

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian journal of transport engineering <http://t-s.today/>

2016, Том 3, №1 / 2016, Vol 3, No 1 <http://t-s.today/issues/vol3-no1.html>

URL статьи: <http://t-s.today/PDF/03TS116.pdf>

DOI: 10.15862/03TS116 (<http://dx.doi.org/10.15862/03TS116>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Бокарев С.А., Ефимов С.В. Исследование устойчивости пути против поперечного сдвига при действии горизонтальной нагрузки на железобетонных пролетных строениях с ездой на балласте // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 3, №1 (2016) <http://t-s.today/PDF/03TS116.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Bokarev S.A., Efimov S.V. [Study of track stability against transverse shear under action of horizontal load on the reinforced concrete spans with trip on the ballast] Russian journal of transport engineering, 2016, Vol. 3, no. 1. Available at: <http://t-s.today/PDF/03TS116.pdf> (In Russ.)

УДК 624.271

Бокарев Сергей Александрович

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения», Россия, Новосибирск¹
Зав. кафедрой «Мосты»
Проректор по научной работе
Доктор технических наук, профессор
E-mail: BokarevSA@stu.ru

Ефимов Стефан Васильевич

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения», Россия, Новосибирск
Инженер лаборатории «Мосты»
Аспирант кафедры «Мосты»
E-mail: esvmt@mail.ru

Исследование устойчивости пути против поперечного сдвига при действии горизонтальной нагрузки на железобетонных пролетных строениях с ездой на балласте

Аннотация. В статье приведены основные положения по содержанию мостового полотна на железнодорожных мостах с ездой на балласте согласно действующим нормативным документам, выполнением которых обеспечивается продольная и поперечная устойчивость пути. Представлена статистика некоторых отступлений от требований содержания мостового полотна на эксплуатируемых железобетонных пролетных строениях железнодорожных мостов. Сформулированы цель и задачи экспериментального исследования продольных бортов. Выполнено описание испытываемых образцов, которые представляли собой фрагмент плиты балластного корыта с продольными бортами, используемого оборудования в процессе эксперимента. Приведены результаты лабораторных исследований продольных бортов на сопротивление пути поперечному сдвигу. По зависимостям, полученным Всероссийским Научно-исследовательским институтом железнодорожного транспорта, определены расчетные значения сопротивления сдвигу фрагмента рельсошпальной решетки. В статье выполнено сравнение данных результатов расчета с полученными экспериментальными данными. Авторами оценено влияние ширины плеча балластной призмы на общее сопротивление пути поперечному сдвигу. В статье по общепринятой методике определена предельная продольная сжимающая (критическая) сила в

¹ 630093, Россия, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, д. 191/3, каб. 11

рельсах, и также оценено влияние ширины плеча балластной призмы на величину предельной продольной сжимающей (критической) силы, воспринимаемой рельсошпальной решеткой.

Ключевые слова: железобетонное пролетное строение; балластная призма; плечо балластной призмы; лабораторные испытания продольных бортов; горизонтальная сила; продольный борт балластного корыта; фрагмент плиты балластного корыта; устойчивость рельсошпальной решетки; устойчивость бесстыкового пути против температурного выброса; критическая сила

На сегодняшний день на сети железных дорог ОАО «РЖД» эксплуатируют более сорока тысяч железобетонных пролетных строений с ездой на балласте. Они составляют около 80% от общего количества всех пролетных строений железнодорожных мостов [1, 2, 3]. Эти пролетные строения были запроектированы по разным нормам и под различные нагрузки - начиная с конца XIX века и по настоящее время [3, 4]. Конструкция мостового полотна на них должна соответствовать требованиям Технических указаний по устройству и конструкции мостового полотна на железнодорожных мостах ОАО «РЖД» [5]. Так, в качестве балласта на мостах используют только щебень из твердых пород, при наличии охранных приспособлений на 1 км укладывают не менее 2000 шпал и другие.

Согласно Инструкции по содержанию искусственных сооружений [6] на мостах с ездой на балласте в прямом участке ось рельсового пути не должна отклоняться от оси пролетного строения (e - эксцентриситет) на величину более 5 см; в кривых фактическое отклонение оси рельсового пути от проектного положения не должно превышать 3 см. При больших отклонениях проверяют расчетом грузоподъемность пролетных строений и если необходимо выполняют рихтовку рельсошпальной решетки или перешивку рельсового пути. Ширина плеча балластной призмы (c) на мостах должна быть, как правило, не менее 35 см. Меньшая ширина, но не менее 25 см допускается на мостах, расположенных на путях 4 и 5 классов. В кривых радиусом менее 600 м ширина плеча балластной призмы со стороны наружной нити пути менее 35 см не допускается. Ширина плеча балластной призмы может быть уменьшена, если подошвы шпал расположены ниже верха продольных бортов балластного корыта не менее чем на 10 см. При недостаточной ширине плеч балластной призмы необходимо выполнять срезку излишнего балласта или принимать меры против осыпания балласта и по обеспечению устойчивости рельсового пути. Инструкцией допускается наращивать продольные борта (h_{br}) балластного корыта на величину не более 20 см в один ярус. Толщина слоя балласта под шпалой (h_b) в подрельсовой зоне должна быть, как правило, не менее 25 см. Меньшая толщина слоя балласта допускается на путях пятого класса и на сооружениях старой постройки по согласованию со службой пути дороги, но во всех случаях она должна быть больше 15 см. Максимальная толщина слоя балласта под шпалой допускается не более 40 см, а на мостах с откидными консолями - не более 35 см. Крутизна откоса балластной призмы (i) не должна превышать величины 1:1,5. Кроме того согласно Инструкции по текущему содержанию железнодорожного пути [7] на вновь построенных мостах с устройством пути на балласте ширина плеча балластной призмы должна быть не менее 45 см, а толщина балластного слоя под шпалой не менее 40 см.

Выполнением требований нормативных документов [5, 6, 7] должна обеспечиваться продольная и поперечная устойчивости пути. На рисунке 1 представлено поперечное сечение мостового полотна с ездой на балласте с указанием контролируемых параметров.

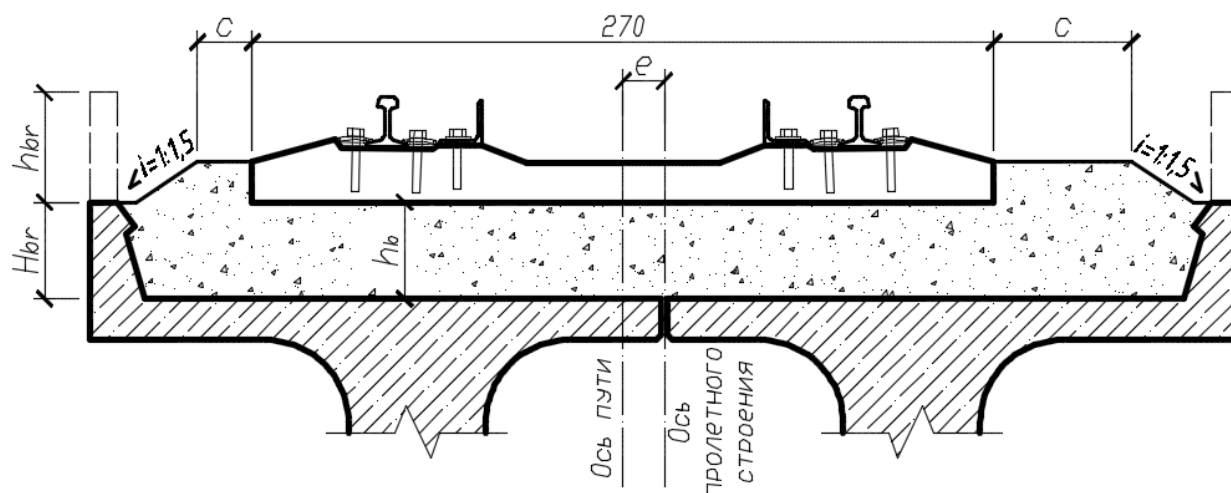


Рисунок 1. Конструкция мостового полотна с ездой на балласте (рисунок авторов)

Figure 1. Design of the bridge deck with trip on the ballast (Figure of authors)

Несмотря на указанные ограничения, на сегодняшний день на сети железных дорог эксплуатируют около двух тысяч пролетных строений с высотой наращенного борта более 20 см, около восьми тысяч - с толщиной балласта под шпалой больше допустимой и более семи тысяч пролетных строений с эксцентриситетом пути больше допустимого, что составляет соответственно 5%, 19% и 18% от общего количества железобетонных пролетных строений на сети ОАО «РЖД» [3]. Назначение приведенных выше требований частично обоснованы грузоподъемностью плиты балластного корыта и главной балки. Что касается высоты наращенной части продольного борта и устойчивости пути поперечному сдвигу, то здесь необходимо дополнительное исследование.

В 2015 году в лаборатории «Мосты» СГУПС были проведены испытания железобетонных фрагментов плиты балластного корыта с продольными бортами различной конфигурации, поперечные сечения которых представлены на рисунке 2. Цель проведения испытания - получение экспериментальных данных для разработки и уточнения методики расчета продольных бортов балластного корыта, в том числе с наращенной частью. Одной из задач эксперимента было исследование влияния параметров балластной призмы, а именно, ширины плеча, величины уклона откоса, эксцентриситета пути и толщины слоя балласта под шпалой на устойчивость пути поперечному сдвигу при действии горизонтальной нагрузки. При горизонтальном нагружении фиксировали усилие, при котором путь сдвигается и теряет устойчивость в зависимости от различной величины плеча балластной призмы и при его отсутствии. Длина образцов составляла 1,75 м. Такая длина позволила разместить на образце три шпалы с расстоянием между их осями 50 см (по эпюре шпал равной 2000) и рубки рельсов длиной 1,7 м. В эксперименте применили железобетонные шпалы, рельсы Р65, крепления ЖБР 65 с шурупно-дюбельным креплением. В качестве балласта использовали щебень из плотных горных пород согласно ГОСТ Р 54748-2011 «Щебень из плотных горных пород для балластного слоя железнодорожного пути» с крупностью зерен 25-70 мм. Для удержания балласта по торцам образца устраивали деревянные щиты. Балласт под шпалой уплотняли электрическими шпалоподбойками (ЭШП) вибрационного типа. Испытания проводили в помещении НИЛ «Мосты» Научно-инженерного дорожного центра СГУПС. Для нагружения образцов использовали силовой гидравлический цилиндр ДУ100Г300 грузоподъемностью 100 т и ходом штока 300 мм, изображенный на рисунке 3а. Нагрузку на образец, фиксировали с помощью манометра гидравлической системы и специального датчика усилия (рис. 3б).

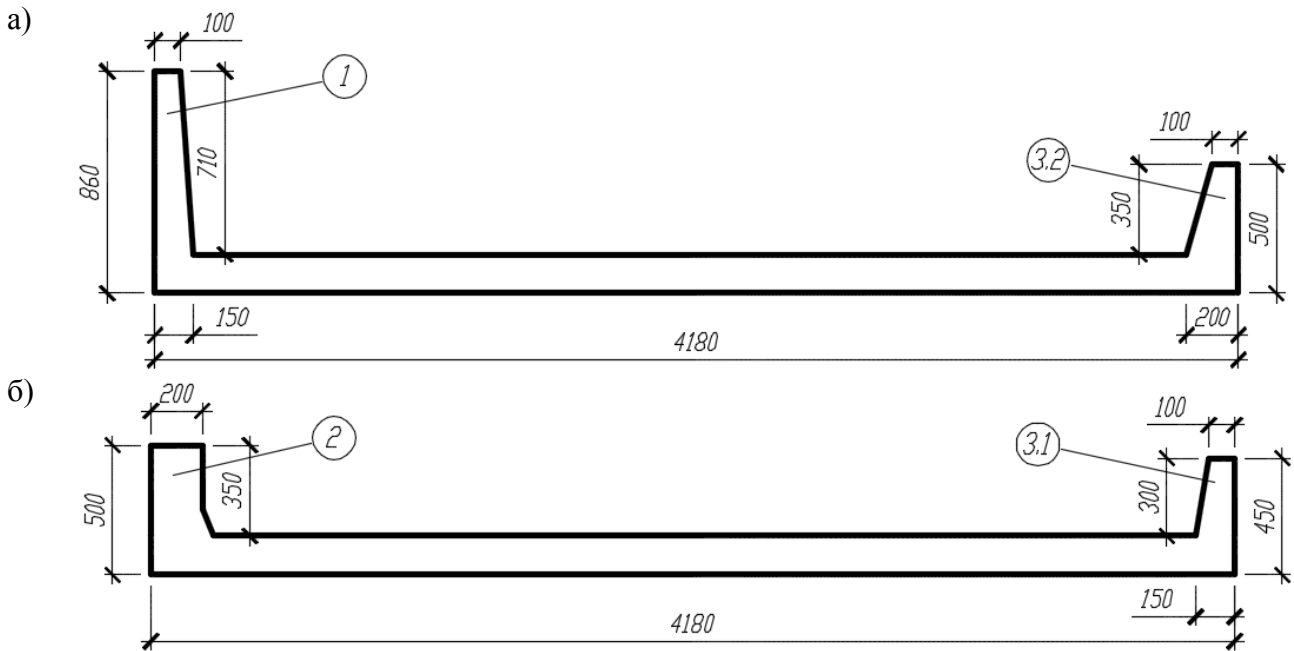


Рисунок 2. Поперечное сечение образцов с продольными бортами групп (рисунок авторов):
а) 1 и 3.2; б) 2 и 3.1

*Figure 2. Cross-section of specimens with longitudinal sides of groups (Figure of authors):
a) 1 and 3.2 ; b) 2 and 3.1*



Рисунок 3. Оборудование для приложения и измерения нагрузки: а) домкрат с ручной
маслостанцией; б) датчик усилия

*Figure 3. Equipment for the application and measurement of loads:
a) jack with hand oil-pumping station; b) force sensor*

Лабораторные исследования выполняли в соответствии с Программой, согласованной заместителем начальника Управления пути и сооружений Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД». Фотографии конструкции нагружения и различной ширины плеча балластной призмы представлены на рисунке 4. Схема горизонтального нагружения исследуемых образцов - на рисунке 5. В таблице 1 приведены предельные горизонтальные усилия, при которых происходила сдвигка рельсошпальной решетки в поперечном направлении при различной ширине плеча балластной призмы, когда подошва шпал находилась выше верха продольного борта.



Рисунок 4. Конструкция нагружения и различная ширина плеча балластной призмы

Figure 4. Loading structure and the various width of the ballast section shoulder

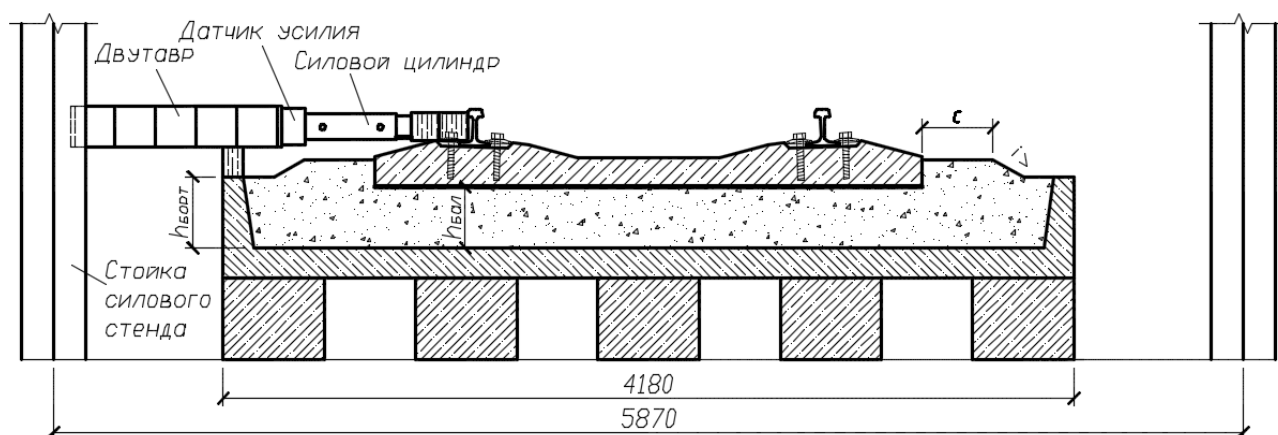


Рисунок 5. Схема горизонтального нагружения (рисунок авторов)

Figure 5. Scheme of horizontal loading (Figure of authors)

Таблица 1

Горизонтальная нагрузка сдвига рельсошпальной решетки

Table 1

The horizontal shear load of track panel

Ширина плеча балластной призмы (c), см	0	25	35	45
Нагрузка сдвига, кН	12,3	13,1	14,2	14,7

Из таблицы 1 следует, что процент усилия воспринимаемого торцами шпал при поперечном сдвиге составляет от 6 до 16%. Остальные 84 – 94% уходят на преодоление сил трения между нижними и боковыми поверхностями шпал и щебнем.

Выше было отмечено, что полное сопротивление рельсошпальной решетки поперечному сдвигу Q складывается из сопротивления сдвигу по подошве, по торцу и по боковым поверхностям шпал. Экспериментальными исследованиями, проведенными во ВНИИЖТе [8], установлена зависимость этого сопротивления от параметров балластной призмы (индексы П – подошва шпалы, Т – торец шпалы, Б – боковая поверхность шпалы):

$$Q = Q_{\text{П}} + Q_{\text{Т}} + Q_{\text{Б}} = A_{\text{П}}z^{m_1}P^{m_2} + A_{\text{Т}}z^{m_3}c^{m_4} + A_{\text{Б}}z^{m_5}h^{m_6}, \quad (1)$$

где: c – величина плеча балластной призмы, см, h – высота засыпки шпальных ящиков (принята равной 15 см), z – величина перемещения, при которой требуется вводить ограничение скорости (зависит от установленной скорости движения на участке и определяется в соответствии с «Инструкцией по текущему содержанию железнодорожного пути», как для неисправностей IV степени) (принята равной 40 мм), P – среднее значение нагрузки под одной шпалой от собственного веса рельсошпальной решетки, кН (для железобетонных шпал и рельсов Р65 принято равным 3,41 кН), $A_{\text{П}}$, $A_{\text{Т}}$, $A_{\text{Б}}$, m_1 , m_2 , m_3 , m_4 , m_5 и m_6 – эмпирические коэффициенты, зависящие от типа балласта и шпал, средние значения которых для пути на щебеночном балласте и железобетонных шпалах приведены в таблице 2.

Таблица 2

Средние значения эмпирических коэффициентов для пути на щебеночном балласте и железобетонных шпалах

Table 2

The average values of the empirical coefficients for a track with broken stone ballast and reinforced concrete ties

Коэффициент	$A_{\text{П}}$	m_1	m_2	$A_{\text{Т}}$	m_3	m_4	$A_{\text{Б}}$	m_5	m_6
Значение	0,384	0,230	0,871	0,008	0,208	0,750	0,086	0,017	1,180

Результаты расчета сопротивления рельсошпальной решетки поперечному сдвигу в зависимости от ширины плеча балластной призмы, а также сравнение с экспериментальными данными приведены в таблице 3. На рисунке 6 представлены графики расчетного и экспериментального сопротивления рельсошпальной решетки также при разной ширине плеча балластной призмы. Разница между сплошной и штриховой линией показывает величину сопротивления поперечному сдвигу рельсошпальной решетки, которое воспринимают торцы шпал.

Таблица 3

Сравнение расчетного и экспериментального сопротивления рельсошпальной решетки поперечному сдвигу

Table 3

Comparison of the calculated and experimental resistance of track panel to transverse shear

Ширина плеча балластной призмы (с), см	0	25	35	45
Расчетное сопротивление рельсошпальной решетки сдвигу (Q), кН	14,5	15,1	15,3	15,4
Сопротивление, создаваемое торцом шпал (Q_T) от полного расчетного сопротивления решетки сдвигу, %	-	3,8	4,9	5,8
Опытное сопротивление рельсошпальной решетки сдвигу ($Q_{\text{эксп}}$), кН	12,3	13,5	14,2	14,7
Сопротивление, создаваемое торцом шпал (Q_T) от полного опытного сопротивления решетки сдвигу, %	-	8,9	13,4	16,3
Конструктивный коэффициент	0,85	0,89	0,93	0,95

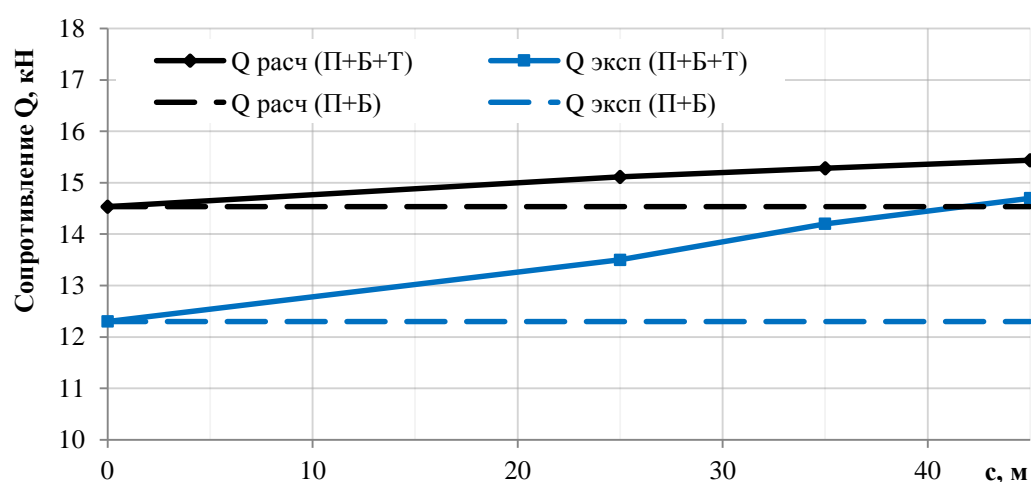


Рисунок 6. Графики зависимости сопротивления рельсошпальной решетки поперечному сдвигу от ширины плеча балластной призмы (рисунок авторов)

Figure 6. The track panel resistance to transverse shear - width of the ballast section shoulder curve plot (Figure of authors)

Таким образом, экспериментальные данные хорошо согласуются с данными, которые были получены ВНИИЖТом в 1980-х годах. Конструктивный коэффициент находится в пределах 0,85 – 0,95 и не превышает 1,0. Существенное отличие заключается в том, что согласно проведенному исследованию процент усилия, воспринимаемый торцом шпалы, составляет от 6 до 16% от общего усилия сдвига в зависимости от различной ширины плеча балластной призмы, а ВНИИЖТом было установлено, что торец шпалы воспринимает лишь 4-6% от общего усилия.

Величина сопротивления пути поперечному сдвигу оказывает влияние на величину сжимающей продольной силы в рельсах, воспринимаемой рельсошпальной решеткой. В

самый неблагоприятный для устойчивости рельсовой колеи момент (летом) должно выполняться условие, ограничивающее продольную сжимающую силу в рельсах P_t [9, 10]:

$$P_t \leq \frac{P_k}{k_{д-у}}, \quad (2)$$

где: P_k – критическая сила, при которой колея в целом теряет устойчивость, кН, $k_{д-у}$ – допускаемый коэффициент устойчивости (обычно равный 1,5).

Большинство существующих исследований основано на энергетическом методе, при котором, задаваясь возможной формой искривления рельсовой колеи, можно определить P_k исходя из того, что в условиях устойчивого равновесия энергия минимальна. В настоящее время расчет устойчивости бесстыкового пути против температурного выброса принято определять по методике С.П. Першина [9, 10]. В качестве внешней нагрузки в этом расчете выступает продольная сила сжатия в рельсах, возникающая при увеличении их температуры:

$$P = 2E_s \alpha F \Delta_t, \quad (3)$$

где: E_s – модуль упругости рельсовой стали, $2,1 \cdot 10^5$ МПа, α – коэффициент линейного расширения стали, $1,18 \cdot 10^{-5}$, F – площадь поперечного сечения рельса, Δ_t – разность двух величин – температуры укладки плети t_y и максимальной температуры рельса t_{max} . Среднее ее значение определяют по данным «Инструкции по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути» [11].

Предельная сжимающая продольная (критическая) сила, которую может воспринять рельсошпальная решетка, определяется по формуле С.П. Першина [12]:

$$P_k = \frac{A}{i\mu} k_1 k_2 k_3, \quad (4)$$

где: A , μ – параметры, зависящие от типа рельсов (для Р75 $A = 6500$, $\mu = 0,560$; для Р65 $A = 5830$, $\mu = 0,585$; для Р50 $A = 5170$, $\mu = 0,600$), i – средний уклон начальной неровности пути в плане (принимают для прямых 2‰, для кривых 2,5 - 3‰), в тысячных, k_1 – коэффициент, зависящий от сопротивления шпал сдвигу в балласте поперек пути (определяют по формуле 5), кН, k_2 – коэффициент, зависящий от эпюры шпал (0,91 при 1600 шт./км; 1,0 при 1840 шт./км; 1,07 при 2000 шт./км), k_3 – коэффициент, характеризующий сопротивление повороту рельсов по подкладкам и шпалам, зависящий от момента затяжки клеммных болтов скреплений и уклона начальной неровности (при $i = 2‰$ и моменте затяжки клеммных болтов 20 кгм $k_3 = 1$).

Зависимость коэффициента k_1 от сопротивления шпалы поперечному сдвигу Q изображена на рисунке 7. Эта экспериментальная зависимость аппроксимирована следующим выражением:

$$k_1 = 0,49 \cdot \ln(1,25 \cdot Q + 1,53). \quad (5)$$

В таблице 4 приведены значения критической силы рельсошпальной решетки в зависимости при различной ширине плеча балластной призмы.

Таблица 4
Значения критической силы при разной ширине плеча балластной призмы

Table 4

The values of critical force at the various width of the ballast section shoulder

Ширина плеча балластной призмы (c), см	0	25	35	45
Критическая сила (P_k), кН	4 129,4	4 193,0	4 211,0	4 227,5
Увеличение критической силы за счет ширины плеча балластной призмы, %	-	1,5	2,0	2,4

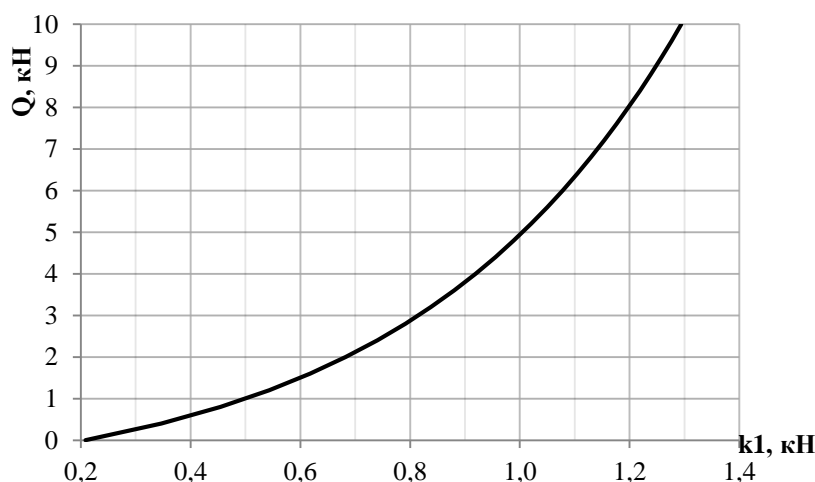


Рисунок 7. Зависимость коэффициента k_1 от сопротивления пути сдвигу Q (рисунок авторов)

Figure 7. Coefficient k_1 - track resistance to shear Q (picture of authors)

Из приведенных данных видно, что ширина плеча балластной призмы оказывает незначительное влияние на критическую силу, воспринимаемую рельсошпальной решеткой. Следовательно, соблюдение требований [11] по содержанию бесстыкового пути с целью снижения сжимающей продольной силы от температурного воздействия даст значительно больший эффект для обеспечения устойчивости пути против поперечного сдвига по сравнению с увеличением ширины плеча балластной призмы.

Таким образом, обеспечение продольной и поперечной устойчивости рельсошпальной решетки должно выполняться не только соблюдением нормативных параметров балластной призмы, таких как ширина плеча и величины откоса балластной призмы, но и температурных требований инструкции [11] по укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бокарев С.А., Прибытков С.С., Яшнов А.Н. Содержание искусственных сооружений с использованием информационных технологий. - М.: УМЦ, 2008. – 195 с.
2. Бокарев С.А., Прибытков С.С. Техническое состояние железобетонных мостов на Западно-Сибирской железной дороге и прогноз его изменения. – «Проектирование и строительство в Сибири», №6, 2002 г. стр. 19-20.
3. Ефимов С.В. Оценка несущей способности продольного борта балластного корыта железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов. – «Материалы XIII научно-технической конференции студентов и аспирантов», Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2015 г. стр. 50.
4. Власов Г.М. Железобетонные мосты. – Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2013 г. – 278 с.
5. Технические указания по устройству и конструкции мостового полотна на железнодорожных мостах ОАО «РЖД». Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» 12.10.2011 г. № 2195р.
6. Инструкция по содержанию искусственных сооружений. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» 31.12.2015 г. № 3195р.
7. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» 29.12.2012 г. № 2791р.
8. Лысюк В.С., Сазонов В.И., Башкатова Л.В. Прочный и надежный железнодорожный путь. М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 589 с.
9. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь. М.: Транспорт, 1987. – 479 с.
10. Железнодорожный путь / Т.Г. Яковлева, Н.И. Карпущенко, С.И. Клинов, Н.Н. Путря, М.П. Смирнов; Под ред. Т.Г. Яковлевой. М.: Транспорт, 1999. – 405 с.
11. Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» 29.12.2012 г. № 2788р.
12. Проектирование железнодорожного пути. Под редакцией Г.М. Шахунянца. Учебное пособие. М.: Транспорт, 1972. – 320 с.

Bokarev Sergey Alexandrovich
Siberian Transport University, Russia, Novosibirsk
E-mail: BokarevSA@stu.ru

Efimov Stefan Vasilyevich
Siberian Transport University, Russia, Novosibirsk
E-mail: esvmt@mail.ru

Study of track stability against transverse shear under action of horizontal load on the reinforced concrete spans with trip on the ballast

Abstract. The article presents the main provisions on the content of the deck on the railway bridges with trip on the ballast according to the current normative documents, implementation of which provides the longitudinal and transverse track stability. It presents statistics of some deviations from the requirements of the bridge deck contents on the exploited reinforced-concrete spans of railway bridges. The authors of article have formulated the purpose and tasks of the pilot research of the longitudinal sides and carried out description of the test specimens, which were a plate fragment of ballast tank with the longitudinal sides, from the equipment used in the process of experiment. The results of laboratory tests of the longitudinal sides for the resistance of track to transverse shear are presented. According to the dependences received by the All-Russian Research Institute of Railway Transport, the calculated values of the track panel shear resistance were defined. In this article the authors gave a comparison of calculation results with the experimental data. They evaluated the effect of width of the ballast section shoulder on the total resistance of track to the transverse shear. Using the standard practice the specialists defined a limit longitudinal compression (critical) force in the rails, and also evaluated the effect of width of the ballast section shoulder on the value of limit longitudinal compression (critical) force, perceptible by the track panel.

Keywords: reinforced-concrete span; ballast section; shoulder of ballast section; laboratory tests of longitudinal sides; horizontal force; longitudinal side of ballast tank; plate fragment of ballast tank; stability of track panel; stability of continuous welded rail track against temperature overshoot; critical force

REFERENCES

1. Bokarev S.A., Pribytkov S.S., Yashnov A.N. Soderzhanie iskusstvennykh sooruzheniy s ispol'zovaniem informatsionnykh tekhnologiy. - M.: UMTs, 2008. – 195 s.
2. Bokarev S.A., Pribytkov S.S. Tekhnicheskoe sostoyanie zhelezobetonnykh mostov na Zapadno-Sibirskoy zheleznoy doroge i prognoz ego izmeneniya. – «Proektirovanie i stroitel'stvo v Sibiri», №6, 2002 g. str. 19-20.
3. Efimov S.V. Otsenka nesushchey sposobnosti prodol'nogo borta ballastnogo koryta zhelezobetonnykh proletnykh stroeniy zheleznodorozhnykh mostov. – «Materialy XIII nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov», Novosibirsk: Izd-vo SGUPSa, 2015 g. str. 50.
4. Vlasov G.M. Zhelezobetonnye mosty. – Novosibirsk: Izd-vo SGUPSa, 2013 g. – 278 s.
5. Tekhnicheskie ukazaniya po ustroystvu i konstruktsii mostovogo polotna na zheleznodorozhnykh mostakh OAO «RZhD». Utverzhdeny rasporyazheniem OAO «RZhD» 12.10.2011 g. № 2195r.
6. Instruktsiya po soderzhaniyu iskusstvennykh sooruzheniy. Utverzhdena rasporyazheniem OAO «RZhD» 31.12.2015 g. № 3195r.
7. Instruktsiya po tekushchemu soderzhaniyu zheleznodorozhnogo puti. Utverzhdena rasporyazheniem OAO «RZhD» 29.12.2012 g. № 2791r.
8. Lysyuk B.C., Sazonov V.I., Bashkatova L.V. Prochnyy i nadezhnyy zheleznodorozhnyy put'. M.: IKTs «Akademkniga», 2003. – 589 s.
9. Shakhunyants G.M. Zheleznodorozhnyy put'. M.: Transport, 1987. – 479 s.
10. Zheleznodorozhnyy put' / T.G. Yakovleva, N.I. Karpushchenko, S.I. Klinov, N.N. Putrya, M.P. Smirnov; Pod red. T.G. Yakovlevoy. M.: Transport, 1999. – 405 s.
11. Instruktsiya po ustroystvu, ukladke, soderzhaniyu i remontu besstykovogo puti. Utverzhdena rasporyazheniem OAO «RZhD» 29.12.2012 g. № 2788r.
12. Proektirovanie zheleznodorozhnogo puti. Pod redaktsiey G.M. Shakhunyantsa. Uchebnoe posobie. M.: Transport, 1972. – 320 s.