

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСКАЕМЫХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ПО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ПУТЯМ КОЛЕИ 1520 ММ

Стаття присвячена питанням установлення допустимих швидкостей руху різних типів чотиривісних вантажних вагонів з візками моделей 18-100 (ЦНДІ-ХЗ) при різному завантаженні. Наведено результати комплексних досліджень динамічних якостей вагонів і оцінений їхній вплив на залізничну колію. У результаті досліджень пропонується установити диференційований підхід до установлення допустимих швидкостей руху для порожніх і навантажених вагонів.

Статья посвящена вопросам установления допускаемых скоростей движения различных типов четырехосных грузовых вагонов с тележками моделей 18-100 (ЦНИИ-ХЗ) при разной загрузке. Приведены результаты комплексных исследований динамических качеств вагонов и оценено их влияние на железнодорожный путь. В результате исследований предлагается установить дифференцированный подход к установлению допускаемых скоростей движения для порожних и груженых вагонов.

The article is devoted to questions of the admitted speeds establishment of various types of freight 4 axis cars movement with carriages 18-100 (ЦНИИ-ХЗ), in empty and full a condition. The results of the complex researches of dynamic qualities of the cars are given and their influence on a track is appreciated. As a result of researches it is offered to establish different the approach to an establishment of admitted speeds of movement for empty and full cars.

Установление допускаемых скоростей движения вагонов по прямым и кривым участкам пути представляет сложную научно-техническую задачу. Это связано с тем, что по железным дорогам Украины, имеющим прямые и кривые участки с разными конструкциями пути, перевозки грузов осуществляются вагонами шести видов, насчитывающих 260 моделей.

Модели каждого вида отличаются количеством осей, грузоподъемностью, массой тары вагона, базой вагона, длиной рамы, длиной кузова или котла, шириной, конструкцией кузова, расстоянием от уровня верха головок рельсов до центра тяжести вагона и другими параметрами, влияющими на величину допускаемых скоростей движения. Перечень обращающихся вагонов, их общий вид, габаритные размеры и технические характеристики приведены в литературе и альбомах-справочниках [1–4].

В ДИИТе в 2000–2002 гг. выполнялись теоретические исследования для определения допускаемых скоростей движения загруженных и порожних грузовых вагонов [5]. Результаты исследования учтены при разработке «Норм допустимых швидкостей руху рухомого складу по залізничних коліях державної адміністрації залізничного транспорту України шириною 1520 (1524) мм».

Исследования основывались на оценке показателей воздействия вагонов на путь и динамических показателей вагонов.

Поскольку исследование скоростей движения всех видов и моделей вагонов представляет сложную задачу, для теоретических исследований на основе анализа конструкций грузовых вагонов были выбраны наиболее характерные виды и модели вагонов.

На основании выполненного анализа для теоретических исследований были выбраны следующие виды и модели вагонов в зависимости от длины кузова и расстояния от поверхности катания рельса до центра тяжести вагона:

- четырехосный крытый цельнометаллический вагон с уширенными дверными проемами с базой 10 м, модель 11-217;
- четырехосный крытый вагон с базой 12,24 м, модель 11-280;
- четырехосный цельнометаллический полувагон с базой 8,65 м, модель 12-726;
- четырехосный полувагон для технологической щепы с базой 15,69 м, модель 12-4004;
- четырехосная цистерна для кальцинированной соды с базой 11,5 м, модель 15-884;
- четырехосная цистерна для бензина и светлых нефтепродуктов с базой 7,8 м, модель 15-1443;
- четырехосный вагон-хоппер для окатышей с базой 7,78 м, модель 20-4015;
- четырехосный полувагон-хоппер для горячих окатышей и агломерата с базой 5,87 м, модель 20-480.

Определение показателей воздействия на путь было произведено в соответствии с методикой расчета пути на прочность [6].

В качестве показателей воздействия вагонов на путь принимались напряжения растяжения в кромке подошвы рельса при его изгибе и кручении под действием вертикальных и горизонтальных сил (σ_k), напряжения смятия в шпалах (прокладках) под подкладками ($\sigma_{ш}$), напряжения сжатия в балласте (σ_6), напряжения

сжатия на основной площадке земляного полотна (σ_3) в подрельсовой зоне.

Оценка воздействия вагонов на путь производилась сравнением расчетных напряжений в элементах пути, возникающих при движении вагона с разными скоростями, с рекомендуемыми и допускаемыми значениями. Действующие в настоящее время допускаемые и рекомендуемые величины напряжений [7] приведены в табл. 1.

Таблица 1

Критерии прочности пути при воздействии вагонов

Критерии	Единица измерения	Тип конструкции элементов пути	Категория линии		
			I, II	III	IV
$[\sigma_k]$	МПа	Рельсы Р75, Р65, Р50, Р43 длиной 12,5 и 25,0 м	240	240	240
$[\sigma_{ш}]$	МПа	Шпалы деревянные (сосновые)	1,5	1,5	1,8
		Шпалы железобетонные	4,0	4,0	4,0
$[\sigma_6]$	МПа	Балласт щебеночный	0,325	0,325	0,325
		Балласт гравийный	0,260	0,260	0,260
		Балласт песчаный	0,200	0,200	0,200
$[\sigma_3]$	кПа	Земляное полотно	80	80	80

С помощью программы расчета пути на прочность были рассчитаны допускаемые скорости движения грузовых нагруженных четырехосных вагонов на тележках 18-100 (ЦНИИ-ХЗ) с нагрузкой на ось до 235 кН включительно, а также нагруженных восьмиосных вагонов с нагрузкой на ось до 220 кН включительно. При этом учитывался тип верхнего строения пути – тип рельсов (Р65, Р50, Р43), их приведенный износ (6 мм); количество шпал на 1 км (1840, 2000), род балласта (Щ – щебеночный, Гр – гравийный, П – песчаный).

Допускаемые скорости движения определялись по данным расчета с учетом опыта эксплуатации и проведенных ранее экспериментальных исследований отдельных моделей вагонов приведены в табл. 2. Обозначение «Н» в таблице показывает, что допускаемая скорость выбрана по непогашенному ускорению α . Допускаемая величина непогашенного ускорения для грузовых поездов составляет $[\alpha] = \pm 0,3 \text{ м/с}^2$ с целью снижения эксплуатационных затрат на содержание пути [8].

Таблица 2

Допускаемые скорости движения грузовых нагруженных четырехосных вагонов на тележках 18-100 (ЦНИИ-ХЗ) по расчетам пути на прочность

Тип верхнего строения пути	Допускаемые скорости, км/ч								
	Прямая	Радиус кривых, м							
		1000	800	700	600	500	400	350	300
Р65(6) 1840, 2000 Щ, Гр, П, и тяжелее	90	90	90	90	90	90	Н-80	Н-75	Н-70
Р65(6) 1600 Щ, Гр, П	80	80	80	80	80	80	80	Н-75	Н-70
Р50(6) 1840, 2000 Щ, Гр, П	75	75	75	75	75	75	75	65	50
Р50(6) 1600 Щ, Гр, П	60	60	60	60	60	60	60	60	55

Тип верхнего строения пути	Допускаемые скорости, км/ч								
	Прямая	Радиус кривых, м							
		1000	800	700	600	500	400	350	300
Р43(6) 1840, 2000 Щ	65	65	65	65	65	55	50	45	35
Р43(6) 1600 Щ	50	50	50	50	50	45	40	30	25
Р43(6) 1840, 2000 Гр	65	65	65	60	50	45	40	35	25
Р43(6) 1600 Гр	60	50	50	50	45	40	30	25	15
Р43(6) 1840, 2000 П	50	50	50	45	45	40	30	25	20
Р43(6) 1600 П	50	450	40	40	35	30	25	20	10

Определение динамических показателей вагонов было произведено моделированием движения вагонов по кривым и прямым участкам пути при помощи многомассовой нелинейной модели колебаний четырехосного грузового вагона, специально разработанной в ДИИТе для решения данной задачи [9; 10]. В этой модели экипаж рассматривается как система, состоящая из 11 твердых тел с жесткими и упруго-фрикционными связями между ними, движущихся по инерционному упруго-вязкому пути.

Расчеты на модели производили для верхнего строения пути с рельсами типа Р65, со щебеночным балластом, на железобетонных шпалах с эпюрой 1840 шт./км в прямых и в кривых участках пути.

Проверка возможности использования математической модели для определения динамических показателей с целью установления допускаемых скоростей движения грузовых вагонов была выполнена путем сравнения динамических показателей, полученных расчетным путем, с величинами этих же показателей, полученных в ходе экспериментальных исследований, проводимых ранее ДИИТом в условиях магистральных железных дорог Украины.

Сопоставление экспериментальных и теоретических данных производилось для полувагона, крытого вагона, хоппера и цистерны в прямых участках пути, а также в кривых радиусом 600 и 300 м и дало хорошую сходимость

На рис. 1–4 приведены для примера результаты сопоставления значений динамических показателей – коэффициентов горизонтальной и вертикальной динамики необрессоренной части вагона ($k_{дв}$, $k_{дг}$), полученных путем моделирования (сплошные линии), с данными экспериментальных исследований (линии в виде точек) для четырехосного грузового груженого и порожнего полувагона на тележках

ЦНИИ-ХЗ в прямых участках пути. Результаты сопоставления приведены: для груженого полувагона – на рис. 1, 2, для порожнего полувагона – на рис. 3, 4. Экспериментальные данные по динамическим показателям для порожних и груженых четырехосных полувагонов, хопперов и цистерн на тележках модели 18-100 были получены при проведении динамических ходовых испытаний на участках Приднепровской железной дороги с различным типом верхнего строения пути в удовлетворительном, хорошем и отличном состоянии [11; 12].

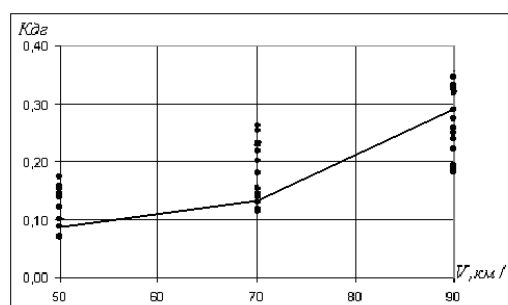


Рис. 1. Зависимости теоретических и экспериментальных значений коэффициента горизонтальной динамики $k_{дг}$ от скорости груженого полувагона в прямой

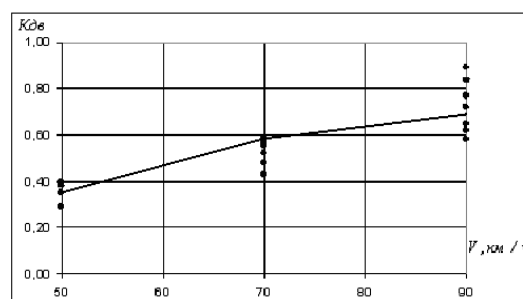


Рис. 2. Зависимости теоретических и экспериментальных значений коэффициента вертикальной динамики $k_{дв}$ от скорости груженого полувагона в прямой

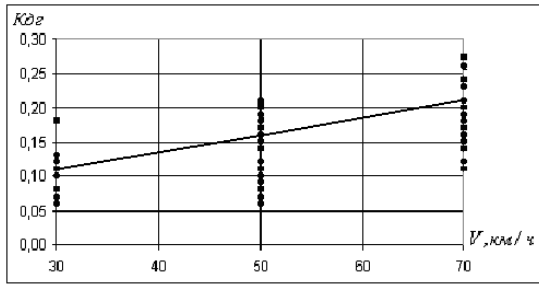


Рис. 3. Зависимости теоретических и экспериментальных значений коэффициента горизонтальной динамики $k_{дг}$ от скорости порожнего полувагона в прямой

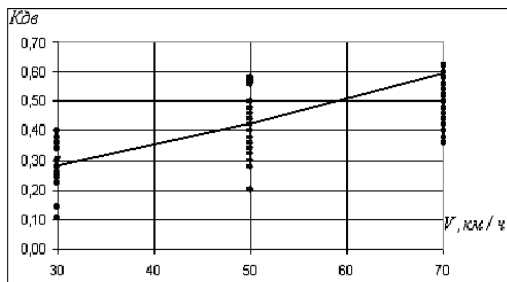


Рис. 4. Зависимости теоретических и экспериментальных значений коэффициента вертикальной динамики $k_{дв}$ от скорости порожнего полувагона в прямой

Из рис. 1–4 видно, что все расчетные кривые лежат в диапазоне изменения опытных данных, что позволило применить данную математическую модель для решения задачи определения допускаемых скоростей движения грузовых вагонов.

Установление допускаемых скоростей движения вагонов на основе динамических показателей – коэффициентов горизонтальной $k_{дг}$ и вертикальной $k_{дв}$ динамики, а также возникающих при движении в кривых непогашенных ускорений α , действующих на кузов вагона, выполнено путем сравнения расчетных показателей с рекомендуемыми и допускаемыми значениями.

Критическая скорость движения экипажа определялась на основании оценки устойчивости против вкатывания гребня колеса на рельс по значению коэффициента устойчивости $K_{уст}$. Также рассматриваются вертикальные и горизонтальные ускорения пятников тележек (j_v, j_r , в долях g).

Действующие в настоящее время рекомендуемые и допускаемые величины динамических показателей для вагонов [7; 13; 14] приведены в табл. 3.

Таблица 3

Допускаемые динамические показатели для грузовых вагонов

Критерий	Груженный вагон	Порожний вагон
$[K_{дв}]$	0,80	0,85
$[K_{дг}]$	0,40	0,40
$[K_{уст}]$	1,30	1,30
$[j_v]$	0,60	0,70
$[j_r]$	0,30	0,30

Приведенное в табл. 3 нормативное значение коэффициента устойчивости $K_{уст}$ представляет минимальное значение коэффициента устойчивости против вкатывания гребня колеса на рельс для обеспечения безопасной езды.

Динамические качества вагонов (в порожнем и груженом состоянии) в значительной степени зависят от величин моментов инерции их обрессоренных масс.

Расчитанные для выбранных моделей грузовых вагонов значения моментов инерции порожних и загруженных до полной грузоподъемности вагонов, а также расстояния от центра масс кузова вагона до уровня головки рельса приведены в табл. 4.

Таблица 4

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

Модель вагона	Загрузка	Масса, т	Моменты инерций, $t \cdot M^2$			Положение центра масс z_c, M
			I_x	I_y	I_z	
11-217	порожн.	24,7	48,1	355,47	346,82	2,29
	грузов.	92,7	135,4	1485,67	1476,04	2,58

Модель вагона	Загрузка	Масса, т	Моменты инерций, т · М ²			Положение центра масс z_c , м
			I_x	I_y	I_z	
11-280	порожн.	26,0	53,1	488,11	478,75	2,31
	грузов.	94,0	141,1	1933,29	1922,26	2,61
12-4004	порожн.	30,0	143,2	1001,64	925,44	2,06
	грузов.	88,0	225,3	2978,40	2908,80	2,52
12-726	порожн.	22,0	28,58	268,02	277,33	1,79
	грузов.	91,0	105,4	1137,44	1165,14	2,34
15-443	порожн.	23,2	32,2	182,91	175,43	2,23
	грузов.	83,2	100,6	795,42	787,04	2,34
15-884	порожн.	26,0	53,1	488,11	478,75	2,31
	грузов.	94,0	141,1	1933,29	1922,26	2,61
20-4015	порожн.	25,0	36,28	161,92	169,10	1,99
	грузов.	100,0	146,3	428,21	434,49	2,49
20-480	порожн.	22,0	28,7	80,96	85,91	1,72
	грузов.	92,0	132,2	235,24	239,37	2,29

Определение допускаемых скоростей движения грузовых вагонов производилось при помощи математической модели при движении по прямым и кривым радиусом 300 м и 600 м в диапазоне исследуемых скоростей движения вагонов – от 30 км/ч до 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 букс грузового вагона.

Допускаемые скорости движения определялись по результатам сравнения динамических показателей с их допускаемыми значениями.

Ниже приведены некоторые из графиков, показывающие зависимость от скорости движения динамических показателей, по которым получено наибольшее ограничение скорости для исследуемых моделей вагонов. Из приведенных графиков видно, что значения динамических показателей увеличиваются с ростом скорости движения, а коэффициента устойчивости – уменьшается. На всех рисунках проведены горизонтальные линии на уровне допустимых значений соответствующих показателей. Точки, в которых они пересекаются с теоретическими линиями, определяют допускаемые скорости движения. При этом на значение до-

пускаемой скорости движения загруженных вагонов наибольшее значение оказывает коэффициент вертикальной динамики и горизонтальные ускорения пятника. Основным динамическим показателем, по которому вводится ограничение скорости движения порожних вагонов является коэффициент устойчивости.

Графики зависимости коэффициента вертикальной динамики, горизонтальных ускорений пятника и коэффициента устойчивости от скорости движения в прямых участках пути и в кривых радиусом 600 м (при различных возвышениях наружного рельса – 0 мм, 60 мм и 150 мм), приведены на рис. 5–7 для груженого и на рис. 8–10 – для порожнего полувагона с базой 8,65 м (модель 12-726).

Из графиков на рис. 5–7 видно, что для груженого полувагона при движении по прямому участку ограничение скорости до 90 км/ч устанавливается по горизонтальным ускорениям пятников.

Значение допускаемой скорости в кривой радиусом 600 м зависит от возвышения наружного рельса в кривой и наименьшее значение – 75 км/ч получено в связи с ограничением по коэффициенту вертикальной динамики при возвышении 0 мм. Однако, по непогашенному ускорению α в кривой с такими характеристиками нужно принять скорость 45 км/ч.

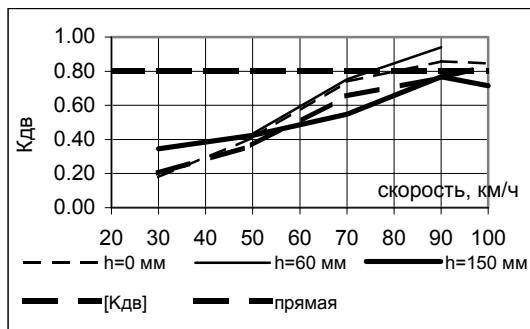


Рис. 5. Зависимость коэффициента вертикальной динамики груженого полувагона от скорости движения в прямой и в кривой радиусом 600 м

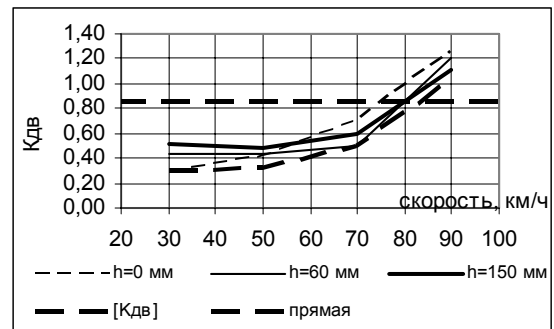


Рис. 8. Зависимость коэффициента вертикальной динамики порожнего полувагона от скорости движения в прямой и в кривой радиусом 600 м

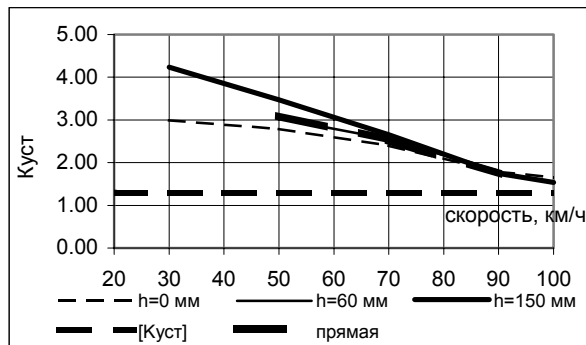


Рис. 6. Зависимость коэффициента устойчивости груженого полувагона от скорости движения в прямой и в кривой радиусом 600 м

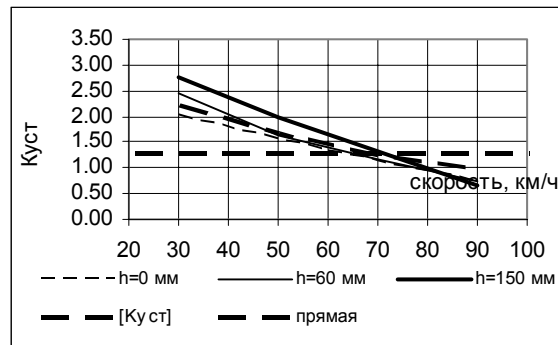


Рис. 9. Зависимость коэффициента устойчивости порожнего полувагона от скорости движения в прямой и в кривой радиусом 600 м.

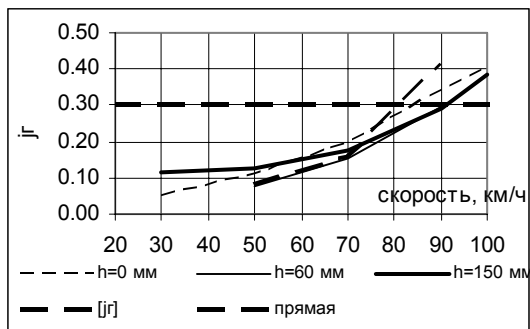


Рис. 7. Зависимость горизонтальных ускорений пятника груженого полувагона с базой 8,65 м (модель 12-726) от скорости в прямой и в кривой радиусом 600 м

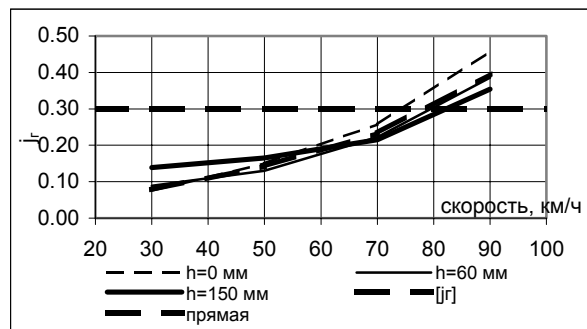


Рис. 10. Зависимость горизонтальных ускорений пятника порожнего полувагона с базой 8,65 м (модель 12-726) в прямой и в кривой радиусом 600 м.

Из графиков на рис. 8–10 видно, что для порожнего полувагона ограничение скорости в прямой до 65 км/ч наступает по коэффициенту устойчивости. В кривой радиусом 600 м с возвышением наружного рельса 60 мм ограничение скорости до 65 км/ч также наступает по значению коэффициента устойчивости.

На рис. 11 приведена зависимость коэффициента устойчивости от скорости для порожнего хоппера с базой 7,78 м (модель 20-4015) при движении в прямой и кривой радиусом 600 м с возвышением 60 мм.

Из графиков на рис. 11 видно, что и в этом случае ограничение скорости до 60 км/ч наступает по коэффициенту устойчивости.

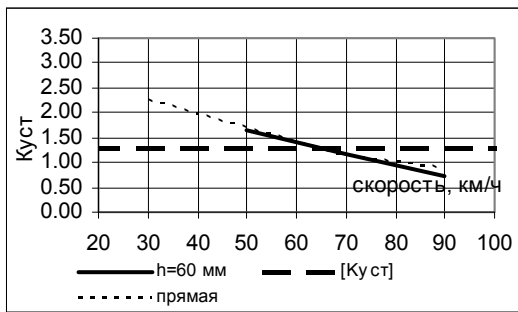


Рис. 11. Зависимость коэффициента устойчивости порожнего хопера от скорости движения в прямой и в кривой радиусом 600 м

На рис. 12–13 приведены графики динамических показателей для длиннобазного вагона с базой 15,69 м модели 12-4004 при движении по прямой – коэффициента горизонтальной динамики для груженого и порожнего вагона (рис. 12) и коэффициента устойчивости для груженого и порожнего вагона (рис. 13).

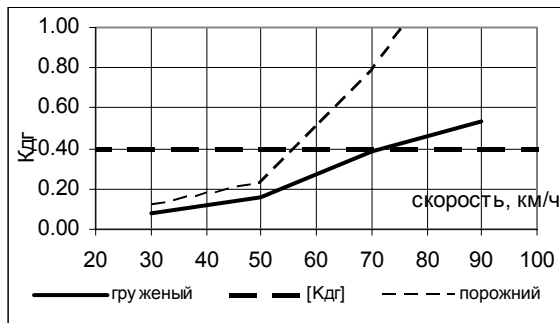


Рис. 12. Зависимость коэффициента горизонтальной динамики порожнего и груженого полувагона от скорости движения в прямой

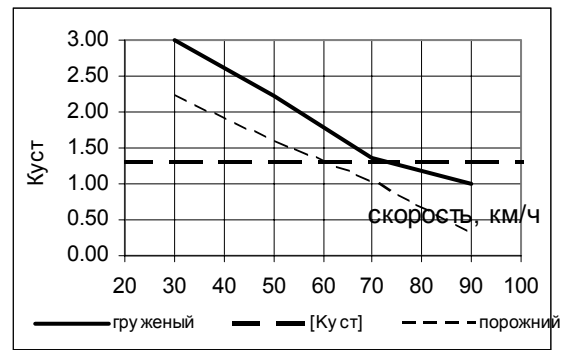


Рис. 13. Зависимость коэффициента устойчивости порожнего и груженого полувагона от скорости движения в прямой

Из рисунков видно, что поведение экипажа с длинной базой требует более жестких ограничений скорости движения – до 75 км/ч для груженого вагона и до 55 км/ч для порожнего вагона.

В табл. 5–7 приведены допустимые скорости движения исследуемых экипажей в прямых участках пути, кривых радиусом 600 и 300 м, а также приводятся показатели, которые приводят к такому ограничению.

Значения допустимых скоростей могут изменяться в зависимости от состояния пути и подвижного состава. В соответствии с данной методикой можно учитывать эти изменения.

Таблица 5

Допускаемые скорости движения в прямой

Тип экипажа	Загрузка	Допускаемые скорости движения, км/ч	По показателю
Крытый вагон, модель 11-217	грузов.	90	J_{Γ}
	порожн.	70	$k_{уст}$
Крытый вагон, модель 11-280	грузов.	90	по всем
	порожн.	65	$k_{уст}$
Полувагон, модель 12-726	грузов.	90	по всем
	порожн.	70	$k_{уст}$
Полувагон, модель 12-4004	грузов.	75	$k_{дг}, k_{уст}$
	порожн.	55	$k_{дг}$

Тип экипажа	Загрузка	Допускаемые скорости движения, км/ч	По показателю
Цистерна, модель 15-1443	грузов.	90	по всем
	порожн.	70	$k_{уст}$
Цистерна, модель 15-884	грузов.	80	$j_{г}$
	порожн.	70	$k_{уст}$
Хоппер, модель 20-4015	грузов.	90	по всем
	порожн.	75	$k_{уст}$
Хоппер, модель 20-480	грузов.	90	по всем
	порожн.	65	$k_{уст}$

Таблица 6

Допускаемые скорости движения в кривой радиусом 600 м

Модель экипажа	Загрузка	Допускаемые скорости движения, км/ч, при возвышении, мм					
		0	Показатель	60	Показатель	150	Показатель
11-217	грузов.	45	α	70	α	—	—
	порожн.				$\alpha, k_{уст}$	—	—
11-280	грузов.				α	—	—
	порожн.				$\alpha, k_{уст}, k_{дп}$	—	—
12-726	грузов.				α	90	$\alpha, j_{г}$
	порожн.				65	$k_{уст}$	70
12-4004	грузов.			70	$\alpha, k_{уст}$	—	—
	порожн.			55	$k_{уст}$	—	—
15-1443	грузов.			70	α	—	—
	порожн.			60	$\alpha, k_{уст}$	—	—
15-884	грузов.			70	α	—	—
	порожн.				$\alpha, k_{уст}$	—	—
20-4015	грузов.	α	—		—		
	порожн.	$\alpha, k_{уст}$	—		—		
20-480	грузов.	α	—		—		
	порожн.	65	$k_{уст}$		—	—	

Допускаемые скорости движения в кривой радиусом 300 м

Тип экипажа	Загрузка	Допускаемые скорости движения, км/ч, при превышении, мм					
		0	Показатель	60	Показатель	150	Показатель
Крытый вагон, модель 11-217	грузов.	35	α	60	α	—	—
	порожн.				α	—	—
Крытый вагон, модель 11-280	грузов.				α	—	—
	порожн.				$\alpha, k_{уст}, k_{дп}$	—	—
Полувагон, модель 12-726	грузов.				α	70	α
	порожн.				$\alpha, k_{уст}$	65	$k_{уст}$
Полувагон, модель 12-4004	грузов.			α	—	—	
	порожн.			55	$k_{уст}$	—	—
Цистерна, модель 15-1443	грузов.			60	α	—	—
	порожн.				$\alpha, k_{уст}$	—	—
Цистерна, модель 15-884	грузов.				α	—	—
	порожн.				$\alpha, k_{уст}$	—	—
Хоппер, модель 20-4015	грузов.				α	—	—
	порожн.				$\alpha, k_{уст}$	—	—
Хоппер, модель 20-480	грузов.	α	—	—			
	порожн.	$\alpha, k_{уст}$	—	—			

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, следующее:

1. Все модели вагонов в загруженном состоянии, за исключением длиннобазного полувагона, могут двигаться в прямых и кривых участках пути со скоростями в соответствии с приведенными в табл. 2.

2. У порожних вагонов с увеличением скорости ухудшается показатель безопасности против вкатывания гребня колеса на головку рельса и при скорости движения выше 60 км/ч его значение может выходить за нормативные пределы. Поэтому вопрос о назначении допускаемых скоростей движения порожних и груженых вагонов рассматривать дифференцировано, учитывая состояние пути и подвижного состава.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СССР. Альбом-справочник. М.: Транспорт, 1989.
2. Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм. Альбом справочник 002И-97 ПКБ ЦВ. М.: ПКБ, 1998.
3. Цистерны. Устройство, эксплуатация, ремонт. Справочное пособие. М.: Транспорт, 1990.
4. Пастухов И. Ф. и др. Вагоны. М.: Транспорт, 1988.
5. Звіт за НДР «Норми допустимих швидкостей руху локомотивів і вагонів по залізничних коліях України шириною 1520 мм», ДІТ. – 2002 р. УДК 629.46.015/.016:625.03, № ДР 0102U003580, 330 с.
6. Методика оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности: утв. приказом №ЦПТ-52/14 зам. Министра путей сообщения РФ от 16 июня 2000 г. – 30 с.
7. О нормах допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям

колеи 1520 (1524) мм: утверждено приказом МПС России № 41 от 12.11.01.

8. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії: ЦП/0056: затв. наказом Укрзалізниці від 27.04.99 № 124-Ц. – Д.: Арт-Прес. – 1999. – 44 с.

9. Данович В. Д. Пространственные колебания вагонов на инерционном основании: Дис... доктора техн. наук: – Днепропетровск, 1982. – 465 с.

10. Рейдемейстер А. Г.: Дис... канд. техн. наук: – Днепропетровск, 2000. – 230 с.

11. Отчет по НИР «Разработка мероприятий по уменьшению сходо порожних вагонов (цистерн, хопперов, полувагонов). Экспериментальные и теоретические исследования», ДИИТ. – 1999. УДК 629.463.3 № ГР 0197U019258. 120 стр.

12. Отчет по НИР «Разработка рекомендаций по снижению износа колес и рельсов за счет снижения сил динамического взаимодействия железнодорожных экипажей и пути с учетом стационарных и нестационарных режимов движения», ДИИТ. – 1998. УДК 629.4.015:625.143.3.033.373, № ГР 0196U023134. 478стр.

13. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: Гос НИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.

14. Вершинский С. В., Данилов В. Н., Хусидов В. Д. Динамика вагонов: Учебник для вузов ж.д. транспорта / Под ред. Вершинского С. В. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.