

Расчетно-экспериментальная оценка влияния использования подшпальных прокладок на показатели динамического воздействия подвижного состава на путь в стыковой зоне

В. Н. КАПЛИН¹, М. Н. МЫСЛИВЕЦ², Е. А. СИДОРОВА¹, Е. А. ПОЛУНИНА¹

¹ Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

² Общество с ограниченной ответственностью «ЭМИРП» (ООО «ЭМИРП»), Москва, 108811, Россия

Аннотация. Рассмотрены возможности использования подшпальных прокладок для снижения динамического воздействия подвижного состава на путь в стыковой зоне. В процессе исследования была проведена расчетная оценка амортизационных свойств материала для изготовления подшпальных прокладок с учетом упругих свойств подрельсового основания при статических и динамических нагрузках. В статье приведены результаты моделирования в программном комплексе «Универсальный механизм» упругих характеристик подрельсового основания с применением подшпальных прокладок различной жесткости. Данные значения легли в основу расчета показателей динамического взаимодействия пути и подвижного состава в стыке с применением коэффициента, устанавливающего связь между прогибами целого рельса и рельса со стыком. На основе оценки полученных результатов обоснована целесообразность применения в стыке подшпальных прокладок. В работе приведены результаты экспериментальной оценки динамического воздействия подвижного состава на путь в зоне стыка с применением подшпальных прокладок, которые подтверждают полученные расчеты и позволяют оценить рост ускорений, возникающих на шпалах в стыковой зоне при прохождении подвижного состава.

Ключевые слова: железнодорожный путь; подшпальные прокладки; воздействие на путь в зоне стыка; жесткость подрельсового основания; прогибы рельса; ускорения

Введение. Повышение осевых нагрузок, в том числе развитие тяжеловесного движения на сети российских железных дорог, обуславливает необходимость поиска оптимальных решений по улучшению конструкции железнодорожного пути. Предложения по усилению и повышению надежности путевой инфраструктуры охватывают все элементы железнодорожного пути и направлены в первую очередь на обеспечение безопасности там, где воздействие подвижного состава наиболее ощутимо влияет на стабильность пути. Например, актуальной задачей является снижение сил взаимодействия колеса и рельса в зоне рельсового стыка, которые могут достигать достаточно высоких значений вследствие ударных нагрузок [1, 2]. При этом одним из направлений совершенствования устройства железнодорожного пути

может стать использование эластичных подшпальных прокладок [3, 4, 5], которое позволяет снизить вибрационные нагрузки, передающиеся от железобетонных шпал на щебеночный балласт и приводящие к перемещению частиц щебня, сколу граней и истиранию частиц щебня, а при недостаточной его прочности — к разрушению частиц щебня. По исследованиям отечественных и зарубежных ученых, применение упругих подшпальных прокладок является одним из методов снижения вибраций, передаваемых от железобетонных шпал на щебень, в том числе в стыковой зоне. Результаты опытной эксплуатации конструкции железнодорожного пути с подшпальными прокладками в стыковой зоне на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» (ЭК АО «ВНИИЖТ») также показали значительно меньший износ щебня под шпалами в стыках с прокладками, чем в типовых стыках [4, 6, 7, 8]. Несмотря на положительные результаты исследований и испытаний упругих подшпальных прокладок в зоне стыка, вопрос об их применении на сети российских железных дорог все еще не решен однозначно, и данная работа посвящена дальнейшему развитию этого направления.

Расчет характеристик материала упругих подшпальных прокладок. Выбор материала для изготовления упругих подшпальных прокладок должен быть обоснован расчетом его статических и динамических характеристик, которые в процессе эксплуатации изделия обеспечат снижение динамических и вибрационных нагрузок на путь в зоне стыка.

Основными характеристиками резин, применяемых для изготовления упругих подшпальных прокладок, являются логарифмический декремент ν , статический модуль упругости $E_{ст}$ и динамический модуль упругости $E_{дин}$. В данной работе эти характеристики были определены в соответствии с международным стандартом ASTM D945 «Стандартные методы испытаний свойств резины при сжатии или сдвиге (механический осциллограф)» (Standard Test Methods for

■ E-mail: Sidorova.Elena@vniizht.ru (Е. А. Сидорова)

Rubber Properties in Compression or Shear (Mechanical Oscillograph)).

Статический модуль упругости $E_{ст}$ (МПа) определяется следующим выражением:

$$E_{ст} = \frac{F}{\frac{S}{\Delta l}} = \frac{Fl}{S\Delta l},$$

где F — нормальная составляющая силы, Н; S — площадь поверхности, по которой распределено действие силы, m^2 ; l — высота деформируемого образца, м; Δl — изменение высоты образца в результате упругой деформации (измеренного в тех же единицах, что и высота l).

При этом динамический модуль упругости $E_{дин}$ (МПа) определялся по выражению

$$E_{дин} = 0,996If^2,$$

где I — момент инерции балки и используемых грузов, $кг \cdot m^2$; f — частота затухающих колебаний, Гц.

Важной характеристикой процесса затухания колебаний является логарифмический декремент — физическая величина, описывающая уменьшение амплитуды колебательного процесса и равная натуральному логарифму отношения двух последовательных, отсто-

ящих во времени на период амплитуд колеблющейся величины:

$$v = \ln \frac{\lambda_1}{\lambda_2},$$

где λ_1 и λ_2 — две последующие амплитуды при свободном затухающих колебаниях.

Исходя из расчетов основных статических и динамических характеристик упругих прокладок была выбрана марка резины, основные характеристики которой приведены в табл. 1.

На основании свойств выбранного специалистами ООО «ЭМИРП» материала были проведены расчеты характеристик упругих подшпальных прокладок для устранения просадок в стыках. Подшпальные прокладки выполняют функцию амортизаторов, снижая вибрационную нагрузку на путь. Основными характеристиками амортизаторов являются статическая жесткость C , собственная частота f_c и коэффициент виброизоляции η .

Статическая жесткость C (Н/м) является нелинейной величиной и для заданного интервала нагрузок определяется по выражению

$$C = \frac{P}{\epsilon},$$

где P — нагрузка, действующая на амортизатор, Н; ϵ — деформации амортизатора под нагрузкой P , м.

Собственная частота f_c (Гц) рассчитывается по формуле

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C \cdot k}{m}},$$

где C — жесткость подшпальной прокладки, Н/м; k — коэффициент, отвечающий за изменение жесткости конструкции при динамическом нагружении; m — масса груза (кг), воздействующая на амортизатор:

$$m = \frac{P}{g},$$

где g — ускорение свободного падения, m/c^2 [9].

Способность амортизатора гасить колебания характеризуется коэффициентом виброизоляции η , определяемым выражением

$$\eta = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{f_B}{f_c}\right)^2 \frac{4v^2}{4\pi^2 + v^2}}}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f_B}{f_c}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{f_B}{f_c}\right)^2 \frac{4v^2}{4\pi^2 + v^2}}},$$

где f_B — частота вынужденных колебаний (частота колебаний возбуждающей силы), Гц [9].

В результате расчетов были получены значения статической жесткости и динамической жесткости,

Таблица 1
Характеристики резины, применяемой для изготовления упругой прокладки

Table 1
Properties of rubber used for the elastic pad

Параметр	Значение
Статический модуль, $E_{ст}$, МПа	2,8
Динамический модуль, $E_{дин}$, МПа	8,4
Логарифмический декремент, v , усл. ед.	0,45

Таблица 2

Статические и динамические характеристики упругих прокладок

Table 2

Static and dynamic properties of the elastic pads

Габаритные размеры, мм	Статическая жесткость, C , кН/м	Динамическая жесткость, s' , кН/м	Примечание
2700×250×20	94 500	283 500	—
2700×250×20	92 612	277 835	Пластины с отверстиями
1000×250×14	50 000	150 000	—
1000×250×14	49 066	147 199	Пластины с отверстиями
1000×250×8	87 500	262 500	—
1000×250×8	85 866	257 598	Пластины с отверстиями

которая представляет собой отношение динамической силы к динамическому смещению (табл. 2).

Проведенные расчеты стали основой для выбора материала и конфигурации опытных образцов амортизаторов. Специалистами ООО «ЭМИРП» были изготовлены и произведены исследования трех образцов упругих амортизаторов, изготовленных из различных материалов: на этиленовой основе (EVA), на пенообразующих компонентах (Schaum) и из резиновой смеси.

По результатам испытаний указанных упругих амортизаторов был выбран материал — резина на основе изопреновых каучуков, отвечающий следующим требованиям:

- логарифмический декремент — 0,53;
- повышенная морозостойкость;
- накопление остаточной деформации не более 20 %.

Из этого материала были изготовлены образцы с разным коэффициентом формы и разной жесткостью, которые использовались специалистами АО «ВНИИЖТ» при проведении испытаний на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ».

Расчет вертикальных сил, действующих на путь в области стыка, в программном комплексе «Универсальный механизм». Проведению испытаний подшпальных резиновых упругих прокладок на ЭК АО «ВНИИЖТ» предшествовали исследования по моделированию и расчету вертикальных сил, действующих на путь в области стыка, с учетом наличия и отсутствия подшпальных прокладок.

С целью анализа влияния на взаимодействие пути и подвижного состава наличия в конструкции пути подшпальных прокладок был проведен модельный эксперимент в программном комплексе «Универсальный механизм» с применением встроенного модуля «Упругий путь», предполагающего детальное описание параметров рельсов, шпал, креплений и подшпального основания. При моделировании рельсы описаны в качестве балок Тимошенко, передающих нагрузку на шпалу и лежащих на упругом основании. Для создания протяженного пути использовались секции из 32 шпал, что обусловлено наиболее реалистичным описанием железнодорожного пути [10].

В исследовании В. Н. Данилова, посвященном расчету рельсовой нити в зоне стыка, отмечена взаимосвязь жесткости подрельсового основания и вертикальной силы, действующей от колеса на рельс. Эта взаимосвязь выражена следующей формулой:

$$j = \frac{Q}{y},$$

где j — жесткость подрельсового основания, кН/м; Q — вертикальная сила, действующая от колеса на рельс, кН; y — вертикальный прогиб рельса под колесом, м [11].

Уменьшение жесткости подрельсового основания позволяет снизить частоту вибрационной нагрузки на путь. При этом результаты проведенных испытаний по оценке влияния частоты приложения нагрузки от подвижного состава на уровень сил, действующих на путь, показали, что с ростом частоты приложения нагрузки силы, действующие на путь, возрастают [12]. Изначально в процессе моделирования жесткость основания принималась равной 60000 кН/м и регулировалась с использованием подшпальных прокладок. В настоящей работе рассмотрено влияние на вертикальные силы взаимодействия колеса и рельса наличия в конструкции пути подшпальных прокладок с разной жесткостью — 44575 и 36000 кН/м. Выбор указанных параметров жесткости подшпальных прокладок для создания модели упругого пути обусловлен необходимостью соотнесения данных, полученных с помощью моделирования, с результатами экспериментальных исследований (образцы упругих подшпальных прокладок с такими же значениями жесткости были испытаны на ЭК АО «ВНИИЖТ»).

Таким образом, с учетом последовательного соединения элементов конструкции железнодорожного пути суммарная вертикальная жесткость основания при наличии подшпальных прокладок может быть рассчитана по формуле

$$k = \frac{k_o k_n}{k_o + k_n},$$

где k_o — жесткость основания, кН/м; k_n — жесткость подшпальной прокладки, кН/м.

Полученное значение суммарной жесткости было использовано для изменения параметров подшпального основания в математической модели и определения коэффициента диссипации μ (Нм/с) по формуле

$$\mu = 2\beta\sqrt{mk},$$

где m — приведенная масса подрельсового основания; β — доля демпфирования, ее значения лежат обычно в диапазоне $\beta = 0,1 \div 0,4$. Для решения рассматриваемой задачи доля демпфирования была принята 0,2 [13].

Приведенная масса подрельсового основания может быть рассчитана по формуле согласно

$$m = \frac{\gamma_o \sigma}{g} \int_0^H e^{-2\epsilon z} dz,$$

где γ_o — удельный вес материала основания, т/м³; σ — длина шпалы, м; H — глубина распространения вертикальных перемещений, м; $\epsilon = 1 \div 1,5$ — параметр функции распределения вертикальных перемещений по глубине основания; $g = 9,81$ м/с²; z — вертикальные перемещения в точке приложения силы, м [14].

В программном комплексе «Универсальный механизм» с применением модуля «Упругий путь» при расчете контактных сил используется модель В. Кика

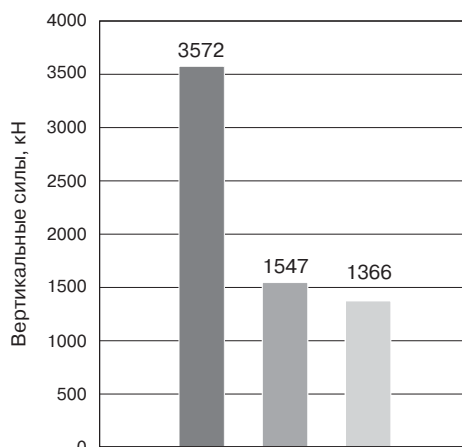


Рис. 1. Значения вертикальных сил, рассчитанные для движения вагона по прямому пути со стыком: ■ — без подшпальной прокладки; ■ — с подшпальной прокладкой, жесткость 44575 кН/м; ■ — с подшпальной прокладкой, жесткость 36000 кН/м

Fig. 1. Vertical forces calculated for the car movement on the straight track with joint: ■ — without the rail pad; ■ — with rail pad, rigidity 44575 kN/m; ■ — with rail pad, rigidity 36000 kN/m

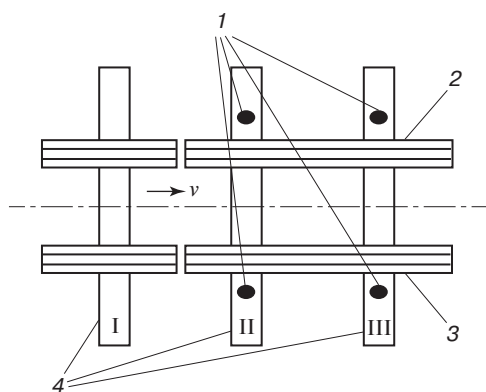


Рис. 2. Схема расположения приборов на опытном участке: 1 — акселерометры; 2 — наружный рельс; 3 — внутренний рельс; 4 — шпалы (первая (I), вторая (II) и третья (III))

Fig. 2. Layout of instruments at the test site: 1 — accelerometers; 2 — exterior rail; 3 — inner rail; 4 — rail sleepers (first, second and third)

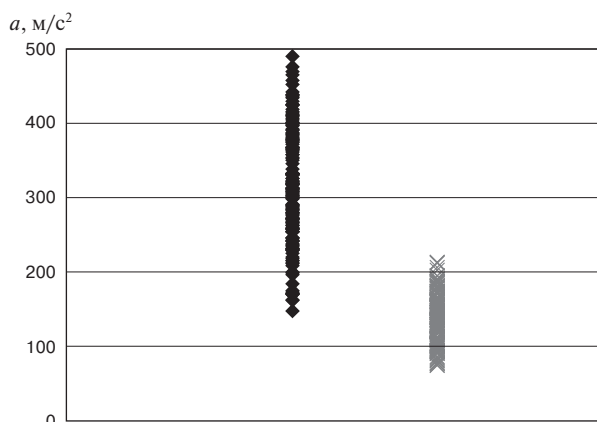


Рис. 3. Ускорение на второй (принимающей) шпале, скорость 60 км/ч:

◆ — типовой стык, × — типовой стык с упругой прокладкой
Fig. 3. Acceleration on the second (receiving) sleeper, speed 60 km/h:
◆ — typical joint, × — typical joint with elastic pad

и И. Пиотровского. При этом суммарная нормальная реакция может быть найдена по формуле

$$N = N_e + N_d,$$

где N_e — упругая составляющая; N_d — диссипативная составляющая [15].

В результате моделирования были рассчитаны вертикальные силы и вертикальные прогибы рельса под колесом при движении вагона по пути без подшпальных прокладок и по пути с подшпальными прокладками разной жесткости. Полученные значения позволили установить связь между прогибами целого рельса (y_p) и рельса со стыком ($y_{ст}$) через коэффициент γ (рад.), предложенный в [11] В.Н. Даниловым:

$$\gamma = \frac{y_{ст} - y_p}{P} \cdot \frac{8EI}{l^2},$$

где P — вертикальная сила, действующая от колеса на рельс, кгс; E — модуль упругости рельсовой стали, кг/см²; I — момент инерции рельса, см⁴; l — длина межшпального расстояния, см.

Значения прогибов рельсов в стыке были рассчитаны для пути без подшпальных прокладок и с подшпальными прокладками различной жесткости и использованы для расчета вертикальных сил, действующих от колеса на рельс в стыке. Результаты расчетов представлены на диаграмме (рис. 1) и демонстрируют существенное — в 2,6 раза — снижение вертикальных сил в стыке при использовании подшпальных прокладок.

Экспериментальная часть исследований по оценке динамического воздействия подвижного состава на путь в стыковой зоне. После моделирования и расчетной оценки вертикальных сил, возникающих при взаимодействии колеса и рельса в стыковой зоне, были проведены испытания упругих подшпальных прокладок на ЭК АО «ВНИИЖТ». Для оценки сил, передаваемых железобетонными шпалами на балласт, было принято решение провести замеры ускорений в зоне типовых стыков и стыков с уложенными под шпалы упругими амортизаторами.

Экспериментальные исследования проводились на 2-м кольцевом пути ЭК АО «ВНИИЖТ», в кривой радиусом $R=860$ м, рельсы типа Р65, шпалы железобетонные, крепления КБ-65. Для проведения испытаний был подготовлен опытный участок с тремя разными конструкциями стыков:

- типовая конструкция стыка;
- типовой стык с подшпальными прокладками;
- сварной стык с подшпальными прокладками.

Измерительные приборы (акселерометры) крепились на железобетонных шпалах в засверленные отверстия по обоим концам шпал. Тип акселерометров — НВМВ12/500. На каждом из видов стыков измерения ускорений производились на двух шпалах под принимающим рельсом (шпала II и III; см. рис. 2).

Таблица 3

Ускорения на шпалах при наличии и отсутствии прокладок

Table 3

Acceleration on sleepers with and without pads

Шпала	Скорость, км/ч	Ускорение на шпале типовой стык, м/с ²		Ускорение на шпале типовой стык с упругой прокладкой, м/с ²		Отношение ускорения типовой стык / типовой стык с упругой прокладкой	
		Среднее	Максимальное	Среднее	Максимальное	По средним	По максимальным
Вторая (принимающая)	25	223,1	329,8	82,1	119,7	2,7	2,8
	40	335,7	461,6	88,9	158,4	3,8	2,9
	60	313,0	488,4	139,9	213,3	2,2	2,3
Третья (принимающая)	25	137,4	163,5	38,2	88,1	3,6	1,9
	40	184,7	217,0	75,3	130,0	2,5	1,7
	60	211,7	265,6	104,0	158,1	2,0	1,7

На каждую шпалу устанавливалось по 2 акселерометра — у наружного и внутреннего рельсов. Измерения ускорений на шпалах проводились при проходе по опытному участку грузового состава, состоящего из восьмиосного электровоза ВЛ80^с и 10 грузовых полувагонов с нагрузкой на ось 23,5 т. Регистрация сигналов производилась системой Spider 8, несущей частотой 4,8 кГц при частоте оцифровки 1200 Гц. Величины ускорений были получены при частотах до 600 Гц и показаны на рис. 3.

Численные значения полученных ускорений приведены в табл. 3.

В среднем по всем скоростям на второй (принимающей) шпале в типовом стыке ускорения выше по средним значениям в 2,9 раза, а по максимальным —

в 2,65 раза; по третьей (принимающей) шпале — по средним значениям выше в 2,69 раза, а по максимальным — в 1,74 раза.

Полученные данные хорошо коррелируют с результатами, рассчитанными с применением программного комплекса «Универсальный механизм».

В среднем по всем скоростям на второй (принимающей) шпале по сравнению с третьей (принимающей) шпалой среднее ускорение выше на 63 %, а максимальные ускорения — на 62 %.

При наличии прокладки разница составляет по средним значениям 61 %, а по максимальным — 42 %.

На рис. 4, 5 представлены зависимости ускорений от скорости в типовом стыке и стыке с упругими прокладками под шпалами.

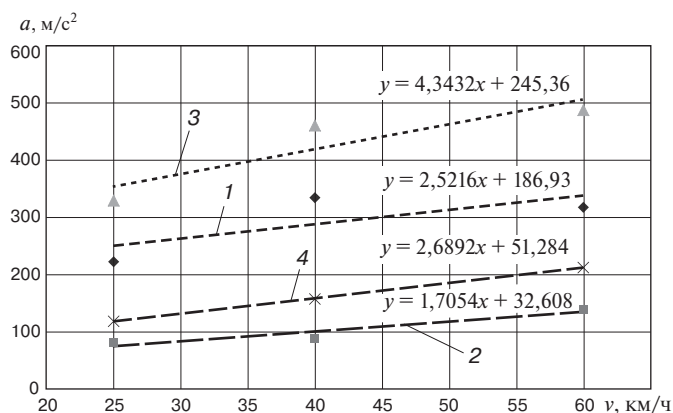


Рис. 4. Ускорения на второй (принимающей) шпале. Внутренний рельс: ◆ — типовой стык (средние значения ускорений); ■ — типовой стык с упругой прокладкой (средние значения ускорений); ▲ — типовой стык (максимальные значения ускорений); × — типовой стык с упругой прокладкой (максимальные значения ускорений); линейная аппроксимация средних значений ускорений: 1 — в типовом стыке; 2 — в типовом стыке с упругой прокладкой; линейная аппроксимация максимальных значений ускорений: 3 — в типовом стыке; 4 — в типовом стыке с упругой прокладкой

Fig. 4. Acceleration on the second (receiving) sleeper. Inner rail: ◆ — typical joint (average acceleration); ■ — typical joint with elastic pad (average acceleration); ▲ — typical joint (maximum acceleration); × — typical joint with elastic pad (maximum acceleration); linear approximation of the average acceleration: 1 — in a typical joint; 2 — in a typical joint with elastic pad; linear approximation of the maximum acceleration: 3 — in a typical joint; 4 — in a typical joint with elastic pad

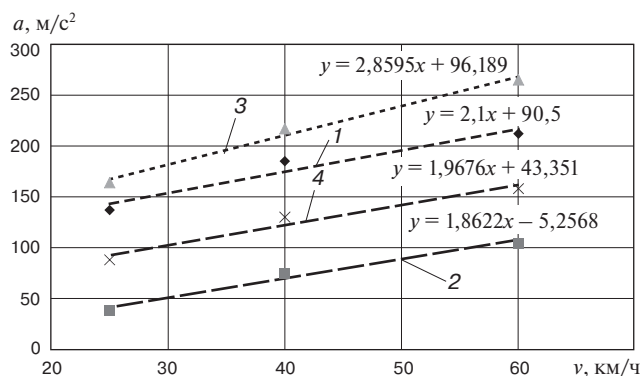


Рис. 5. Ускорения на третьей (принимающей) шпале. Внутренний рельс: ◆ — типовой стык (средние значения ускорений); ■ — типовой стык с упругой прокладкой (средние значения ускорений); ▲ — типовой стык (максимальные значения ускорений); × — типовой стык с упругой прокладкой (максимальные значения ускорений); линейная аппроксимация средних значений ускорений: 1 — в типовом стыке; 2 — в типовом стыке с упругой прокладкой; линейная аппроксимация максимальных значений ускорений: 3 — в типовом стыке; 4 — в типовом стыке с упругой прокладкой

Fig. 5. Accelerations on the third (receiving) sleeper. Inner rail: ◆ — typical joint (average acceleration); ■ — typical joint with elastic pad (average acceleration values); ▲ — typical joint (maximum acceleration); × — typical joint with elastic pad (maximum acceleration values); linear approximation of the average acceleration: 1 — in a typical joint; 2 — in a typical joint with elastic pad; linear approximation of the maximum acceleration: 3 — in a typical joint; 4 — in a typical joint with elastic pad

Таблица 4

Ускорения на шпалах при наличии прокладок в типовом и сварном стыках

Table 4

Accelerations on the sleepers for typical and weld joints with pads

Шпала	Скорость, км/ч	Ускорение на шпале типовой стык с упругой прокладкой, м/с ²		Ускорение на шпале сварной стык с упругой прокладкой, м/с ²		Отношение ускорения типовой стык с упругой прокладкой/сварной стык с упругой прокладкой	
		Среднее	Максимальное	Среднее	Максимальное	По средним	По максимальным
Вторая (принимающая)	25	82,1	119,7	13,0	20,0	6,3	6,0
	40	88,9	158,4	31,8	52,3	2,8	3,0
	60	139,9	213,3	50,6	85,7	2,8	2,5
Третья (принимающая)	25	38,2	88,1	10,8	16,7	3,5	5,3
	40	75,3	130,0	31,6	55,6	2,4	2,3
	60	104,0	158,1	39,5	64,2	2,6	2,5

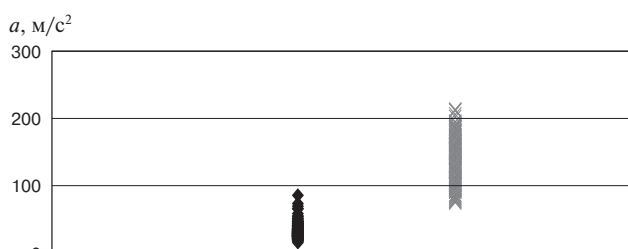


Рис. 6. Ускорения на второй (принимающей) шпале. Внутренний рельс. Скорость 60 км/ч:

◆ — сварной стык с упругой прокладкой; × — типовой стык с упругой прокладкой

Fig. 6. Accelerations on the second (receiving) sleeper. Inner rail. Speed 60 km/h:

◆ — weld joint with elastic pad; × — typical joint with elastic pad

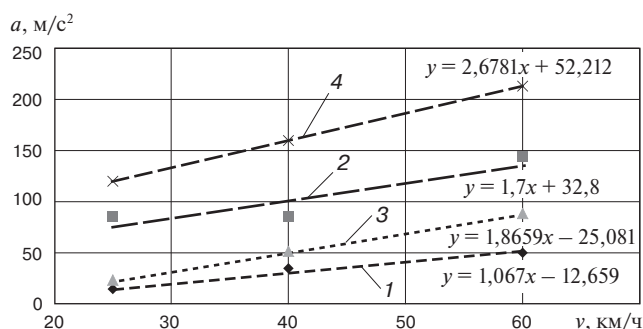


Рис. 7. Ускорения на второй (принимающей) шпале. Внутренний рельс: ◆ — сварной стык с упругой прокладкой (средние значения ускорений); ■ — типовой стык с упругой прокладкой (средние значения ускорений); ▲ — сварной стык с упругой прокладкой (максимальные значения ускорений); × — типовой стык с упругой прокладкой (максимальные значения ускорений); линейная аппроксимация средних значений ускорений: 1 — в сварном стыке с упругой прокладкой; 2 — в типовом стыке с упругой прокладкой; линейная аппроксимация максимальных значений ускорений: 3 — в сварном стыке с упругой прокладкой; 4 — в типовом стыке с упругой прокладкой

Fig. 7. Acceleration on the second (receiving) sleeper. Inner rail: ◆ — weld joint with elastic pad (average acceleration); ■ — typical joint with elastic pad (average acceleration); ▲ — weld joint with elastic pad (maximum acceleration); × — typical joint with elastic pad (maximum acceleration); linear approximation of the average acceleration: 1 — in a weld joint with elastic pad; 2 — in a typical joint with elastic pad; linear approximation of the maximum acceleration: 3 — in a weld joint with elastic pad; 4 — in a typical joint with elastic pad

Анализ угловых коэффициентов в уравнениях регрессии (см. рис. 4, 5) показывает, что при использовании резиновых прокладок график зависимости ускорения на шпале от скорости имеет меньший угловой коэффициент и меньший свободный член, чем без использования прокладок.

Следовательно, можно сделать вывод, что при использовании резиновых прокладок рост ускорений на шпале в меньшей степени зависит от скорости движения, так как прокладка компенсирует влияние скорости, что приводит к увеличению стабильности пути.

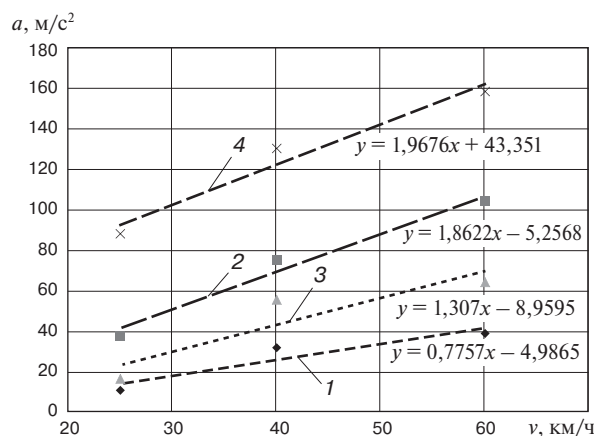


Рис. 8. Ускорения на третьей (принимающей) шпале. Внутренний рельс: ◆ — сварной стык с упругой прокладкой (средние значения ускорений); ■ — типовой стык с упругой прокладкой (средние значения ускорений); ▲ — сварной стык с упругой прокладкой (максимальные значения ускорений); × — типовой стык с упругой прокладкой (максимальные значения ускорений); линейная аппроксимация средних значений ускорений: 1 — в сварном стыке с упругой прокладкой; 2 — в типовом стыке с упругой прокладкой; линейная аппроксимация максимальных значений ускорений: 3 — в сварном стыке с упругой прокладкой; 4 — в типовом стыке с упругой прокладкой

Fig. 8. Accelerations on the third (receiving) sleeper. Inner rail: ◆ — weld joint with elastic pad (average acceleration); ■ — typical joint with elastic pad (average acceleration); ▲ — weld joint with elastic pad (maximum acceleration); × — typical joint with elastic pad (maximum acceleration); linear approximation of the average acceleration: 1 — in a weld joint with elastic pad; 2 — in a typical joint with elastic pad; linear approximation of the maximum acceleration: 3 — in a weld joint with elastic pad; 4 — in a typical joint with elastic pad

На рис. 6 показаны величины ускорений для типового стыка с упругой прокладкой и сварного стыка с упругой прокладкой, а в табл. 4 представлены полные численные значения ускорений.

В среднем по всем скоростям на второй (принимающей) шпале в типовом стыке с прокладками ускорения выше по средним значениям в 3,9 раза, а по максимальным — в 3,8 раза по сравнению со сварным стыком; по третьей (принимающей) шпале — по средним значениям выше в 2,8 раза, а по максимальным — в 3,3 раза.

На рис. 7 и 8 представлены зависимости ускорений от скорости в типовых и сварных стыках с упругими прокладками под шпалами.

Анализ угловых коэффициентов в уравнениях регрессии (см. рис. 7, 8) показывает, что в типовых стыках при использовании резиновых прокладок зависимости ускорения на шпале от скорости имеют больший угловой коэффициент и больший свободный член, чем в сварных стыках с использованием упругих амортизаторов.

Выводы. По результатам проведенных исследований установлено, что упругие подшпальные прокладки, изготовленные из резины на основе изопреновых каучуков, могут использоваться в конструкциях верхнего строения пути для улучшения показателей взаимодействия пути и подвижного состава. В частности, при использовании резиновых прокладок рост ускорений на шпале в меньшей степени зависит от скорости движения, что приводит к увеличению стабильности пути. Полученные результаты подтверждаются экспериментами, которые хорошо коррелируют с расчетами и обосновывают необходимость продолжения исследований в этой области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Манашкин Л.А., Мямлин С.В., Приходько В.И. Оценка силы ударного взаимодействия колеса и рельса на стыке двух рельсов // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2008. Вип. 22. С. 36–39.
2. Желнин Г.Г., Кузнецов В.В. Снижение динамического воздействия на путь в стыках // Сб. научных трудов третьей научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». М.: МИИТ, 2000. С. 6–10.
3. Loy H., Augustin A. PUR pads protect heavy freight corridors // Railway Gazette International. September 2014. Vol. 170. Issue 9. P. 105–109.

4. Повышение стабильности пути в зоне стыков за счет применения упругих подшпальных прокладок / В.О. Певзнер [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 2016. Т. 45. № 3. С. 140–146.

5. Васильченко Г.М. Исследования способов выправки пути // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. Межвузовский сборник научных трудов. М.: РГОТУПС, 2013. С. 114–116.

6. Ананьев Н.И., Барабошин В.Ф. Как служат подшпальные прокладки // Путь и путевое хозяйство. 1988. № 11. С. 8.

7. Ананьев Н.И., Барабошин В.Ф. Вредные вибрации и борьба с ними. М.: Транспорт, 1972. 47 с.

8. Шерстянникова И.В. Испытаны подшпальные амортизаторы // Путь и путевое хозяйство. 2002. № 3. С. 31.

9. Лепетов В.А. Расчеты и конструирование резиновых изделий и технологической оснастки: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Технология переработки пластических масс и эластомеров». 4-е изд., перераб. и доп. / под ред. Л.Н. Юрцева. М.: ИСТЕК, 2009. 417 с.

10. Computer simulation of train-track-bridge interaction / A. Rodikov [et al.] // CORE 2016: Maintaining the Momentum. P. 348.

11. Данилов В.Н. Расчет рельсовой нити в зоне стыка. М.: Трансжелдориздат, 1952. 116 с.

12. Певзнер В.О., Третьяков В.В., Шапетько К.В., Петропавловская И.Б. Инфраструктура в условиях повышенных осевых нагрузок // Железнодорожный транспорт. 2018. № 4. С. 52–55.

13. Kraus P.R., Fredriksson A., Kumar V.S. Modeling of frictional contacts for dynamic simulation // IROS 1997 Workshop on Dynamic Simulation: Methods and Applications. 1997. P. 1–10.

14. Вибрации в технике: справочник / под ред. Ф.М. Диментберга, К.С. Колесникова. М.: Машиностроение, 1980. 544 с.

15. Piotrowski J., Kik W.A. Simplified model of wheel/rail contact mechanics for non-Hertzian problems and its application in rail vehicle dynamic simulations // Vehicle System Dynamics. 2008. Vol. 46. № 1–2. P. 27–48.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КАПЛИН Валерий Николаевич,
начальник Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ»

МЫСЛИВЕЦ Максим Николаевич,
начальник конструкторско-технологического отдела,
ООО «ЭМИРП»

СИДОРОВА Елена Анатольевна,
канд. техн. наук, старший научный сотрудник, научный центр
«Путевая инфраструктура и вопросы взаимодействия колесо-рельс», АО «ВНИИЖТ»

ПОЛУНИНА Евгения Алексеевна,
руководитель группы, научный центр «Динамика и прочность
тягового подвижного состава», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 28.06.2019 г.,
принята к публикации 09.08.2019 г.

Estimation and test assessment of the rail pads effect on the indicators of dynamic impact of the rolling stock on the track in the joint area

V. N. KAPLIN¹, M. N. MYSLIVETS², E. A. SIDOROVA¹, E. A. POLUNINA¹

¹ Joint Stock Company Railway Research Institute (JSC “VNIIZhT”), Moscow, 129626, Russia

² Limited Liability Company EMIRP (LLC “EMIRP”), Moscow, 108811, Russia

Abstract. Increasing axial loads including the development of heavy movement on Russian railroads network require the best solutions for improvement of the railway track structure. Research by Russian and international scientists indicates that

rail elastic pads reduce vibrations transferred from reinforced concrete sleepers to crashed stone, including the joint area. This study examines possibilities of using rail pads for reducing the dynamic effects of the rolling stock on the track in the joint

area. Assessment of the rail pads construction material shock-absorbing properties was conducted considering the elastic properties of the rail support with static and dynamic loads. Results of modeling the elastic properties of the rail support with rail pads of different rigidities using the software complex "Universal mechanism" are presented. The results were used as basis for calculation of indicators of dynamic interaction of the track and rolling stock at the joint using the coefficient establishing the link between bendings of the solid rail and the rail with joint. The expediency of using rail pads at the place of the joint is justified based on assessment of the results.

This study reveals that elastic rail pads based on isoprene rubbers are suitable for track structures that improve indicators of the track and rolling stock interaction. When using rubber pads, the growth of accelerations on the sleeper is less dependent on the speed, causing the track stability to increase. The results are supported by tests consistent with calculations and justify the necessity for further studies in this field.

Keywords: railway track; under sleeper pads; effect on the track at the joint area; rigidity of rail support; rail bending; accelerations

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-4-241-248>

REFERENCES

1. Manashkin L.A., Myamlin S.V., Prikhod'ko V.I. *Otsenka sily udarnogo vzaimodeystviya koleasa i rel'sa na styke dvukh rel'sov* [Assessment of the force of their impact interaction of wheel and rail at the joint of two rails]. *Visnik Dnipropetrovs'kogo natsional'nogo universitetu zaliznichnogo transportu imeni akademika V. Lazaryana*, 2008, Vip. 22, pp. 36–39.
2. Zhelnin G.G., Kuznetsov V.V. *Snizhenie dinamicheskogo vozdeystviya na put' v stykakh* / Sb. nauchnykh trudov tret'ey nauchno-prakticheskoy konferentsii "Resursoberegayushchie tekhnologii na zheleznodorozhnom transporte". Moscow, MIIIT, 2000, pp. 6–10.
3. Loy H., Augustin A. *Railway Gazette International*. September 2014, Vol. 170, Issue 9, pp. 105–109.
4. *Povyshenie stabil'nosti puti v zone stykov za schet primeneniya uprugikh podshpal'nykh prokladok* [Increasing track stability in the zone of joints due to the use of elastic under sleeper pads] / V.O. Pevzner [i dr.]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2016, Vol. 45, no. 3, pp. 140–146.
5. Vasil'chenko G.M. *Issledovaniya sposobov vypravki puti. Sovremennye problemy sovershenstvovaniya raboty zheleznodorozhnogo transporta* / Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov [Examination of the methods of track surfacing / Modern issues of improvement of the railwaytransport operation. Inter-school collection of scientific works]. M.: RGOTUPS [Moscow, Russian State Open Technical University of Railways], 2013, pp. 114–116.

■ E-mail: Sidorova.Elena@vniizht.ru (E. A. Sidorova)

6. Anan'yev N.I., Baraboshin V.F. *Kak sluzhat podshpal'nye prokladki* [The way the under sleeper pads work]. *Put' i putevoe khozyaystvo* [Track and track facilities], 1988, no. 11, p. 8.

7. Anan'yev N.I., Baraboshin V.F. *Vrednye vibratsii i bor'ba s nimi* [Harmful vibrations and fight with them]. Moscow, Transport, 1972, 47 p.

8. Sherstyannikova I.V. *Ispytany podshpal'nye amortizatory* [Under sleeper pads were tested]. *Put' i putevoe khozyaystvo* [Track and track facilities], 2002, no. 3, p. 31.

9. Lepetov V.A. *Raschety i konstruirovaniye rezinovykh izdeliy i tekhnologicheskoy osnastki: uchebnoe posobie dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy*. M.: ISTEK [Moscow, Publishing house "ISTEK"], 2009, 420p.

10. Computer simulation of train-track-bridge interaction / A. Rodikov [et al.]. CORE 2016: Maintaining the Momentum. P. 348.

11. Danilov V.N. *Raschet rel'sovoy niti v zone styka* [Calculation of the rail track at the joint area]. Moscow, Transzheldorizdat, 1952, 116 p.

12. Pevzner V.O., Tret'yakov V.V., Shapet'ko K.V., Petropavlovskaya I.B. *Infrastruktura v usloviyakh povyshennykh oseykh nagruzok* [Railway Transport], 2018, no. 4, pp. 52–55.

13. Kraus P.R., Fredriksson A., Kumar V.S. *Modeling of frictional contacts for dynamic simulation*. IROS 1997 Workshop on Dynamic Simulation: Methods and Applications. 1997, pp. 1–10.

14. *Vibratsii v tekhnike: spravochnik* / Pod red. F.M. Dimentberga, K.S. Kolesnikova [Vibrations in equipment: reference guide / Under editorship of F.M. Dimentberg, K.R. Kolesnikov]. M.: Mashinostroeniye [Moscow, Machine building], 1980, 544 p.

15. Piotrowski J., Kik W.A. *Simplified model of wheel/rail contact mechanics for non-Hertzian problems and its application in rail vehicle dynamic simulations*. *Vehicle System Dynamics*, 2008, Vol. 46, no. 1–2, pp. 27–48.

ABOUT THE AUTHORS

Valeriy N. KAPLIN,

Head of the Experimental Test Loop of JSC "VNIIZhT"

Maksim N. MYSLIVETS,

Head of the Design Technological Department, LLC "EMIRP"

Elena A. SIDOROVA,

Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Scientific Center "Track Infrastructure and the Issues of the Wheel-Rail Interaction", JSC "VNIIZhT"

Evgeniya A. POLUNINA,

Team Leader, Scientific Center "Dynamics and Endurance of Traction Rolling Stock", JSC "VNIIZhT"

Received 28.06.2019

Accepted 09.08.2019

«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

Оформить подписку можно в редакции: 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).