

О нормировании параметров несимметричной загрузки универсальных грузовых вагонов

А. М. БРЖЕЗОВСКИЙ

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»),
Москва, 129626, Россия

Аннотация. Наличие в рабочем парке грузовых вагонов-платформ с базой свыше 10 м, а также практическая невозможность симметричного размещения на открытом подвижном составе грузов с массой, соответствующей номинальной грузоподъемности, требует корректировки действующих нормативов несимметричной погрузки грузов. С этой целью предлагается применить комплексную методику определения допускаемых параметров несимметричного размещения грузов, основанную на сочетании критериев прочности несущих элементов вагонов, обеспечения нормативного уровня показателей динамических качеств и устойчивости движения груженого вагона. Приведен пример определения допускаемых параметров совместного поперечного и продольного смещения общего центра тяжести вагона, загруженного до номинальной грузоподъемности.

Ключевые слова: грузовой вагон; общий центр тяжести грузов; продольное и поперечное смещение общего центра тяжести грузов; статическая осевая нагрузка; коэффициенты динамических добавок; рамные силы

Введение. При размещении одиночного груза (группы грузов) на погрузочной площадке грузового вагона в пределах основного габарита погрузки, а также с целью максимально возможного снижения степени негабаритности, как правило, возникает задача минимизации смещения общего центра тяжести грузов $\text{ЦТ}_{\text{гр}}^{\circ}$ относительно осей симметрии вагона. Нормативные параметры смещений $\text{ЦТ}_{\text{гр}}^{\circ}$ на открытом подвижном составе установлены «Техническими условиями размещения и крепления грузов» (в международном сообщении Приложением № 3 к СМГС, введ. в действие с 01.07.2015 г., гл. 1, табл. 9 и 10 [1]; для перевозок по железным дорогам ОАО «РЖД» — № ЦМ-943, утв. МПС России 27.05.2003 г., гл. 1, табл. 10 и 11 [2]).

Анализ данных нормативов и практика их применения указывают на необходимость их актуализации по следующим двум аспектам:

- корректировка допускаемых значений продольного, поперечного и совместного продольного и поперечного смещений $\text{ЦТ}_{\text{гр}}^{\circ}$ при размещении в одном вагоне грузов общей массой $P \geq 67$ т. Для таких грузов согласно нормативной документации несимметричное расположение $\text{ЦТ}_{\text{гр}}^{\circ}$ исключается в принципе, что практически нереализуемо и препятствует возможности их перевозки на универсальных грузовых платформах и полувагонах;

- корректировка нормативов смещений $\text{ЦТ}_{\text{гр}}^{\circ}$ для распространения на вагоны с существенно большей базой, чем указана в действующих нормативах (9,72 и 8,65 м для универсальных вагонов и платформ соответственно).

Результаты исследований, изложенные ниже, могут служить предпосылками к разработке актуализированных нормативов несимметричной загрузки, учитывающих отмеченные аспекты.

Основным требованием при установлении нормативов несимметричной загрузки является обеспечение безопасности движения, оценка которого производится по совокупности критериев прочности подвижного состава, его динамики и воздействия на путь (большая часть из них основана на результатах экспериментальных работ).

Принципиальный подход к установлению допускаемых параметров несимметричной загрузки вагонов заключается в необходимости анализа статических и динамических критериев. При этом статические критерии отражают возможность физической реализуемости смещения $\text{ЦТ}_{\text{гр}}^{\circ}$ исходя в общем случае из условий не превышения действующих нормативов статических нагрузок, воспринимаемых основными несущими элементами вагонов и передающихся от них на путь. К статическим критериям относятся наибольшие допускаемые в эксплуатации статические осевые и колесные нагрузки, разность данных нагрузок, передаваемых от кузова на тележку одного вагона, наибольшая нагрузка на одну тележку от кузова вагона.

Динамические критерии — это показатели динамических качеств, воздействия на путь и устойчивости движения груженого вагона (коэффициенты динамических добавок по вертикальным колебаниям подрессоренных $K_{\text{дц}}$ и неподрессоренных масс $K_{\text{дб}}$, рамные силы $H_{\text{р}}$, отношения рамных сил к статической осевой нагрузке $H_{\text{р}}/P_{\text{ст}}$, ускорения грузов горизонтальные $\ddot{y}$ и вертикальные $\ddot{z}$, коэффициенты запаса устойчивости от вкатывания колеса гребнем на головку рельса η и др.), т. е., по существу, критерии, определяющие допускаемые скорости движения вагона в эксплуатации.

■ E-mail: s_brz@mail.ru (А. М. Бржезовский)

Диапазон продольного смещения l_{cm} ЦТ_{гр}° определяется на основе совокупности статических критериев из условий

$$l_{cm} \leq L(P_{траф} / P - 1); \quad (1)$$

$$l_{cm} \leq (L / P)(4[P_{ст}] / g - P_{тар.в} - P); \quad (2)$$

$$l_{cm} \leq 10L / P, \quad (3)$$

где L — полубаза вагона, м; P — масса груза общая, т; $P_{траф}$ — трафаретная грузоподъемность вагона, т; $P_{тар.в}$ — масса порожнего вагона, т; $[P_{ст}]$ — наибольшая статическая осевая нагрузка, кН; g — ускорение свободного падения, м/с².

Из выражений (1)–(3) очевидно, что величины l_{cm} при любой массе груза находятся в прямой пропорциональной зависимости от базы вагона и норматива $[P_{ст}]$: чем больше значения этих параметров, тем шире диапазон возможных смещений l_{cm} . Действующие нормативы для l_{cm} относятся к вагонам с базой не более 9,72 м, при этом в рабочем парке открытого подвижного состава имеются платформы с базой до 19,0 м. Применение действующих нормативов продольных смещений ЦТ_{гр}° при погрузке несимметричных грузов на вагоны с базой не более 9,72 м приводит к ограничению транспортных параметров грузов, подлежащих перевозке, существенно снижая конкурентоспособность железнодорожного транспорта.

В качестве примера сравним допускаемые величины l_{cm} при перевозке грузов на 4-осных платформах с $2L > 10$ м (модель 13-7043 для $2L = 14,6$ м и модель 13-4128 для $2L = 19,0$ м), рассчитанные по выражениям (1)–(3), см. табл. 1.

Из табл. 1. следует, что учет базы вагона при размещении несимметричного груза дает возможность повышения норматива l_{cm} на величину, практически пропорциональную базе. При условии верификации увеличенных нормативов l_{cm} , рассчитанных по совокупности статических критериев, по результатам динамико-прочностных испытаний, рекомендуется учесть эти актуализированные нормативы при проведении корректировки нормативных документов, регламентирующих параметры несимметричной загрузки.

Расчеты l_{cm} , проведенные для платформы модели 13-4012 ($2L = 9,72$ м) по выражениям (1)–(3), показали, что ограничение предельной величины l_{cm} для грузов $P \geq 60$ т регламентируется разностью загрузки тележек (10 т для 4-осных вагонов [3]), табл. 2. Из табл. 2 исключены результаты расчетов для $P < 40$ т, так как эти грузы не ограничивают величины параметра l_{cm} по выражениям (1) и (2); такие ограничения возникают только при $P \geq 60$ т.

Таблица 1

Расчетные значения l_{cm} , м, для 4-осных платформ при $[P_{ст}] = 230,5$ кН в формуле (2)

Table 1

Calculated values l_{cm} , m, for 4-axle platforms with $[P_{ст}] = 230.5$ kN in the formula (2)

Общая масса грузов, т	Наименьшее значение по выражениям (1)–(3) для $2L$, м		Норматив по табл. 9 [1], м		*Разность наименьших значений l_{cm} , м, %, для $2L$, м, при погрузке	
	14,6 модель 13-7043	19,0 модель 13-4128	При погрузке	В пути следования	14,6 модель 13-7043	19,0 модель 13-4128
40	1,83	2,38	0,950	1,080	0,88/48	1,43/60
50	1,46	2,11	0,750	0,865	0,71/48	1,36/64
55	1,33	1,90	0,680	0,785	0,65/49	1,35/71
60	1,10	1,43	0,600	0,720	0,50/45	0,73/51
62	0,82	1,07	0,550	0,630	0,27/33	0,44/41
67	0,22	0,28	0,200	0,260	0,02/9	0,02/7
69	0	0	0	0,06	0	0

* в числителе в м, в знаменателе в %.

Действующие нормативы l_{cm} [1] существенно меньше по сравнению с минимальными значениями для $P = 40–60$ т на 9–11 %, для $P = 62–70$ т на 19–28 %. Причины установления таких нормативов практически необоснованны.

Наибольшие расчетные поперечные смещения ЦТ_{гр}° относительно продольной оси симметрии вагона b_{cm} , так же как и величины l_{cm} , определяются по статическим (4) и динамическим (5) критериям:

$$b_{cm} \leq (B / P)(8[P_{кол}] / g - P_{тар.в} - P); \quad (4)$$

$$(P_{ц} + P_{в}) / P_{ст} \leq 0,55, \quad (5)$$

где B — половина расстояния между кругами катания колес, м; $[P_{кол}]$ — наибольшая расчетная нагрузка от колеса на рельс, кН; $P_{ц} + P_{в}$ — сумма центробежной силы и ветровой нагрузки при движении вагона в кривой, приведенная к одному колесу, кН.

Расчетная нагрузка $[P_{кол}]$ не нормируется; при расчетах, результаты которых приведены в табл. 3, для универсальных вагонов на тележках модели 18-100 принято условие $[P_{кол}] = 176,6$ кН, основанное на выполнении требования об ограничении нагрузки на площадку для размещения бокового скользуна при проведении статических испытаний на прочность, равной 370 кН [4]. $P_{ст}$ и сумма $P_{ц} + P_{в}$ определяются по формулам СМГС [1].

Результаты расчетов по выражениям (4) и (5) (табл. 3) показали, что для грузов $P \leq 50$ т при высоте ЦТ_{гр}°, равной 2,0 и 2,3 м, условием, лимитирующим допускаемые значения b_{cm} , является обеспечение

Таблица 2
Расчетные и нормативные значения l_{cm} , м

Table 2
Calculated and standard values l_{cm} , m

P , т	По выражениям (1) и (2)		По выражению (3)		Наименьшее значение l_{cm} по выражениям (1)–(3)	Норматив по табл. 9 [1]	
	l_{cm}	$P_{ст}$, кН	l_{cm}	Разница в загрузке тележек, т		При погрузке	В пути следования
40	1,21	176,6	3,89	10,0	1,21	0,950	1,080
50	0,97	201,1	2,14	10,0	0,97	0,750	0,865
55	0,86	215,8	1,39	10,0	0,86	0,680	0,785
60	0,810	225,6	0,97	10,0	0,81	0,600	0,720
62	0,783	230,5	0,78	10,0	0,78	0,550	0,630
67	0,725	230,5	0,36	4,96	0,36	0,200	0,260
70	0,694	230,5	0,13	2,02	0,13	0	0,06
>70	—	230,5	0	0	0	0	0

Таблица 3
Расчетные и нормативные значения b_{cm} , м

Table 3
Calculated and standard values b_{cm} , m

P , т	$b_{\text{см}}$, рассчитанное по выражению (4)	$b_{\text{см}}$, рассчитанное по выражению (5)		Норматив по табл. 10 [1]	
				При погрузке	В пути следова- ния
		Высота ЦТ _{гр} °, м			
		2,0	2,3	2,3	
30	Ограничений не имеется	0,70	0,43	0,20	0,28
50	0,63	0,51	0,31	0,14	0,20
55	0,48	0,51	0,35	0,10	0,15
67	0,26	0,55	0,41	0,08	0,12
> 67	0,20	0,55	0,41	0,07	0,10

поперечной устойчивости груженого вагона от опрокидывания в кривых [5], а для грузов $P > 55$ т — лимитирующим условием является непревышение наибольшей статической осевой нагрузки, приходящейся от колеса на рельс. Из рассмотрения расчетных данных видно, что действующие нормативы b_{cm} для грузов $P = 50–67$ т в 1,5–3,5 раза, а для грузов $P > 67$ т в 2,0–2,9 раза меньше величин, рассчитанных по выражениям (4) и (5).

Сравнение наибольших расчетных величин l_{cm} и b_{cm} с действующими нормативами [1] свидетельствует о наличии неиспользованных резервов в применении несимметричного размещения грузов на универсальных 4-осных вагонах, особенно для грузов $P > 55$ т. При этом очевидно, что величины рациональных

параметров несимметричного размещения грузов наряду с данными, обусловленными статическими критериями и представленными в табл. 1–3, не должны приводить к снижению уровня безопасности движения вагонов, определяемому динамическими критериями. Таким образом, корректировка нормативов смещения ЦТ_{гр} основывается на комплексном решении следующих проблем:

- определение возможности физической реализуемости параметров несимметричной загрузки по совокупности статических критериев;
- подтверждение параметров несимметричной загрузки по результатам динамических испытаний.

Ниже приведено несколько примеров комплексного подхода к нормированию параметров несимметричной загрузки грузовых вагонов, принятых в действующем нормативном документе ОАО «РЖД» — Технических условиях № ЦМ-943 [2].

С целью обоснования нормативов несимметричной загрузки вагонов начиная с 1960-х гг. в научных организациях железнодорожного транспорта проводились теоретические и экспериментальные исследования. В ДИИТе методами сравнительной динамики анализировались показатели ходовых качеств и устойчивости движения 4-осного полувагона на тележках модели 18-100 как симметрично загруженного грузом $P = 60$ т, так и при смещении ЦТ_{гр} на величины $l_{cm} = 0,5$ м и $b_{cm} = 0,05$ м. Было установлено, что наибольшие величины H_p и $\ddot{y}$ и их зависимости от скоростей движения в диапазоне от 60 до 120 км/ч соизмеримы с соответствующими показателями, полученными на симметрично загруженном полувагоне, но с превышением динамических добавок вертикальных нагрузок на 10–15 % [6].

В работах ВНИИЖТ, относящихся к 1970-м гг. [7, 8], были экспериментально обоснованы предельные нормативы допускаемого смещения ЦТ_{гр} для 4-осных платформ с тележками типа МТ-50 и ЦНИИ-ХЗ-0 (модель 18-100). Обоснование производилось на основании анализа показателей динамических качеств и устойчивости движения груженой платформы с базой 9,72 м при скоростях движения до 100 км/ч в прямых и кривых участках пути различного технического состояния. В качестве грузов использовались два макета $P = 23$ т каждый (общая масса грузов 46 т) с совместным смещением общего центра тяжести $l_{cm} = 1,80$ м и $b_{cm} = 0,22$ м при высоте ЦТ_{гр}, равной 2,54 м. Были выведены эмпирические зависимости, позволившие определить допускаемые величины l_{cm} и b_{cm} при $P = 10–50$ т в интервале изменения высоты ЦТ_{гр} 1,2–2,5 м. В работах [7, 8] впервые параметры смещения ЦТ_{гр} увязывались с допускаемыми скоростями движения груженого вагона; были даны рекомендации по ограничению уровня допускаемых скоростей движения

вагонов при достижении предельных для соответствующих P величин смещения $\Delta T_{гр}^{\circ}$. Допускаемые скорости движения вагонов с грузами общей массой $P < 60$ т определялись по уровню показателей динамики и устойчивости движения вагона, а для грузов $P \geq 60$ т — дополнительно с учетом показателей воздействия на путь. Один из практических выводов по результатам экспериментальных работ заключался в том, что при нормировании параметров несимметричной загрузки вагонов определяющими для грузов массой менее 50 т явились статические критерии, а массой свыше 50 т — динамические критерии.

В последующем учеными ВНИИЖТ исследовались уровни допускаемых в эксплуатации смещений $\Delta T_{гр}^{\circ}$ общей массой, близкой или несколько превышающей массу груза по трафарету, погруженных на универсальную 4-осную платформу модели 13-4012 ($2L=9,72$ м) по критериям динамики и устойчивости движения [9, 10]. Целями исследования являлись: определение влияния сверхнормативных параметров несимметричного расположения $\Delta T_{гр}^{\circ}$ на динамические качества грузового вагона с тележками модели 18-100; установление допускаемых параметров несимметричного размещения грузов на открытом подвижном составе исходя из условий непревышения нормативных показателей динамических качеств и устойчивости движения вагона; оценка допустимости совместного продольного и поперечного смещения $\Delta T_{гр}^{\circ}$.

В ходе эксперимента были реализованы три варианта загрузки 4-осной платформы железобетонными блоками различной массы и конфигурации: 1-й вариант — с условно симметричным относительно осей платформы расположением $\Delta T_{гр}^{\circ}$; 2-й вариант — с существенно несимметричным расположением $\Delta T_{гр}^{\circ}$ в поперечном относительно оси симметрии платформы направлении; 3-й вариант — с существенно несимметричным расположением $\Delta T_{гр}^{\circ}$ в продольном относительно оси симметрии платформы направлении. При всех вариантах погрузки размещение

грузов осуществлялось путем перестановки набора железобетонных блоков в пределах погрузочной площадки платформы; имело место совместное (продольное и поперечное) смещение $\Delta T_{гр}^{\circ}$. Фактические параметры указанных вариантов загрузки платформы (табл. 4 и 5) определялись по результатам поколесного взвешивания платформы.

Анализ данных табл. 4 и 5 показывает, что при 1-м варианте загрузки $P_{кол}$ и $P_{ст}$ различались между собой не более чем на 9,1 и 3,4 % соответственно, полностью симметричную загрузку платформы при большом количестве единичных грузов реализовать не представлялось возможным; параметр $l_{см}$ на 0,145 м превысил установленный для фактической массы груза норматив, при этом величина $b_{см}$ удовлетворяла нормативному значению. При 2-м варианте различие $P_{кол}$ и $P_{ст}$ составило 20,2 % (наибольшее для всех испытанных вариантов) и 3,2 % соответственно, параметр $l_{см}$ на 0,086 м превышал установленный норматив, параметр $b_{см}$ превысил норматив в 1,44 раза. При 3-м варианте различие $P_{кол}$ и $P_{ст}$ составило 18,5 и 10,1 % (наибольшее для всех испытанных вариантов) соответственно, параметр $l_{см}$ на 0,533 м был выше установленного норматива, параметр $b_{см}$ не превышал нормативную величину.

Сравнительные динамические испытания груженой 4-осной платформы с указанными вариантами загрузки проводились в прямых и кривых участках пути скоростного испытательного полигона ВНИИЖТ Белореченская — Майкоп (Северо-Кавказская железная дорога). Фактическое состояние верхнего строения пути и уровни отступлений рельсовых нитей по геометрии на всем протяжении участка удовлетворяли требованиям действовавших нормативов текущего содержания пути. В период проведения испытаний конструкция верхнего строения пути на участках: путь звеньевой, рельсы типа Р50, шпалы деревянные с эпюрой 1840 — 2000 шт. на 1 км, балласт щебеночный с толщиной балластной призмы 50 мм; балловая поки-

Таблица 4

Варианты размещения грузов на платформе

Table 4

Options for placing goods on the platform

Вариант загрузки	P , т	Наибольшие статические нагрузки, кН		Наименьшие статические нагрузки, кН		Разность статических осевых нагрузок, %	Общая масса груза, приходящаяся на одну тележку, т		Разность масс груза, приходящихся на тележки, т
		$P_{кол}$	$P_{ст}$	$P_{кол}$	$P_{ст}$		Наибольшая	Наименьшая	
1	72,21	126,7	234,4	105,6	218,8	3,4	42,57	41,18	1,39
2	72,54	141,4	237,4	93,8	222,7	3,2	42,92	41,36	1,56
3	71,34	138,6	248,1	95,4	202,7	10,1	45,39	37,54	7,85
Нормативные значения	72,00	—	230,5	—	230,5	10,0	41,9	—	10,00

Таблица 5
Координаты расположения ЦТ[°]

Coordinates of ЦТ [°] location					
Вариант загрузки	Высота общего центра тяжести грузов относительно уровня верха головки рельса $h_{ц.т.}$, м	Смещение общего центра тяжести грузов, м		Смещение центра тяжести грузоподъемного вагона, м	
		$l_{см}$	$b_{см}$	$l_{смВ}$	$b_{смВ}$
1	2,15	0,145	0,049	0,112	0,038
2	2,15	0,086	0,144	0,067	0,112
3	2,18	0,533	0,066	0,413	0,051
Норматив [1]	—	0	0,100	—	—

Таблица 6
Геометрические параметры тележек и колесных пар, мм

Тележки			Колесные пары		
Зазоры в буксовых проемах суммарные		Зазоры в боковых скользунах суммарные	Диаметр колеса	Прокат поверхности катания колеса	Толщина гребня
Поперек оси пути	Вдоль оси пути	16–23	881–908	0–1,5	28–31
10–12	11–18				

Примечания: зазоры в буксовых узлах на 20–50 % превышали действующие нормативные значения.

Таблица 7
Показатели динамических качеств грузовой платформы при движении в прямых участках пути со скоростями до 100 км/ч

Indicators of dynamic qualities of the loaded platform when driving in tangent sections of the track at speeds up to 100 km/h						
Вариант загрузки	Коэффициенты динамических добавок по вертикальным колебаниям тележки		Ускорения грузов в долях от ускорения свободного падения		H_p , кН	$H_p/P_{ст}$
	$K_{дн}$	$K_{дб}$	$\ddot{z}$	$\ddot{y}$		
1	0,57	0,52	0,63	0,37	33	0,16
2	0,53	0,49	0,51	0,30	31	0,14
3	0,48	0,72	0,53	0,38	61	0,26
Допустимое значение [4]	0,65	0,90	0,65	0,45	—	0,38

лометровая оценка рельсовой колеи по геометрии — не хуже удовлетворительной.

Опытная платформа, на которой реализовывались варианты несимметричного расположения ЦТ[°],

была отобрана из рабочего парка с условием удовлетворения ее технического состояния требованиям, предъявляемым Правилами технической эксплуатации (ПТЭ) к грузовым вагонам (табл. 6).

Опыты по определению фактических значений параметров рессорного подвешивания платформы выявили их существенный разброс как в целом по платформе, так и по тележкам. Так, жесткости рессорных комплектов тележек составили 4000–4800 кН/м (разброс от среднего значения $\pm 9,6\%$); коэффициенты относительного трения клиновых гасителей — 8,4–13 % (разброс от среднего значения $\pm 22,0\%$). Такой разброс параметров рессорного подвешивания тележек, являющийся характерным для модели 18-100 в эксплуатации, и послужил причиной неравномерности статических прогибов рессорных комплектов.

В ходе испытаний были реализованы скорости движения в прямых участках до 100 км/ч, в кривой радиусом 350 м до 80 км/ч (наибольшее непогашенное ускорение $a_{нп} = 0,66$ м/с²), в кривой радиусом 650 м до 90 км/ч ($a_{нп} = 0$ м/с²), на боковое направление стрелочных переводов до 25 км/ч.

Показатели динамических качеств грузовой платформы при опытных поездках в прямых участках пути со скоростями до 100 км/ч (табл. 7) со всеми вариантами несимметричной загрузки не превышали допустимых значений, установленных ГОСТ 33211–2014 [4].

По большинству экспериментальных зависимостей не выявлено существенного влияния параметров несимметричной загрузки платформы на показатели динамических качеств во всем диапазоне скоростей движения. Исключение составили зависимости H_p по перегруженной колесной паре при 3-м варианте загрузки: $H_p = 61$ кН (33 кН — при 1-м варианте загрузки) при скорости движения 100 км/ч. Такой рост рамных сил обусловлен двумя основными факторами — повышенной статической осевой нагрузкой от перегруженной тележки платформы и увеличением момента инерции грузовой платформы при $l_{см} = 0,533$ м. Однако, несмотря на повышенный уровень H_p , наибольшие величины отношений $H_p/P_{ст}$ по набегающей перегруженной колесной паре не превышали 0,26 (68 % от допустимого значения [4]). Зависимость H_p по набегающей колесной паре менее нагруженной тележки при 3-м варианте загрузки от скорости движения практически аналогична соответствующей зависимости для платформы при 1-м варианте загрузки.

При движении платформы с различными вариантами загрузки в кривых участках пути радиусом 350 и 650 м также не были выявлены существенные различия показателей вертикальной динамики, обусловленные несимметричным расположением ЦТ[°], в диапазоне скоростей до 80 км/ч (табл. 8). При этом в случаях движения по кривым участкам пути даже со скоростями, близкими к равновесным ($a_{нп} = 0$ м/с²), при

Таблица 8

Показатели динамических качеств вагона при движении в кривых участках пути и на боковое направление стрелочных переводов

Table 8

Indicators of the dynamic qualities of the car when driving in curved sections of the track and on the lateral direction of turnouts

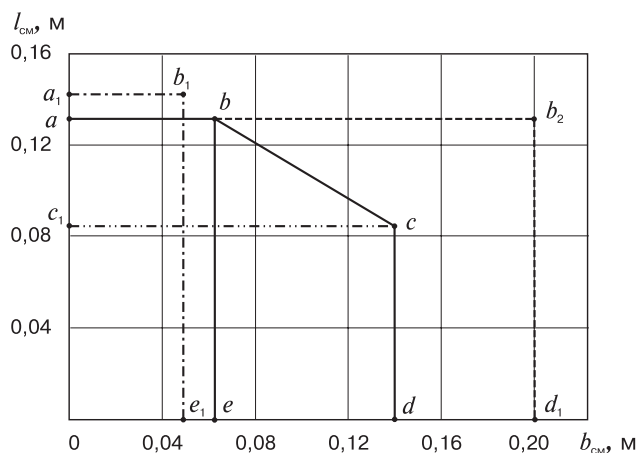
Участок пути	Вариант загрузки	Коэффициенты динамических добавок по вертикальным колебаниям		Ускорения грузов, м/с^2		H_p , кН	$H_p / P_{ст}$	η
		$K_{дн}$	$K_{дб}$	$\ddot{z}$	$\ddot{y}$			
Кривая радиусом 650 м	1	0,56	0,75	5,7	2,3	48	0,21	3,07
	2	0,50	0,60	5,1	3,3	52	0,22	3,08
	3	0,48	1,05	5,0	2,7	60	0,27	1,80
Кривая радиусом 350 м	1	0,52	1,01	5,2	4,2	76	0,32	3,39
	2	0,50	0,82	5,1	1,9	47	0,20	3,08
	3	0,41	1,05	4,6	2,8	90	0,36	0,88
Боковое направление стрелочного перевода	1	0,52	0,60	—	—	57	0,24	3,84
	2	0,42	1,00	—	—	—	—	1,15
	3	0,33	0,65	—	—	53	0,21	1,28
Допустимое значение [4]	1, 2, 3	0,65	0,90	0,65	0,45	—	0,38	1,30

3-м варианте загрузки был превышен норматив $K_{дб}$ на 17 %, коэффициенты запаса устойчивости η оказались меньше 1,0. В то же время параметры загрузки практически не влияли на изменения рамных сил в зависимости от скорости. Однако при движении в кривой радиусом 350 м с ростом скорости от 60 км/ч ($a_{инп}=0,05 \text{ м/с}^2$) до 80 км/ч ($a_{инп}=0,66 \text{ м/с}^2$) был зарегистрирован скачкообразный рост рамных сил, характерный как для условно симметричного, так и для несимметричных вариантов загрузки. С увеличением скорости движения груженой платформы в кривых участках пути вертикальные ускорения груза возрастали, но при этом наибольшие амплитуды ускорений не превышали допускаемые нормативные значения.

Установлено, что по совокупности динамических критериев наиболее неблагоприятным сочетанием совместного (продольного и поперечного) смещения ЦТ_{гр}[°] с общей массой, близкой к трафаретной грузоподъемности, оказался 3-й вариант загрузки при $l_{см}=0,533 \text{ м}$.

Пример графической иллюстрации, примененной для определения допускаемых границ совместного смещения общего центра тяжести грузов $l_{см}$ и $b_{см}$ по результатам динамических испытаний, представлен на рисунке. Области допускаемых границ смещений ЦТ_{гр}[°], построенные в координатах $(l_{см}, b_{см})$, образованы в результате наложения в одних осях следующих многоугольников: 0–a–b2–d1 (пунктирная линия) интерпретирует ограничения, накладываемые статическими критериями; 0–a1–b1–e1 (штрихпунктирная линия) интерпретирует ограничения, накла-

дываемые динамическими критериями по результатам испытаний груженой платформы по 1-му варианту загрузки; 0–c1–c–d (пунктирная линия с двумя точками) интерпретирует ограничения, накладываемые динамическими критериями по результатам испытаний груженой платформы по 2-му варианту загрузки.



Допускаемые значения продольного $l_{см}$ и поперечного $b_{см}$ смещения ЦТ_{гр}[°] при $h_{л.т.}=2,0–2,2 \text{ м}$; масса грузов $P>67 \text{ т}$, платформа модели 13-4012; координаты точек: 0 (0; 0), a (0; 0,130), a1 (0; 0,145), b (0,065; 0,130), b1 (0,045; 0,145), b2 (0,200; 0,130), c (0,140; 0,085), d (0,140; 0), d1 (0,200; 0), e (0,065; 0), e1 (0,049; 0,145), c1 (0; 0,085).

Permissible values of the longitudinal $l_{см}$ and transverse $b_{см}$ displacement of ЦТ_{гр}[°] at $h_{л.т.}=2.0–2.2 \text{ m}$; freight weight $P>67 \text{ t}$, platform model 13-4012; coordinates of points: 0 (0; 0), a (0; 0.130), a1 (0; 0.145), b (0.065; 0.130), b1 (0.045; 0.145), b2 (0.200; 0.130), c (0.140; 0.085), d (0.140; 0), d1 (0.200; 0), e (0.065; 0), e1 (0.049; 0.145), c1 (0; 0.085).

Область, ограниченная линиями, проходящими через точки $0-a-b-e$ (сплошная линия), характеризует допускаемые в эксплуатации смещения общего центра тяжести грузов l_{cm} и b_{cm} , при реализации которых на основании результатов динамических испытаний грузовой платформы не требуется вводить ограничение скорости движения.

При расширении этой области до параметров, ограниченных линиями, проходящими через точки $b-c-d-e$, требуется введение ограничения скорости движения грузовой платформы на боковое направление стрелочных переводов и в кривых участках пути до уровня равновесных скоростей.

Заключение. По результатам проведенных исследований по определению допускаемых величин продольного и поперечного смещения $\Delta T_{гр}^\circ$ при несимметричном размещении в пределах погрузочной площадки вагона, в том числе при наличии совместного смещения, можно сделать следующие выводы:

Для повышения эффективности использования грузовых вагонов с увеличенной базой целесообразно актуализировать действующие нормативы смещения $\Delta T_{гр}^\circ$, при этом рекомендуется принимать величины продольного смещения $\Delta T_{гр}^\circ$ для вагонов с базой кузова 14,6 и 19,0 м соответственно 1,46 и 2,11 м для грузов общей массой 50 т; 1,10 и 1,43 м — для грузов общей массой 60 т; 0,22 и 0,28 м — для грузов общей массой 67 т.

При размещении грузов общей массой свыше 67 т с высотой центра тяжести 2,0–2,2 м на 4-осных грузовых вагонах с осевой нагрузкой 230,5 кН без ограничения допускаемых скоростей движения рекомендуется использовать графический метод определения совместного (продольного и поперечного) смещения $\Delta T_{гр}^\circ$.

С увеличением совместного смещения $\Delta T_{гр}^\circ$ требуется ограничение скорости движения вагона в кривых участках пути и на боковое направление на стрелочных переводах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технические условия размещения и крепления грузов: Приложение 3 к Соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС): информационное письмо Минтранса России от 10.12.2014 г. № ОИ-05/5227. 112 с. URL: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6969.
2. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах: утв. МПС России 27.05.2003 г. № ЦМ-943. М.: Юртранс, 2003. 544 с.
3. ГОСТ 22235–2011. Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования к обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ. М.: Стандартинформ, 2011. 18 с.
4. ГОСТ 33211–2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. М.: Стандартинформ, 2016. 53 с.
5. Антропова Т. А., Глушко М. И. Анализ контроля устойчивости вагона при допуске на инфраструктуру // Вестник ВНИИЖТ. 2018. Т. 77. № 1. С. 49–57. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-1-49-57>.
6. Львов А. А., Музыкин В. А. Динамика четырехосного полувагона при несимметричном его нагружении // Вестник ВНИИЖТ. 1965. № 4. С. 8–12.
7. Анисимов П. С., Грачева Л. О. Влияние несимметричного размещения грузов на динамические показатели четырехосных платформ // Вестник ВНИИЖТ. 1975. № 4. С. 31–36.
8. Анисимов П. С., Грачева Л. О. Условия перевозки крупногабаритных и негабаритных грузов на четырехосных платформах. М.: Транспорт, 1977. 41 с.
9. Бржезовский А. М. Нормативы несимметричной загрузки вагонов при реализации максимальной грузоподъемности // Проблемы механики железнодорожного транспорта: тезисы докладов. Днепропетровск, 1996. С. 10.
10. Brzhezovskiy A. Availability of an Asymmetrical Coach Loading at Full Use of Load – Carrying Capacity // STS-Conference INHA «Wheel/Rail Interface» (Moscow, June 14–17, 1999). Moscow: Intext, 1999. Vol. 2. P. 559–560.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

БРЖЕЗОВСКИЙ Александр Менделович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, научный центр «Путевая инфраструктура и вопросы взаимодействия колесо — рельс» (НЦ «ЦПРК»), АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 04.11.2018 г., актуализирована 19.02.2019 г., принята к публикации 31.03.2019 г.

On the rationing the parameters of asymmetric loading of all-purpose freight cars

A. M. BRZHEZOVSKIY

Joint Stock Company “Railway Research Institute” (JSC “VNIIZhT”), Moscow, 129626, Russia

Abstract. Due to the presence in the operating fleet of freight cars with a base of over 10 m, as well as the practical impossibility of symmetrically placing loads with a weight corresponding to the nominal carrying capacity on open rolling stock, adjustments to the existing asymmetrical loading standards are necessary. To this end, it is proposed to apply a comprehensive methodology for determining the allowable parameters of asymmetrical placement of freights, based on a combination of strength criteria of the bearing elements of cars, ensuring the normative level of dynamic quali-

ties and stability of the loaded car. The article provides an example of determining the permissible parameters of the joint lateral and longitudinal displacement of the total center of gravity of the car ($\Delta T_{гр}^\circ$), loaded to the nominal capacity. According to the results of the studies to determine the allowable values of longitudinal and lateral displacement $\Delta T_{гр}^\circ$ with unbalanced placement within the loading platform of the car, including the presence of a joint displacement, it was found that to improve the efficiency of using freight cars with an increased base, it is advisable to update the

current offset standards of $\zeta_{\text{rp}}^{\circ}$. It is recommended to take the values of longitudinal displacement $\zeta_{\text{rp}}^{\circ}$ for cars with a body base of 14.6 and 19.0 m respectively 1.46 and 2.11 m for freight with a total weight of 50 tons; 1.10 and 1.43 m for freight with a total weight of 60 tons; 0.22 and 0.28 m – for freight with a total weight of 67 tons. When placing freights with a total weight of over 67 tons with a height of center of gravity of 2.0–2.2 m on 4-axle freight cars with an axle load of 230.5 kN without limiting the permissible driving speeds, it is recommended to use a graphical method for determining the joint (longitudinal and transverse) displacement $\zeta_{\text{rp}}^{\circ}$. With an increase in the joint displacement parameters $\zeta_{\text{rp}}^{\circ}$, it will be necessary to limit the speed of the car in the curved sections of the track and to the lateral direction on the turnouts.

Keywords: freight car; general center of gravity of freight; longitudinal and transverse displacement of the common center of gravity of the freights; static axle load; coefficients of dynamic additions; frame forces

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-2-82-89>

REFERENCES

1. *Technical conditions for the placement and securing of freights: Appendix 3 to the Agreement on International Railway Freight Traffic (IRFT)*. Information Letter of the Ministry of Transport of Russia on December 10, 2014, no. OI-05/5227, 112 p. (in Russ.).
2. *Technical conditions for the placement and securing of freights in cars and containers*. Approved by the Ministry of Railways of Russia on May 27, 2003, no. TsM-943. Moscow, Yurtrans Publ., 2003, 544 p. (in Russ.).
3. GOST 22235–2011. *Freight cars of 1520 mm gauge for main railways. General requirements for preservation in the production of loading and unloading and shunting operations*. Moscow, Standartinform Publ., 2011, 18 p. (in Russ.).
4. GOST 33211–2014. *Freight cars. Requirements for strength and dynamic qualities*. Moscow, Standartinform Publ., 2016, 53 p. (in Russ.).
5. Antropova T. A., Glushko M. I. *Analiz kontrolya ustoychivosti vagona pri dopuske na infrastrukturu* [Analysis of the stability

control of the car with the admission to the infrastructure]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2018, Vol. 77, no. 1, pp. 49–57. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-1-49-57>.

6. L'vov A. A., Muzykin V. A. *Dinamika chetyrekhnosnogo poluvagona pri nesimmetrichnom ego nagruzhennii* [Dynamics of a four-axle open car with asymmetrical loading]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 1965, no. 4, pp. 8–12.

7. Anisimov P. S., Gracheva L. O. *Vliyanie nesimmetrichnogo razmeshcheniya грузов na dinamicheskie pokazateli chetyrekhnosnykh platform* [Influence of asymmetrical placement of goods on the dynamic performance of four-axle platforms]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 1975, no. 4, pp. 31–36.

8. Anisimov P. S., Gracheva L. O. *Usloviya perevozki krupnoga-baritnykh i negabaritnykh грузов na chetyrekhnosnykh platformakh* [Terms of transportation of bulky and oversized freights on four-axle platforms]. Moscow, Transport Publ., 1977, 41 p.

9. Brzhezovskiy A. M. *Normativy nesimmetrichnoy zagruzki vagonov pri realizatsii maksimal'noy gruzopod'emnosti* [Standards for asymmetric loading of cars with the implementation of the maximum capacity]. *Problemy mekhaniki zheleznodorozhnogo transporta. Tezisy dokladov* [Problems of railway mechanics. Abstracts of reports]. Dnepropetrovsk, 1996, 10 p.

10. Brzhezovskiy A. *Availability of an Asymmetrical Coach Loading at Full Use of Load – Carrying Capacity*. STS-Conference IHHА “Wheel/Rail Interface” (Moscow, June 14–17, 1999). Moscow, Intext Publ., 1999, Vol. 2, pp. 559–560.

ABOUT THE AUTHOR

Aleksander M. BRZHEZOVSKIY,

Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Scientific Center “Track infrastructure and issues on wheel – rail interaction” (NTs “TsPRK”), JSC “VNIIZhT”

Received 04.11.2018

Revised 19.02.2019

Accepted 31.03.2019

■ E-mail: s_brz@mail.ru (A. M. Brzhezovskiy)

«Вестник ВНИИЖТ» ГДЕ подписаться?

Подписку на научно-технический журнал «Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта» («Вестник ВНИИЖТ») можно оформить в любом почтовом отделении связи по Объединенному каталогу «Пресса России», том 1 или агентствах по распространению печатных изданий «Урал-Пресс», АРЗИ и др.

Подписной индекс журнала — 70116

Также можно оформить подписку (годовую и полугодовую) на договорных условиях редакции. Адрес редакции журнала: 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, тел.: +7 (499) 260-43-19, факс: +7 (499) 262-00-70, E-mail: journal@vniizht.ru, <https://vestnik.vniizht.ru/jour>.

Подписчики зарубежных стран могут оформить подписку на журнал «Вестник ВНИИЖТ» в агентстве «Урал-Пресс» (Ural-Press, export@ural-press.ru).