

Безопасность движения и динамические свойства мостового полотна на ВСМ

В. Ю. ПОЛЯКОВ, Д. Н. ТХАНЬ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГБОУ ВО РУТ (МИИТ)), Москва, 127994, Россия

Аннотация. В настоящее время актуальной является задача обеспечения устойчивого движения колеса по рельсу на мостах в условиях высокоскоростного движения. Особенностью высокоскоростных магистралей (ВСМ) является практическое достижение критических скоростей, вызывающих резонанс пролетных строений мостов. Случаи схода подвижного состава на ВСМ не часты и обычно не ведут к тяжелым последствиям, за исключением схода в зоне мостов. В статье приведены сведения о сходах подвижного состава на ВСМ и их последствиях. Рассмотрены нормы устойчивости колеса на рельсе в различных странах, имеющих ВСМ. Земляное полотно, его основание и балласт являются сильными демпферами, которые отсутствуют на мостах. Таким образом, один из важнейших динамических параметров — демпфирование — является проблемой для безбалластного пути на мостах ВСМ. Приводятся соображения по корректному определению жесткости, связанной с демпфированием и влияющей на взаимодействие подвижного состава и мостового полотна. Показано, что при недостаточном демпфировании в узле скрепления на мостах увеличивается риск схода с рельсов из-за падения ниже допустимого предела вертикального усилия в контакте «колесо — рельс». Представлены результаты экспериментов на ЭВМ, подтверждающие, что именно значительные колебания пролетных строений мостов являются угрозой безопасности, поскольку при проходе первого вагона усилие в контакте колеса и рельса для первой колесной пары безопасно. Даны требования к параметрам демпфирования, обеспечивающие надежный контакт колеса и рельса при значительных колебаниях пролетных строений мостов на ВСМ. Приведены результаты, показывающие зависимость требуемого демпфирования от жесткости промежуточных рельсовых скреплений.

Ключевые слова: ВСМ; мост; пролетные строения; безопасность движения; взаимодействие колеса и рельса

Введение. Высокоскоростные линии являются одним из самых безопасных видов транспорта, несмотря на особые условия движения колеса по рельсу. Если не принимать во внимание железнодорожные происшествия, не связанные с высокими скоростями, например диспетчерские ошибки и т. п., то, как правило, сход не ведет к тяжелым последствиям, если соблюдается скоростной режим (табл. 1).

Три крушения (см. табл. 1) имели очень серьезные последствия. Трагедии в июне 1998 г. и ноябре 2015 г. объединяет место происшествия — зона мостов. Для целей данной статьи причины крушения в ноябре 2015 г. особенно важны, поскольку они связаны со

сходом колес в зоне примыкания насыпи к мосту из-за недостаточного вертикального усилия в контакте колеса и рельса (испытательный заезд практически пустого поезда — см. *Derailement du Train D'essai No. 814521 sur le Raccordement de Vendenheim de la LGV Est Europeenne en Construction le 14 Novembre 2015. Rapport D'enquete Immediate No. 2015-AS-67. Paris, 2015*).

Крушение в июле 2013 г. произошло вследствие схода второй тележки локомотива. Очевидно, существенное (более чем двукратное) превышение скорости в кривой привело к значительным горизонтальным (направляющим) усилиям в контакте колеса и рельса и вертикальное усилие оказалось недостаточным для удержания колесной пары в колее. Таким образом, вертикальное усилие (точнее, его отношение к направляющей силе) является критерием безопасности движения, особенно в зоне мостов, где колебания вагонов из-за колебаний пролетных строений вызывают снижение вертикального усилия.

Различия в подходах к нормам безопасности движения на ВСМ. В каждой стране, имеющей ВСМ, применяются разные подходы к нормам безопасности движения высокоскоростных поездов. Прежде всего обратим внимание на опыт стран, где высокоскоростное движение давно и широко распространено.

В Европе на мостах ВСМ ограничиваются максимальные вертикальные пиковые ускорения пролетного строения на уровне верхнего строения пути [1] для обеспечения безопасности движения в том числе. Для пути на балласте предельные допустимые ускорения — $3,5 \text{ м/с}^2$, а на безбалластном пути — 5 м/с^2 .

Более обоснованной представляется оценка безопасности по соотношению боковой (направляющей) силы в контакте и вертикальной. При недостаточном прижатии колеса к рельсу может начаться вкатывание гребня на головку рельса (иногда употребляется помимо вкатывания и понятие «впрыгивания») под действием боковой силы с последующим сходом колеса. В Китае для оценки безопасности пользуются коэффициентом схода с рельсов Q/P (P и Q — вертикальное усилие между колесами поезда

Таблица 1

Происшествия из-за схода колес на ВСМ

Table 1

Accidents due to the derailments of wheels on the high-speed rail lines

Дата	Скорость, км/ч	Кол-во погибших, чел.	Кол-во пострадавших, чел.	Описание аварии
14.12.1992	270	—	25	Сход поезда на стрелке (http://wiki-org.ru/wiki/TGV)
21.12.1993	300	—	1	Сход поезда, размыв земляного полотна (http://wiki-org.ru/wiki/TGV)
05.06.2000	250	—	7	Сход поезда (http://wiki-org.ru/wiki/TGV)
14.11.2015	243	11	16	Сход поезда в зоне моста (www.rbc.ru/society/14/11/2015/564753ea9a79478b4c9a8a88)
03.06.1998	200	101	88	Сход поезда в зоне путепровода (Esslinger V., Kieselbach R., Koller R., Weisse B. The railway accident of Eschede – technical background. Engineering Failure Analysis, 2004, Vol. 11, pp. 515–535)
26.04.2008	215	—	19	Сход поезда в тоннеле (https://www.wecowi.de/view/ICE-Unfall_bei_Fulda)
24.07.2013	180	79	139	Сход поезда в кривой из-за превышения скорости, лимит 80 км/ч (http://www.bbc.com/news/world-europe-23442018)

и рельсом и направляющая сила соответственно), $Q/P < 0,8$ [2, 3, 4]. В Японии учитывается время действия неблагоприятного сочетания: $Q/P < 0,8$ (если интервал $t > 0,05$ с) и $Q/P < 0,04/t$ (если $t < 0,05$ с) [5].

В фундаментальной работе [6] также показано, что соотношение усилий вертикального и горизонтального взаимодействия колеса и рельса должно рассматриваться с учетом времени действия неблагоприятного сочетания этих усилий. Были установлены пределы времени, при которых устойчивость колеса не обеспечивается ни при каком сколь угодно малом интервале времени, устойчивость обеспечивается при любом времени действия и промежуточные условия, при которых время существенно. На основе [6] в [7] получено, что для обеспечения безопасности движения вертикальное усилие взаимодействия колеса и рельса должно быть не менее 23,814 кН (условие устойчивости при любом сколь угодно малом времени действия). Необходимо отметить, что в проектной документации ВСМ Москва—Казань указаны несколько иные параметры взаимодействия колеса и рельса, из которых следует минимально допустимое вертикальное усилие 26,6 кН исходя из коэффициента $P/Q \geq 1,6$. Поскольку это условие более строгое, чем [7], будем использовать и его.

Важно отметить, что нам не известны нормы, в которых бы допускалось падение вертикального усилия в контакте до 0. Например, из упомянутого условия японских норм $Q/P < 0,04/t$ (если $t < 0,05$ с) следует, что допускается $P=0$ при времени действия такого усилия $t=0$ либо $P=Q=0$. Отрыв колеса от рельса при

отсутствии боковых сил не приводит к сходу, но с ним надо бороться, так как за отрывом следует удар колеса.

Контакт колеса с рельсом. Взаимодействие экипажа и пути в зоне моста выражено вертикальными силами, передаваемыми колесами экипажа на рельсы. При этом направляющая (боковая) сила может рассматриваться как случайная величина, поскольку мост сам по себе не вызывает существенных горизонтальных колебаний. На рельс действуют силы взаимодействия колеса и рельса, зависящие от времени $P_n(t)$, состоящие из статических P_{sta} и динамических усилий $F_{wn}(t)$. Динамические усилия взаимодействия колеса с рельсом $F_{wn}(t)$ созданы колебаниями подпрыгивания и галопирования экипажа при движении через мост. Для определения динамических усилий использовались две гипотезы. Первая гипотеза — контакт между колесом и рельсом бесконечно жесткий; в [8] усилия в контакте определялись исходя из условия совместности перемещения рельса и колеса. Вторая гипотеза — контакт между колесом и рельсом описывается теорией Герца, и этот контакт представлен упругим элементом, обладающим жесткостью, которая определена в [5]. Итак, контакт по Герцу является более точным.

Влияние демпфирования на безопасность движения. На безопасность и устойчивость движения колеса влияют многие параметры конструкции. Рассмотрим два параметра мостового полотна — жесткость подрельсового основания (верхнего строения пути) и демпфирование в нем. Если жесткость узла крепления регламентируется ГОСТ 34078—2017 «Прокладки рельсовых креплений железнодорожного пути.

Технические условия», то демпфирование в скреплении не регламентируется. Учет и нормирование демпфирования особенно важны, поскольку демпфирование в земляном полотне, основании невысокой насыпи и балласте составляет до 95 % от общего демпфирования в железнодорожном пути [8]. Эти элементы пути отсутствуют на пролетных строениях (в том числе балласт на ВСМ). Специфика ВСМ состоит не только в высоких скоростях движения, но и в значительно больших скоростях деформирования. В таких условиях роль демпфирования возрастает.

В литературных источниках встречаются чрезмерные значения демпфирования в пути, вызванные, на наш взгляд, неверной трактовкой демпфирования. Если речь идет о рассеянии механической энергии, то, действительно, при многослойной конструкции общее демпфирование будет представлено суммой рассеяния энергии во всех элементах. Однако сущность коэффициента демпфирования в уравнениях колебаний [9] — это жесткость на единицу скорости деформации, а не собственно демпфирование. В случае последовательного расположения элементов конструкции пути суммарная жесткость определяется как обратная величина суммы податливостей. Податливость — величина обратная к жесткости, в итоге для определения суммарной жесткости, связанной с демпфированием, необходимо складывать обратные величины жесткости демпфирования. Тогда результат суммирования будет существенно отличаться от простой суммы, пропорциональной суммарному рассеянию энергии, но не жесткости.

Воспользуемся [10], где приведены данные о демпфировании различных элементов пути, кроме скреплений. Согласно [10] в рельсе, плитах безбалластного пути, тощем бетоне, заменяющем на переходном участке земляное полотно, в ЩПГС и основании насыпи (без скрепления) погонное «демпфирование» (указана размерность жесткости, пропорциональной скорости деформации) соответственно составляет 17, 29, 65, 69 и 73 кН·с/м². Простая сумма, представляющая общее «демпфирование», составит 253 кН·с/м², что близко к значениям демпфирования в [10]. Сложение жесткостей, пропорциональных скоростям деформации, дает в итоге 7 кН·с/м², что значительно меньше заявленных параметров. В дальнейшем будем ориентироваться на это значение жесткости от демпфирования на подходах к мостам. Поскольку демпфирование в узле скрепления неизвестно, величина погонной жесткости демпфирования в скреплениях C_c (Н·с/м²) варьировалась с целью определения достаточного демпфирования при определенной жесткости скрепления, соответствующего условию безопасности по устойчивости движения колеса.

На рис. 1–4 показаны характерные диаграммы усилия в контакте «колесо — рельс» при проходе про-

тотипа поезда для ВСМ из 20 вагонов в результате численных экспериментов на модели, описанной в [9, 11] с учетом ранее высказанных соображений. Жесткость узла скрепления мостового полотна и переходной зоны принимается различной в разных экспериментах. Величина C (приведенная к рельсу) под плитой на подходах — 7,5 кН·с/м², на мосту это демпфирование равно 0. Приведенная к рельсу жесткость основания плиты во всех экспериментах на подходе 80 МН/м. Основание плиты на мосту деформируется в силу деформаций пролетного строения. Скорость поезда была равна резонансной (390 км/ч), что менее расчетной скорости, предусмотренной специальными техническими условиями «Сооружения искусственные участка Москва — Казань высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва — Казань — Екатеринбург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству. Изменение № 1» (размещено 24.08.2016. URL: http://www.hsrail.ru/download_files/stu-4.pdf).

Использовались параметры прототипа подвижного состава для ВСМ и унифицированных пролетных строений длиной 34,2 м, указанных в проектной документации. Вертикальные линии показывают два пролетных строения моста, участки справа и слева от моста — зоны сопряжения.

На рис. 1 представлена диаграмма усилия взаимодействия с рельсом первого колеса первого вагона. Для этого колеса характерно движение по «невозмущенным» пролетным строениям, деформации которых под одной тележкой сравнительно невелики, поэтому минимальное усилие в контакте $R_{\min}$ всюду удовлетворяет условию безопасности $R_{\min} > 26,6$ кН. За мостом амплитуды колебаний этого усилия нарастают из-за увеличения колебаний пролетных строений под нагрузкой в резонансном режиме, которые через рельс передаются на подходы.

Нарастающие резонансные колебания пролетных строений приводят к тому, что уже под третьим вагоном усилие в контакте не только падает ниже допустимого предела — 26,6 кН (рис. 2), но и происходит отрыв колеса (усилие падает до 0). Заметен эффект жесткого пути на участках примыкания насыпи к мосту. Деформации основной площадки под временной нагрузкой при безбалластном пути — не более 0,5 мм, а на мосту деформации основания мостового полотна (пролетных строений) достигают нескольких миллиметров. Когда колеблющееся колесо переходит на более жесткое подрельсовое основание, усилие в контакте возрастает. Это заметно и на подходе к мосту. Важность демпфирования в мостовом полотне при возросшей жесткости узла скрепления и слишком оптимистическая оценка безопасности при завышенном демпфировании отображены на рис. 3. Наконец, при максимальной

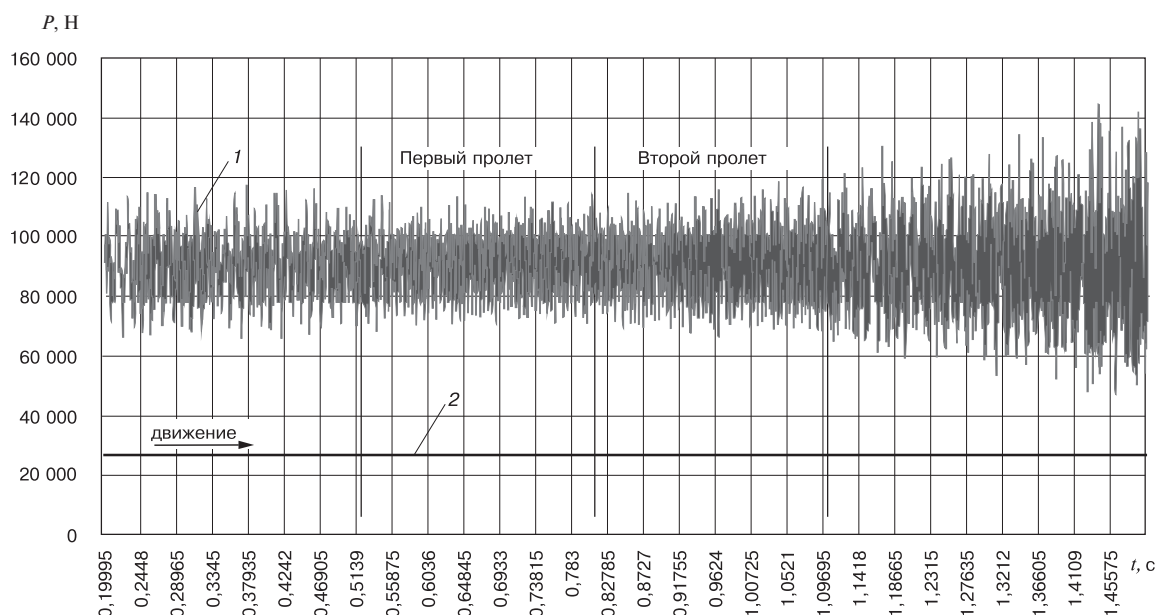


Рис. 1. Диаграмма усилия взаимодействия с рельсом первого колеса первого вагона ($K = 80 \text{ МН/м}$, $C_c = 700 \text{ Н·с/м}^2$): 1 — усилия в контакте рельса и колеса P ; 2 — минимальное усилие $R_{\min} = 26,6 \text{ кН}$
 Fig. 1. Diagram of the force of interaction with the rail of the first wheel of the first car ($K = 80 \text{ MN/m}$, $C_c = 700 \text{ N·s/m}^2$): 1 — forces at the contact of the rail and the wheel P ; 2 — minimum force $R_{\min} = 26,6 \text{ kN}$

Таблица 2

Зависимость минимальных усилий взаимодействия колеса с рельсом $R_{\min}$ (кН) от демпфирования и жесткости прокладки под рельсом

Table 2

Dependence of the minimum forces of the wheel — rail interaction $R_{\min}$ (kN) on the damping and stiffness of the pads under the rail

Жесткость демпфирования C_c , Н·с/м ²	Жесткость прокладки под рельсом K , МН/м			
	60	70	80	90
700	9,79	0	0	0
900	23,59	0	—	0
1000	25,58	0	—	—
1100	29,18*	0	—	—
1200	> 26,60	0	—	—
4500	—	11,36	—	—
8000	—	23,53	—	—
9000	—	25,90	—	—
9500	—	27,06*	7,08	—
15 000	—	> 26,6	11,60	—
20 000	—	—	23,71	—
23 000	—	—	30,46*	18,57
25 000	—	—	> 26,60	20,34
33 000	—	—	—	26,94*
34 000	61,98	56,08	42,52	28,99
35 000	62,09	56,43	43,60	31,22

*Пороговое значение, при котором обеспечивается устойчивость колеса на рельсе.

жесткости подрельсовых прокладок (150 МН/м по ГОСТ 34078–2017) взаимодействие колеса и рельса приводит к многочисленным отрывам колеса от рельса в зоне мостов, где увеличение жесткости пути нежелательно (рис. 4).

Минимальные значения усилия в контакте $R_{\min}$ в различных численных экспериментах представлены в табл. 2. Прочерк показывает, что эксперимент не производился. Ноль означает, что хотя бы в один интервал времени длительностью не менее 0,0001 с происходит отрыв колеса поезда от рельса.

Из данных табл. 2 следует, что увеличение вертикальной жесткости узла скрепления на мостовом полотне и переходной зоне требует значительно-го увеличения демпфирования. Так, например, для жесткости прокладки в скреплении (под рельсом) 60 МН/м минимальное усилие за все время прохождения поезда через мостовой переход (включая подходы) становится больше критического значения (26,6 кН) при показателе демпфирования C_c не менее 1100 Н·с/м², а при жесткости 90 МН/м демпфирование требуется не менее 33 кН·с/м². Этого можно добиться при использовании в верхнем строении пути подрельсовых прокладок с очень высоким демпфированием, в том числе при низких температурах, однако сегодня возможности российских изготовителей в этом отношении неясны.

Необходимо отметить, что наиболее подробно влияние динамических процессов при высокоскоростном движении на поведение мостового полотна рассматривается в [12].

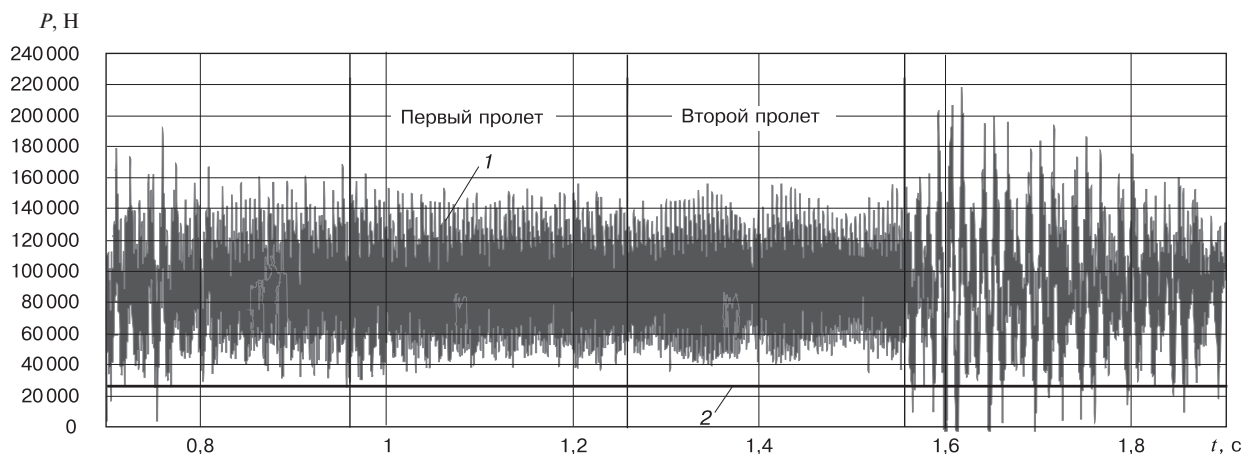


Рис. 2. Диаграмма усилия взаимодействия с рельсом первого колеса третьего вагона ($K = 80 \text{ МН/м}$, $C_c = 700 \text{ Н·с/м}^2$):

1 — усилия в контакте рельса и колеса P ; 2 — минимальное усилие $R_{\min} = 26,6 \text{ кН}$

Fig. 2. Diagram of the force of interaction with the rail of the first wheel of the third car ($K = 80 \text{ MN/m}$, $C_c = 700 \text{ Н·с/м}^2$):

1 — forces at the contact of the rail and the wheel P ; 2 — minimum force $R_{\min} = 26.6 \text{ kN}$

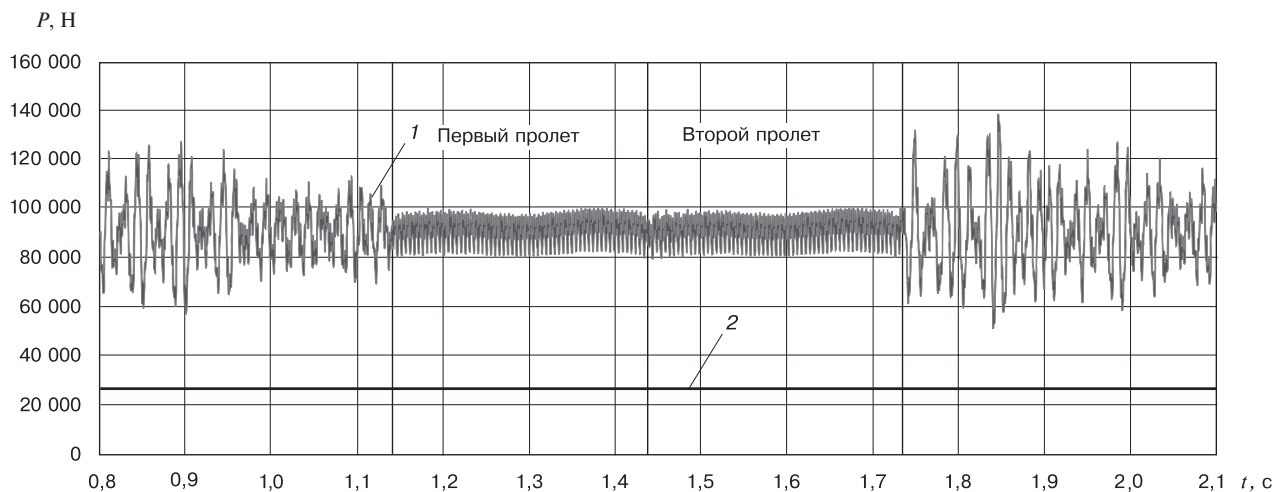


Рис. 3. Диаграмма усилия взаимодействия с рельсом четвертого колеса третьего вагона ($K = 80 \text{ МН/м}$, $C_c = 23 \text{ кН·с/м}^2$):

1 — усилия в контакте рельса и колеса P ; 2 — минимальное усилие $R_{\min} = 26,6 \text{ кН}$

Fig. 3. Diagram of the force of interaction with the rail of the fourth wheel of the third car ($K = 80 \text{ MN/m}$, $C_c = 23 \text{ кН·с/м}^2$):

1 — forces at the contact of the rail and the wheel P ; 2 — minimum force $R_{\min} = 26.6 \text{ kN}$

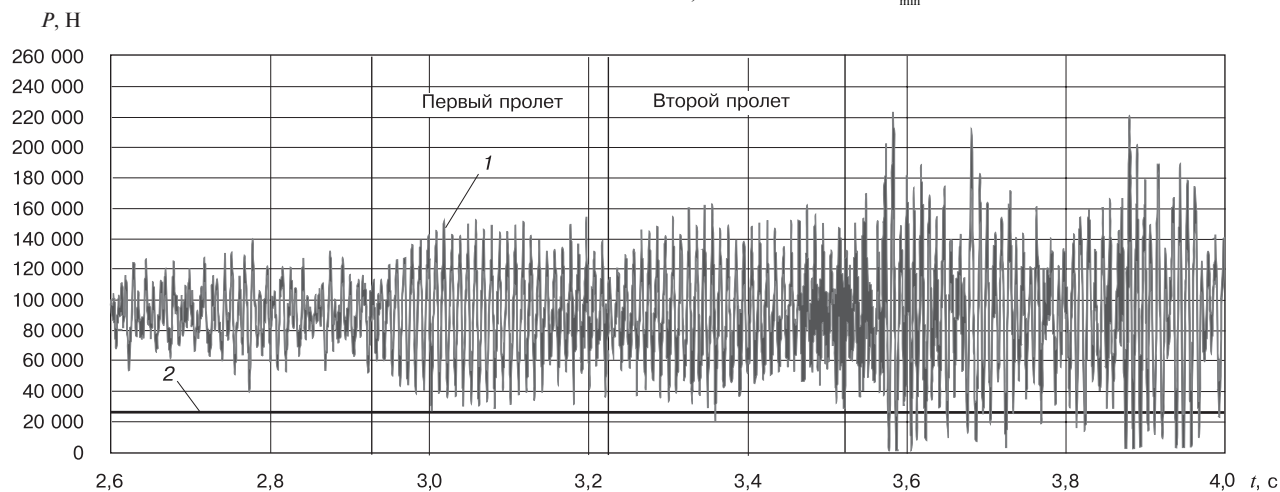


Рис. 4. Диаграмма усилия взаимодействия с рельсом четвертого колеса одиннадцатого вагона ($K = 150 \text{ МН/м}$, $C_c = 800 \text{ Н·с/м}^2$):

1 — усилия в контакте рельса и колеса P ; 2 — минимальное усилие $R_{\min} = 26,6 \text{ кН}$

Fig. 4. Diagram of the force of interaction with the rail of the fourth wheel of the eleventh car ($K = 150 \text{ MN/m}$, $C_c = 800 \text{ Н·с/м}^2$):

1 — forces at the contact of the rail and the wheel P ; 2 — minimum force $R_{\min} = 26.6 \text{ kN}$

Заключение. На мостах ВСМ Москва — Казань отсутствуют многие элементы пути, являющиеся сильными демпферами — земляное полотно, его основание и балласт. Из-за недостатка демпфирующих элементов большое значение приобретают демпфирующие свойства мостового полотна. При движении по мосту с критическими скоростями, вызывающими около-резонансные колебания, возможно падение усилия в контакте «колесо — рельс» до нуля с риском схода. Недостаточное демпфирование представляет угрозу безопасности движения. Отсутствие норм демпфирования в верхнем строении пути требует разработки требований к демпфированию в мостовом полотне. Выявлено, что разработанные требования к демпфированию зависят от вертикальной жесткости узла скрепления, причем с ростом жесткости узла скрепления на 50 % демпфирование в нем должно увеличиться более чем в 30 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. EN 1991-2 (2003). Eurocode 1: Actions on structures. P. 2: Traffic loads on bridges. Brussels, 2003.
2. TB10621–2014 (2015). Code for design of high-speed railway [S]. Beijing: China Railway Press, 2015.
3. TJS2005-140 (2005a). Interim provisions on design of 200–250 km/h new special passenger railways. Beijing: China Railway Publishing House, 2005.
4. TJS2005-285 (2005 a, b). Interim Provisions on Design of 200 km/h New Railways for Passenger and Freight Trains. Beijing: China Railway Publishing House, 2005.

Traffic safety and dynamic properties of the bridge deck of high-speed railway lines

V. Yu. POLYAKOV, Dang Ngoc THANH

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian University of Transport" (FGBOU VO RUT (MIIT)), Moscow, 127994, Russia

Abstract. High-speed lines are one of the safest modes of transport, despite the special conditions for moving the wheel along the rail. The urgent task is to ensure the sustainable motion of the wheel along the rail over the bridges in high-speed traffic. A feature of high-speed lines (HS lines) is the practical achievement of critical speeds that cause resonance of bridge deck structures. Cases of rolling stock derailments on high-speed lines are not frequent. The article provides information about rolling stock derailments on high-speed rail and its consequences. Standards for the stability of wheels on rails in various countries with high-speed rail were considered.

On the bridges of high-speed lines there are not many elements of the track that are strong dampers — the roadbed, its base and ballast. Due to the lack of damping elements, the damping properties of the bridge deck are of great importance. When driving over the bridge with critical speeds causing near-resonance oscillations, the force in the wheel — rail contact may drop to zero with the risk of derailment. Insufficient damping poses a threat to traffic safety. Thus, one of the most important dynamic parameters — damping — is a problem for a ballastless track on high-speed railway bridges. Considerations are given for the correct determination of stiffness associated with damping and affecting the interaction of rolling stock and bridge deck. It is shown that in case of insufficient damping at the fastening points on the bridges, the risk of derailment increases due to a fall of the vertical force below the permissible limit at the wheel — rail contact. Results of computer performed experiments are presented, confirming that it is precisely the significant oscillations

5. Lei X. High Speed Railway Track Dynamics. Models, Algorithms and Applications. Beijing: Science Press, 2017. 414 p.

6. Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. М.: Транспорт, 1986. 559 с.

7. Поляков В. Ю. Безопасность при высоких скоростях на мосту // Мир транспорта. 2014. № 6. С. 182–188.

8. Поляков В. Ю. Взаимодействие подвижного состава с элементами мостового перехода при высокоскоростном движении: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.15. М., 1994. 395 с.

9. Поляков В. Ю. Численное моделирование взаимодействия подвижного состава с мостовыми конструкциями при высокоскоростном движении // Строительная механика и расчет сооружений. 2016. № 2. С. 54–60.

10. Савин А. В. Условия применения безбалластного пути: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.06. М., 2017. 444 с.

11. Поляков В. Ю., Тхань Д. Н. Взаимодействие подвижного состава и пути в зоне мостов на ВСМ // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути: тр. XIV Междунар. науч.-техн. конф. (Москва, 05–06 апреля 2017 г.) / ОАО «РЖД»; ФГБОУ ВО РУТ (МИИТ). М., 2017. С. 143–153.

12. Поляков В. Ю., Тхань Д. Н. Безбалластное мостовое полотно на ВСМ // Мир транспорта. 2018. № 2. С. 36–55.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ПОЛЯКОВ Владимир Юрьевич,

д-р техн. наук, профессор, кафедра «Мосты и тоннели», ФГБОУ ВО РУТ (МИИТ)

ТХАНЬ Данг Нгок,

аспирант, кафедра «Мосты и тоннели», ФГБОУ ВО РУТ (МИИТ)

Статья поступила в редакцию 13.07.2018 г., актуализирована 12.10.2018 г., принята к публикации 01.11.2018 г.

tions of the bridge deck structures that are a safety hazard, since when the first car passes, the force at the contact of the wheel and rail for the first wheelset is safe. Requirements for damping parameters are given, ensuring reliable contact of the wheel and rail with significant fluctuations in bridge deck structures on high-speed lines. Results are presented, showing the dependence of required damping on the stiffness of intermediate rail fasteners.

Keywords: high speed lines; bridge; bridge decks; traffic safety; wheel — rail interaction

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-6-357-363>

REFERENCES

1. EN 1991-2 (2003). Eurocode 1: Actions on structures. P. 2: Traffic loads on bridges. Brussels, 2003.
2. TB10621–2014 (2015). Code for design of high-speed railway [S]. Beijing, China Railway Press, 2015.
3. TJS2005-140 (2005a). Interim provisions on design of 200–250 km/h new special passenger railways. Beijing, China Railway Publishing House, 2005.
4. TJS2005-285 (2005 a, b). Interim Provisions on Design of 200 km/h New Railways for Passenger and Freight Trains. Beijing, China Railway Publishing House, 2005.
5. Lei X. High Speed Railway Track Dynamics. Models, Algorithms and Applications. Beijing, Science Press, 2017, 414 p.
6. Verigo M. F., Kogan A. Ya. Interaction of the track and rolling stock. Moscow, Transport Publ., 1986, 559 p.

7. Polyakov V. Yu. *Safety at high speeds on the bridge*. World of Transport and Transportation, 2014, no. 6, pp. 182–188.

8. Polyakov V. Yu. *Interaction of rolling stock with the elements of the bridge in high-speed motion*. Dr. tech. sci. diss. Moscow, 1994, 395 p.

9. Polyakov V. Yu. *Numerical simulation of the interaction of rolling stock with bridge structures in high-speed traffic*. Structural Mechanics and Analysis of Constructions, 2016, no. 2, pp. 54–60.

10. Savin A. V. *Conditions of use of a ballastless track*. Dr. tech. sci. diss. Moscow, 2017, 444 p.

11. Polyakov V. Yu., Thanh Dang Ngoc. *Interaction of rolling stock and the track in the area of bridges on high-speed rail*. Modern problems of design, construction and operation of a railway track. Proc. of the XIV International scientific and technical conf. (Moscow, April 05–06, 2017). Moscow, FGBOU VO RUT (MIIT) Publ., pp. 143–153.

■ E-mail: pvy55@mail.ru (V. Yu. Polyakov)

12. Polyakov V. Yu., Thanh Dang Ngoc. *Ballastless bridge deck on high-speed lines*. World of Transport and Transportation, 2018, no. 2, pp. 36–55.

ABOUT THE AUTHORS

Vladimir Yu. POLYAKOV,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department "Bridges and tunnels", FGBOU VO RUT (MIIT)

Dang Ngoc THANH,

Post-graduate, Department "Bridges and tunnels", FGBOU VO RUT (MIIT)

Received 13.07.2018

Revised 12.10.2018

Accepted 01.11.2018

11th International Exhibition of the Railway Industry

France's Premier Rail Industry Event www.sifer2019.com

March 26–28, 2019 Lille Grand Palais, Lille, France



Within the space of 20 years SIFER has become the most attended international event for stakeholders from across all sectors of the railway industry, from major industry contractors, equipment manufacturers, suppliers and sub-contractors, to public transport operators and management authorities. Staged biennially in Lille, in the heartland of the French railway industry – one of the most dynamic regions in Europe – SIFER provides industry professionals with a unique opportunity to keep track of market trends, meet face-to-face, exchange ideas, and explore new avenues for business.

In 2019, SIFER will be opening up more exhibition space to accommodate the increasing number of businesses that wish to showcase their innovations during the 3-day event, but also to enhance the visitor experience.

SIFER's primary focus is to serve as a showcase for the industry, casting the spotlight on the direction in which it is heading, its upcoming innovations, and its emblematic projects. The "Grand Paris" project and the digitalisation of the industry will be at the centre of discussions. Autonomous trains, predictive maintenance, project, route and data security, track maintenance, access to passenger information, the opening up of the passenger transport market, job roles of the future... are just some of the topical issues that will be addressed at highlight events hosted by SIFER partners and throughout the aisles of the exhibition.

Международная выставка SIFER 2019 приглашает!

26–28 марта 2019 г. в Лилле – сердце железнодорожной промышленности Франции и одном из самых динамичных регионов Европы состоится 11-я Международная выставка железнодорожной индустрии SIFER. Выставке исполняется 20 лет, и поэтому в 2019 году SIFER откроет больше выставочных площадей, чтобы вместить возросшее число компаний-участников, желающих продемонстрировать свои технические достижения и инновации, а также сделать экспозицию более интересной для посетителей. Выставка SIFER – это уникальная возможность специалистам отрасли ознакомиться с тенденциями рынка, встретиться друг с другом лично, обменяться идеями, а также открыть новые перспективы для своего бизнеса. В центре дискуссии 11-й по счету выставки SIFER будут проект «GrandParis» и цифровизация отрасли. Автономное ведение поездов, диагностическое техобслуживание, безопасность маршрута и данных, техобслуживание пути, доступ к информации о пассажирах, освоение рынка пассажирских перевозок и другие актуальные для железнодорожного транспорта темы.