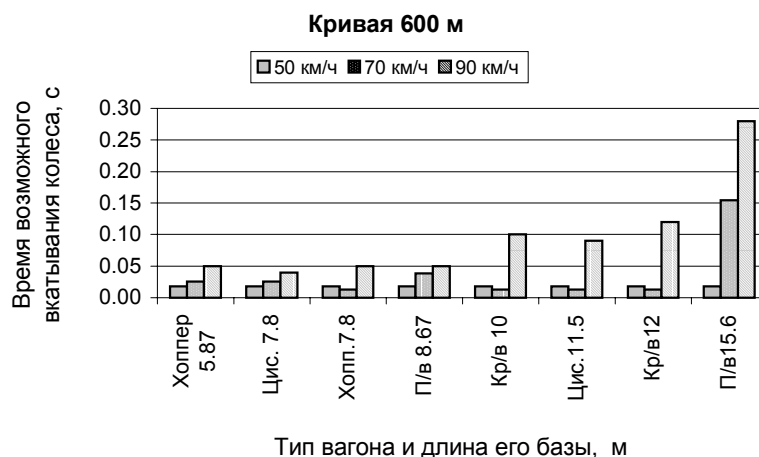


Рис. 14. Время возможного вкатывания гребня колеса на головку рельса при движении экипажей в кривой радиусом 600 м

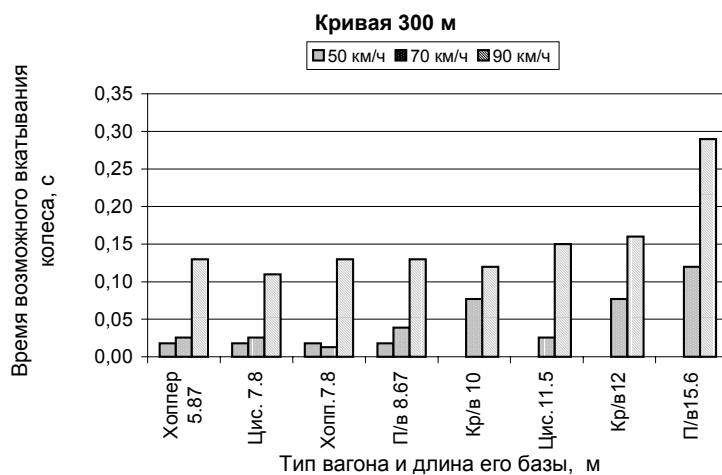


Рис. 15. Время возможного вкатывания гребня колеса на головку рельса при движении экипажей в кривой радиусом 300 м

В течение времени возможного вкатывания гребень колеса не вкатывается на рельс, но колесо и не спускается обратно в колею, если по каким-то причинам началось всползание гребня. Сход происходит в течение 0,03...0,08 с [4] под воздействием рамных сил значительно больших, чем те, что встретились при проведении расчетов.

### Выводы

1. Скорость движения порожних вагонов следует ограничить величиной 60...70 км/ч – в зависимости от типа вагона и характера участка пути, по которому осуществляется движение в соответствии с табл. 2. При больших скоростях значение коэффициента запаса устойчивости колеса против вкатывания на головку рельса оказывается меньше допустимой величины.

2. С увеличением длины базы вагона и скорости движения растет продолжительность отрезка времени, в течение которого коэффициент запаса устойчивости колеса принимает значения ниже допустимых.

3. Наиболее перспективным направлением дальнейших исследований представляется изучение неровностей железнодорожного пути на участках разных классов и моделирование поведения вагона на этих неровностях.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лазарян В. А. Динамика вагонов. – М.: Транспорт, 1964. – 240 с.
2. Вершинский С. В. Данилов В. И., Хусидов В. Д. Динамика вагонов. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.
3. Данович В. Д., Рыбкин В. В., Мямлин С. В., Рейдемейстер А. Г., Трякин А. П., Халипова Н. В. Определение допустимых скоростей движения грузовых вагонов по железнодорожным

- путям колеи 1520 мм // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. 2003. – Вип. 2. – С. 77–86.
4. Блохин Е. П., Пшинько А. Н., Коротенко М. Л., Рейдемейстер А. Г. О запасе устойчивости колеса против схода с рельса // Залізничний транспорт України, 2002. – № 2. – С. 22–24.
  5. Отчет по НИР «Комплексные экспериментальные исследования динамических процессов в длинносоставных поездах из порожних полуприцепов и динамической нагруженности пути с целью разработки рекомендаций, направленных на обеспечение стабильности пути на участке Макушино–Петропавловск Южно–Уральской железной дороги». ДИИТ. 1992 г. УДК 625.151.21:629.4.116. – 197 с.
  6. Звіт за НДР «Норми допустимих швидкостей руху локомотивів і вагонів по залізничних коліях України шириною 1520 мм». ДНТ. 2002р. УДК 629.46.015/.016:625.03, № ДР 0102U003580, 330 с.
  7. Данович В. Д. Пространственные колебания вагонов на инерционном основании: Дис. ... д-ра техн. наук: – Д., 1982. – 465 с.
  8. Рейдемейстер А. Г.: Дис. ... канд. техн. наук: – Д., 2000. – 230 с.
  9. Данович В. Д., Рейдемейстер А. Г., Халипова Н. В. Математическая модель взаимодействия пути и пассажирского вагона при движении по участкам произвольной кривизны // Транспорт: 36. науч. пр. – Д.: Нова ідеологія, 2001. Вип. 8. – С. 124–138.
  10. Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СССР. Альбом-справочник. – М.: Транспорт, 1989.
  11. Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм. Альбом справочник 002И-97 ПКБ ЦВ. – М., ПКБ, 1998.
  12. Цистерны. Устройство, эксплуатация, ремонт. Справочное пособие.– М.: Транспорт, 1990.
  13. Пастухов И. Ф. и др. Вагоны. – М.: Транспорт, 1988.
  14. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: Гос. НИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
  15. О нормах допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм: утверждено приказом МПС России № 41 от 02.11.01.
  16. Вериги М. Ф., Коган А. Я. Взаимодействие пути и подвижного состава / Под ред. М. Ф. Вериги. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.

Поступила в редколлегию 18.11.03.