

О необходимости дополнения норматива отвода ширины колеи

В. О. ПЕВЗНЕР, Б. Н. ЗЕНЗИНОВ, К. В. КЛЕМЕНТЬЕВ

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

Аннотация. Рассматриваются недостатки существующей системы оценки положения пути в плане. Проведен анализ взаимозависимостей параметров неровностей в плане по наружной и внутренней рельсовым нитям в кривых участках пути. При помощи моделирования динамики подвижного состава показано приоритетное влияние отвода неровностей рельсовых нитей в плане. Установлены значения отвода рельсовых нитей в плане, недопустимые с точки зрения безопасности движения. Предлагается и обосновывается направление совершенствования существующих нормативов оценки геометрии рельсовой колеи в плане.

Ключевые слова: неровности рельсовых нитей в плане; ширина колеи; моделирование динамики подвижного состава

Введение. Существующая система оценки геометрии рельсовой колеи предусматривает контроль норматива отвода ширины колеи и ограничение скоростей при превышении допустимых значений. В настоящее время допускаемые уклоны отвода ширины колеи нормируются в соответствии с пунктом 2.2.7 Инструкции по текущему содержанию железнодорожного пути ЦП-774 (табл. 1). Такой подход не дает полного и адекватного представления о положении пути в плане.

Поскольку в данном случае ширину колеи можно определить как пространственную разность двух рельсовых нитей в плане (рис. 1), то величина отвода ширины колеи может иметь одинаковое значение при различном положении рельсовых нитей в плане

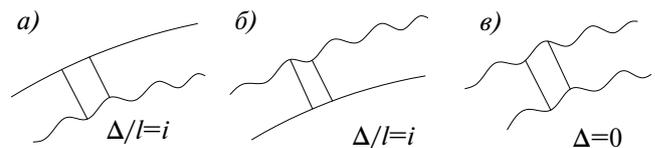


Рис. 1. Варианты взаимного положения рельсовых нитей в плане в кривых: *a* — ровная внешняя рельсовая нить при неровной внутренней, при этом изменяется ширина колеи; *b* — ровная внутренняя рельсовая нить при неровной внешней, при этом изменяется ширина колеи; *v* — наличие синхронно изменяющихся неровностей на обеих рельсовых нитях, при этом ширина колеи остается неизменной

Fig. 1. Possible mutual lateral position of rails in curves: *a* — smooth outer rail at the inner irregular, with changing gauge width; *b* — smooth inner rail with irregular outer, with changing gauge width; *v* — presence of synchronously varying irregularities on both rails, with the same gauge width

(рис. 1, *a, б*), а в случае эквидистантного положения рельсовых нитей в плане, несмотря на наличие значительных неровностей, может получиться нулевая величина отвода ширины колеи (рис. 1, *в*).

Действующими нормативами предусмотрена оценка в кривых участках положения наружной рельсовой нити по разности стрел изгиба от хорды длиной 20 м в точках через 10 м, что не позволяет напрямую оценить параметры неровностей рельсовых нитей.

Поэтому возникла необходимость дополнить существующую систему оценки положения пути в плане проведением детальной оценки неровностей по каждой рельсовой нити [1, 2, 3]. Получить параметры неровностей можно на базе измерений пути с помощью стрел изгиба [3, 4, 5].

Воспользуемся результатами преобразования информации о стрелах изгиба, регистрируемых вагоном-путьеизмерителем, в натурные неровности рельсовых нитей в плане по методу, разработанному специалистами АО НПЦ Инфотранс [3].

Статистический анализ параметров неровностей рельсовых нитей в плане. На рис. 2 приведен пример результатов преобразования стрел изгиба в натурные неровности рельсовых нитей для кривой радиусом 2000 м с возвышением 20 мм на скреплениях АРС, пропущившей 500 млн тонн.

Таблица 1

Допускаемые уклоны отвода ширины колеи

Table 1

Permissible gradients of gauge width

Уклоны не более, ‰	Скорость движения поездов, км/ч
2,5	до 140
3,0	120
3,5	100
4,0	80
4,5	60
5,0	25
более 5	движение закрывается

■ E-mail: shadow986@mail.ru (К. В. Клементьев)

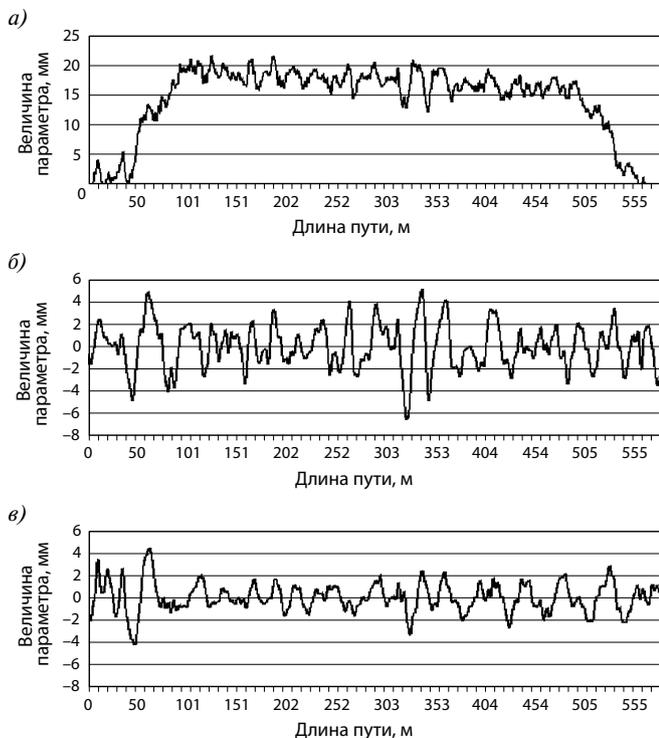


Рис. 2. Стрелы изгиба и натурные неровности в плане, полученные с помощью преобразования стрел изгиба: а — стрела изгиба; б — натурные неровности в плане внутренней рельсовой нити; в — натурные неровности в плане наружной рельсовой нити

Fig 2. Bilateral bilges of bending and lateral irregularities obtained using transformation lines of bending: а — bilateral bilges; б — lateral irregularities of inner rail; в — lateral irregularities of outer rail

На рис. 3 приведен фрагмент записи полученных натуральных неровностей и показан принцип применения математического описания параметров неровностей рельсовых нитей в плане путем определения длины, амплитуды и крутизны отводов полуволн [6, 7], где вершины (максимальные и минимальные значения) на графике обозначены как жирные точки, длина (или полупериод) обозначена как «*l*»; высота (или амплитуда) обозначена как «*d*» и крутизна отвода обозначена как «*gr*» и определяется как изменение амплитуды на единицу длины, но, поскольку неровности могут иметь различную форму [8], не как отношение длины неровности к ее высоте, а как наклон касательной на самом крутом участке графика.

Результаты статистической обработки параметров неровностей рельсовых нитей в плане приведены в табл. 2 и на рис. 4 и 5.

Из данных, представленных в табл. 2 и на рис. 4 и 5, видно, что средняя величина периода горизонтальной неровности внутренней нити в круговой кривой в 2,1 раза больше, чем на наружной нити, а средняя из максимальных величин отвода в 1,5 раза больше на внутренней нити кривой по сравнению с аналогич-

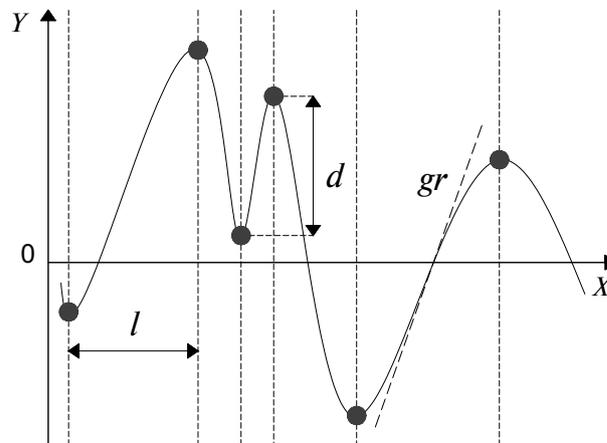


Рис. 3. Применение математического описания параметров неровностей рельсовых нитей в плане путем определения длины, амплитуды и крутизны отводов полуволн
Fig. 3. Application the mathematical description of lateral irregularities of rails by determining parameters of half waves – the length, amplitude and gradient

Таблица 2

Параметры неровностей рельсовых нитей в плане Table 2

Положение рельсовой нити	Parameters of lateral irregularities of rails			
	Средняя амплитуда, мм	Средний отвод, мм/м	На всех неровностях	На неровностях с длиной от 10 м
наружная	1,15	2,78	0,57	0,75
внутренняя	2,42	5,48	0,87	1,33

ным показателем на наружной нити. Также видно, что взаимозависимость параметров определяется системой уравнений (1):

$$\begin{cases} d = a \times l + b \\ gr = j \times \ln(l) + k \\ gr = m \times \ln(d) + n, \end{cases} \quad (1)$$

где *l* — длина; *d* — амплитуда; *gr* — крутизна отвода; *a*, *b*, *j*, *k*, *m*, *n* — числовые коэффициенты, зависящие от состояния пути.

Взаимное положение рельсовых нитей в плане. Для оценки статистической связи положения наружной и внутренней рельсовых нитей в плане рассчитаем коэффициент корреляции Пирсона (2) для неровностей в плане.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})^2}}, \quad (2)$$

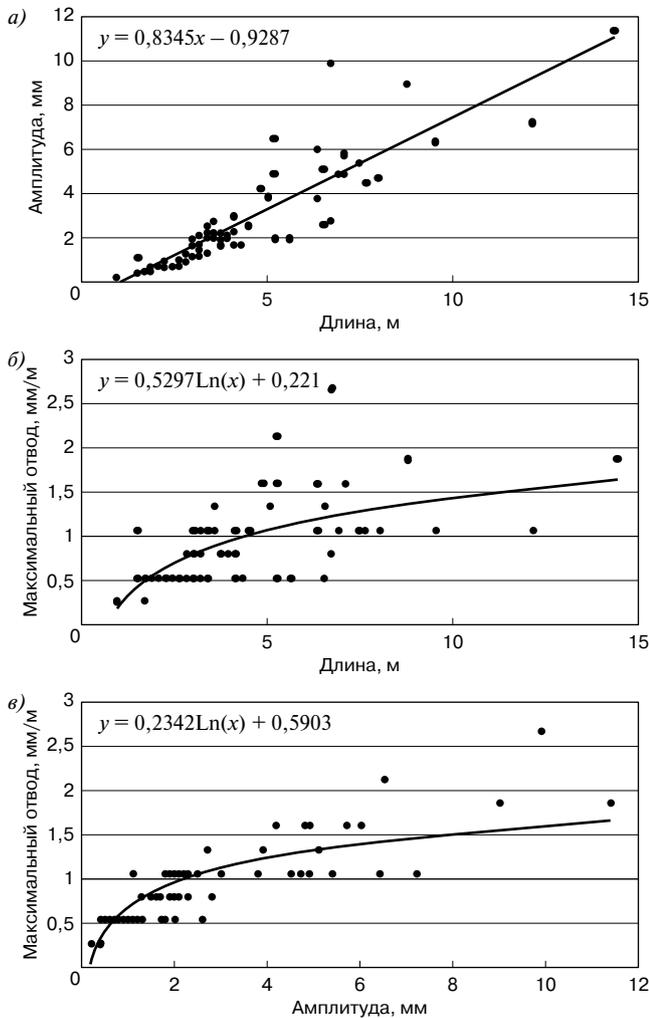


Рис. 4. Взаимные зависимости параметров полуволн натуральных неровностей внутренней рельсовой нити в плане:
a — амплитуды от длины; *б* — максимальных отводов от длины; *в* — максимальных отводов от амплитуды
 Fig. 4. Mutual dependences of parameters of half waves lateral irregularities of inner rail:
a — of the amplitude from the length; *б* — maximum gradient from the length; *в* — maximum gradient from the amplitude

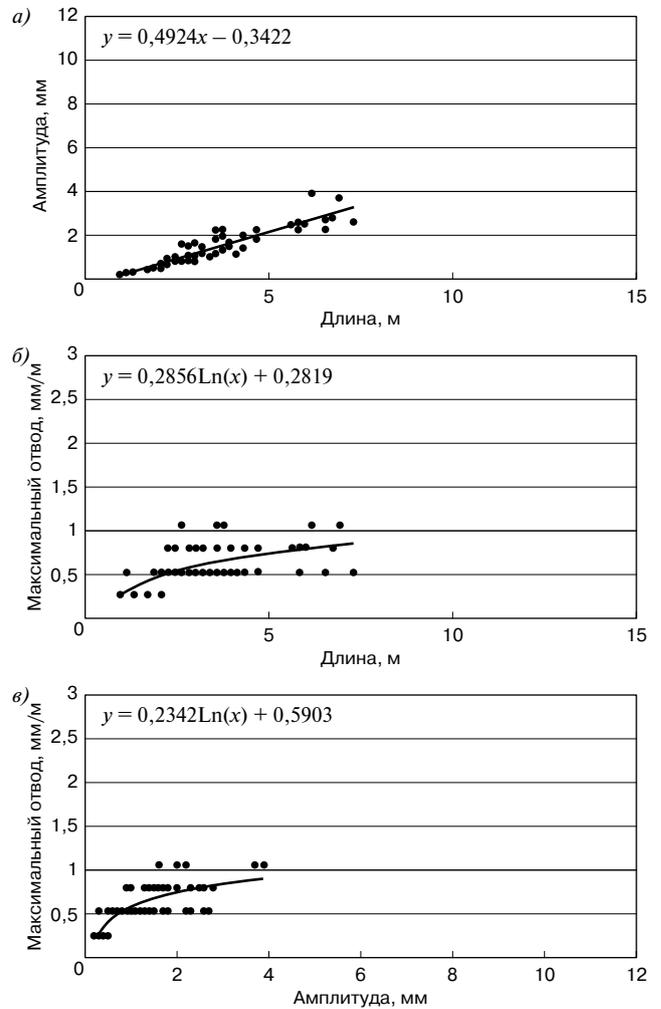


Рис. 5. Взаимные зависимости параметров полуволн натуральных неровностей наружной рельсовой нити в плане:
a — амплитуды от длины; *б* — максимальных отводов от длины; *в* — максимальных отводов от амплитуды
 Fig. 5. Mutual dependences of parameters of half waves lateral irregularities of outer rail:
a — of the amplitude from the length; *б* — maximum gradient from the length; *в* — maximum gradient from the amplitude

где $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ и $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$ — среднее значение выборок; X_i, Y_j — значения конкретных элементов выборок; n — количество элементов в каждой выборке; i, j — номера элементов выборок.

Коэффициент корреляции равен 0,54, что является признаком средней степени взаимосвязи и вполне соответствует средним значениям коэффициентов корреляции взаимного положения рельсовых нитей в плане в круговых кривых, полученных при обработке массива данных 155 кривых в различных условиях эксплуатации (рис. 6).

Влияние отвода неровностей рельсовых нитей в плане на показатели взаимодействия пути и подвижного состава. Для того чтобы показать влияние различий

внутренней и внешней рельсовых нитей в плане при одинаковой ширине колеи на динамику подвижного состава, промоделируем в программном комплексе «Универсальный механизм» движение в данной кривой электровоза ВЛ10 со скоростью 80 км/ч в двух вариантах: при существующем положении рельсовых нитей; при замененных рельсовых нитях (внутренняя нить становится наружной, а наружная — внутренней, при этом ширина колеи и отвод ширины колеи остаются неизменными). По данным, показанным на рис. 7, видно, что при замененных рельсовых нитях максимальное отношение поперечных сил к вертикальным в 1,5 раза больше и достигает 0,33.

На рис. 8 представлена зависимость отношения поперечных сил к вертикальным на левом переднем колесе локомотива (обозначено на графике как L/V)

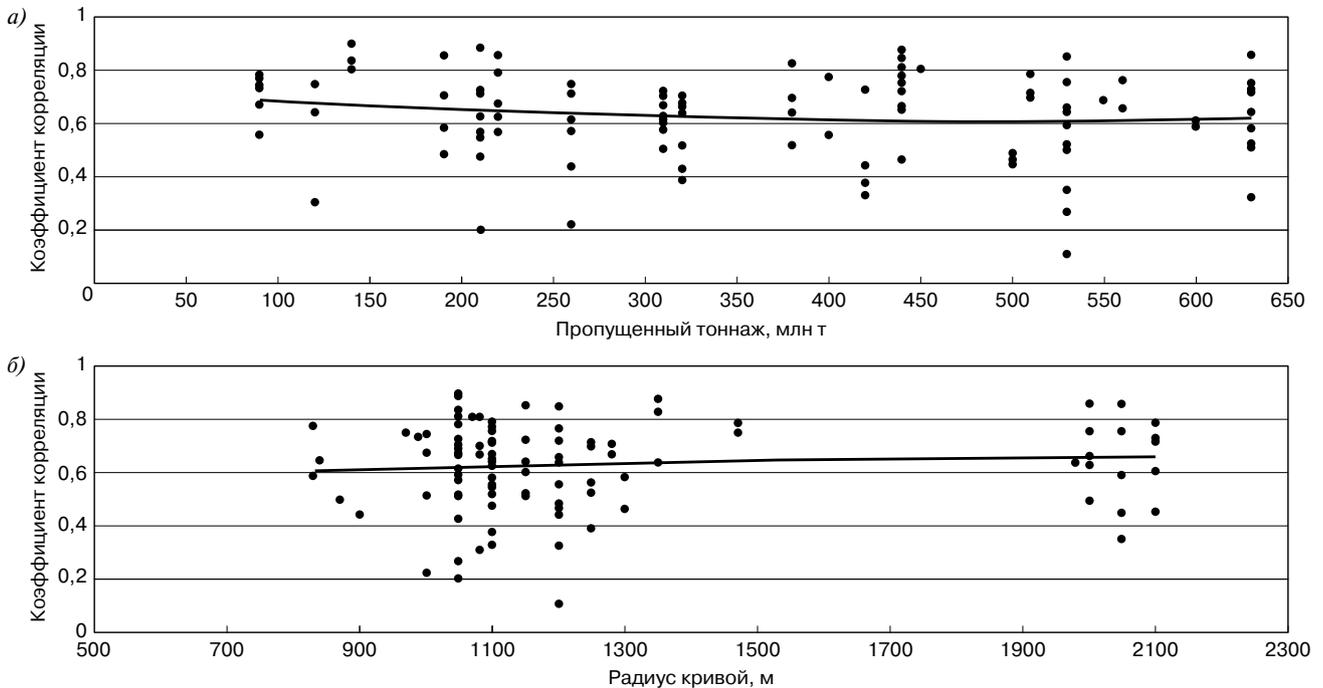


Рис. 6. Коэффициент корреляции горизонтальных неровностей рельсовых нитей в кривых радиусом 800...2200 м в зависимости от пропущенного тоннажа (а) и радиуса кривой (б)

Fig. 6. Correlation coefficient of lateral irregularities of rails in the curves of radius 800...2200 m depending on the passed tonnage (a) and the radius of the curve (b)

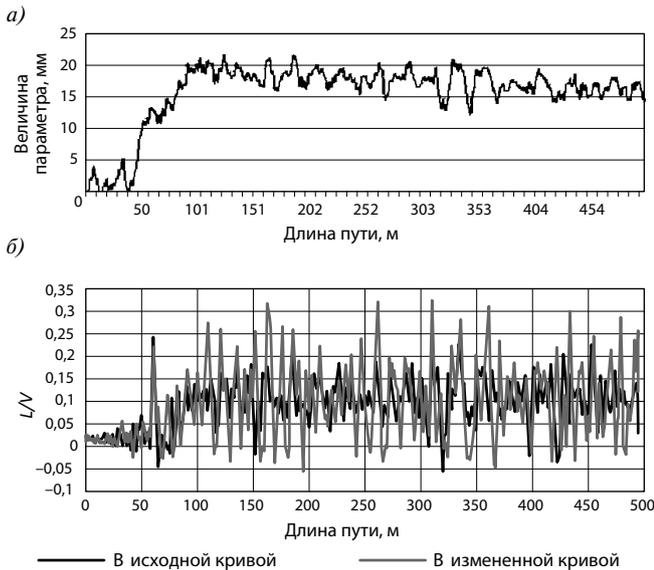


Рис. 7. Стрела изгиба и отношение поперечных сил к вертикальным: а — стрела изгиба; б — отношение поперечных сил к вертикальным L/V

Fig. 7. Bilateral bilges and the ratio of lateral forces to the vertical:
а — bilateral bilges; б — the ratio of lateral forces to the vertical on the left wheel L/V

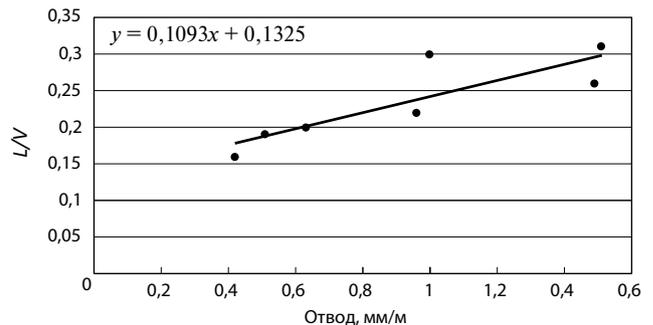


Рис. 8. Зависимость отношения поперечных сил к вертикальным от величины крутизны отвода неровностей рельсовой нити
Fig. 8. Dependence of the ratio of lateral forces to vertical on the value of the gradients of irregularities of rail

от величины крутизны отвода неровностей рельсовой нити. Из графика видно, что если экстраполировать полученную зависимость на большие значения крутизны отвода, то получим, что отношение попереч-

ных сил к вертикальным, равное единице, будет достигнуто при крутизне отвода неровности рельсовой нити в плане 8 мм/м (или 8 ‰).

Выводы. 1. Установлено наличие значительных различий в положении рельсовых нитей по направлению в кривых при более крупных неровностях на внутренней рельсовой нити.

2. На основании результатов анализа параметров горизонтальных неровностей рельсовых нитей показаны закономерности изменения и распределения длины, амплитуды и отвода неровностей.

3. При помощи моделирования динамики подвижного состава показано приоритетное влияние отвода неровностей рельсовых нитей в плане.

4. По результатам моделирования установлены значения отвода рельсовых нитей в плане, недопустимые с точки зрения безопасности движения.

5. Норматив отвода ширины колеи целесообразно дополнить или заменить на отводы неровностей в плане каждой рельсовой нити.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Совершенствование нормативных документов по оценке состояния пути при скоростном движении / В. О. Певзнер [и др.] // Путь и путевое хозяйство. 2014. № 12. С. 2–6.
2. Вопросы гармонизации отечественных и зарубежных нормативов устройства и содержания рельсовой колеи при скоростном и высокоскоростном движении / В. О. Певзнер [и др.] // Проблемы взаимодействия пути и подвижного состава: сб. тр. междунар. науч.-практ. конф. Днепропетровск: ДИИТ, 2013. С. 12–13.
3. Игонькин С. Н. О натуральных неровностях // Путь и путевое хозяйство. 2015. № 8. С. 11–14.
4. Шутов А. П. Автоматизация измерений кривизны пути и проектирование выправки плана по непрерывной информации о его состоянии // Вопросы проектирования, строительства и реконструкции железных дорог Сибири и Дальнего Востока: межвуз. сб. науч. тр. Новосибирск: НИИЖТ, 1983. С. 98–103.
5. Коган А. Я., Петуховский С. В. К вопросу о расчете положения пути в плане по стрелам несимметричной измерительной хорды // Вестник ВНИИЖТ. 2002. № 1. С. 26–28.
6. Клементьев К. В. Результаты анализа некоторых параметров геометрии рельсовой колеи в круговых кривых методом по-

луволю // Технические науки: теория и практика: сб. материалов междунар. науч. симпозиума / под ред. В. В. Порошина. Киров: МЦНИП, 2015. С. 68–75.

7. Клементьев К. В. Совершенствование методов оценки ГРК // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство: сб. / под ред. В. П. Сычева [и др.]. М.: РОАТ, 2014. С. 75–80.

8. Garg V. K., Dukkipati V. R. Dynamics of Railway Vehicle Systems. New York: Academic Press. 1984. 407 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ПЕВЗНЕР Виктор Ошеревич, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник отделения «Комплексные исследования по взаимодействию пути и подвижного состава», АО «ВНИИЖТ»

ЗЕНЗИНОВ Борис Николаевич, канд. техн. наук, заведующий лабораторией «Совершенствование методов и средств контроля, анализа состояния пути», отделение «Путь и путевое хозяйство», АО «ВНИИЖТ»

КЛЕМЕНТЬЕВ Кирилл Владимирович, младший научный сотрудник лаборатории «Совершенствование методов и средств контроля, анализа состояния пути», отделение «Путь и путевое хозяйство», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 11.08.2016 г., актуализирована 25.11.2016 г., принята к публикации 17.12.2016 г.

On the need to complement the norms on easement for gauge width

V. O. PEVZNER, B. N. ZENZINOV, K. V. KLEMENT'EV

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

Abstract. The current evaluation system of track geometry provides supervision of standards for graduation of the gauge and speed limits at excess of allowable values. At present maximum graduation of the gauge normalized in accordance with the standard operating Procedures for the current maintenance of railway track. This article discusses the shortcomings of the existing system of evaluation in terms of lateral track geometry. In order to overcome it, direction of improving current standards for estimating lateral track geometry is proposed and justified.

On the basis of data on the track geometry parameters obtained from track measuring cars the analysis of interdependencies of lateral irregularity parameters for outer and inner rails in the curve was made using of the mathematical description of the parameters of rails lateral irregularities by identifying the length, amplitude and half-wave graduation. The presence of significant differences in the position of rails in the direction of the curves and larger lateral irregularities on the inner rail was estimated. The presence of patterns of length changes, amplitude and graduation of lateral irregularities is shown. Authors present results of the analysis of correlation parameters of lateral irregularities on the outer and inner rails in curved sections of the track. The presence of an average degree of correlation relationship of position of lateral position of outer and inner rails of curved sections is shown. The

influence of the graduation of lateral irregularities on performance of rolling stock dynamics is given. Values of the graduation of lateral irregularities, unacceptable in terms of traffic safety, are established.

Keywords: lateral rail irregularities; gauge width; railway train dynamics modeling

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-1-45-50>

REFERENCES

1. Pevzner V.O., Belotsvetova O.Yu., Tret'yakov V.V., Tret'yakov I.V., Shapet'ko K.V. *Sovershenstvovanie normativnykh dokumentov po otsenke sostoyaniya puti pri skorostnom dvizhenii* [Improvement of normative documents on the evaluation of track condition in high-speed transport]. Put' i putevoye khozyaystvo [Tracks and track facility], 2014, no. 12, pp. 2–6.
2. Pevzner V.O., Kochergin V.V., Belotsvetova O.Yu., Maksimov I.N. *Voprosy garmonizatsii otechestvennykh i zarubezhnykh normativov ustroystva i soderzhaniya rel'sovoy kolei pri skorostnom i vysokoskorostnom dvizhenii* [Harmonization issues of national and international standards for structure and maintenance of the track at express and high-speed traffic]. Problemy vzaimodeystviya puti i podvizhnogo sostava. Sb. tr. mezhdunarod-

noy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Proc. of the international scientific-practical conference "Problems of interaction of track and rolling stock"]. Dnepropetrovsk, DIIT Publ., 2013, pp.12–13.

3. Igon'kin S. N. *O naturnykh nerovnostyakh* [About natural irregularities]. Put' I putevoye khozyaystvo [Tracks and track facility], 2015, no. 8, pp. 11–14.

4. Shutov A. P. *Avtomatizatsiya izmereniy krivizny puti i proektirovanie vypravki plana po nepreryvnoy informatsii o ego sostoyanii* [Automation of measurements of track curvature and design of plan correction by the continuous status information]. Voprosy proektirovaniya, stroitel'stva i rekonstruktsii zheleznnykh dorog Sibiri i Dal'nego Vostoka. Mezhdvuzovskiy sb. nauch. tr. [Proc. of the interuniversity. Problems of design, construction and reconstruction of railways of Siberia and the Far East]. Novosibirsk, NIIZhT Publ., 1983, pp. 98–103.

5. Kogan A. Ya., Petukhovskiy S. V. *K voprosu o raschete polozheniya puti v plane po strelam nesimmetrichnoy izmeritel'noy khordy* [On the question of calculating position of the track in the plan along the guideline of asymmetrical measuring chord]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2002, no. 1, pp. 26–28.

6. Klement'ev K. V. *Rezultaty analiza nekotorykh parametrov geometrii rel'sovoy kolei v krugovykh krivykh metodom poluvoln* [Results of the analysis of some parameters of the track geometry in circular curves by the method of half-waves]. Tekhnicheskie nauki: teoriya i praktika. Sb. materialov mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma [Proc. of the materials of the international scientific

symposium "Engineering: Theory and Practice"]. Kirov, MTsNIP Publ., 2015, pp. 68–75.

7. Klement'ev K. V. *Sovershenstvovanie metodov otsenki GRK* [Improving evaluation methods of GRK]. Vnedrenie sovremennykh konstruktivnykh i peredovykh tekhnologiy v putevoye khozyaystvo. [Introduction of modern designs and advanced technology to track facilities]. Moscow, ROAT Publ., 2014, pp. 75–80.

8. Garg V. K., Dukkipati V. R. *Dynamics of Railway Vehicle Systems*. New York, Academic Press, 1984, 407 p.

ABOUT THE AUTHORS

Viktor O. PEVZNER,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, Department "Integrated research on interaction between track and rolling stock", JSC "VNIIZhT"

Boris N. ZENZINOV,

Cand. Sci. (Eng.), Head of Laboratory "Improving methods and monitoring means, analysis of track condition", Department "Tracks and track facilities", JSC "VNIIZhT"

Kirill V. KLEMENT'EV,

Junior Researcher of Laboratory "Improving methods and monitoring means, analysis of track condition", Department "Tracks and track facilities", JSC "VNIIZhT"

Received 11.08.2016

Revised 25.11.2016

Accepted 17.12.2016

■ E-mail: shadow986@mail.ru (K. V. Klement'ev)

«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.

Подписной индекс журнала — 70116.

Также можно оформить подписку (годовую и полугодовую) на договорных условиях в 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.

Подписчики стран ближнего и дальнего зарубежья могут подписаться на журнал «Вестник ВНИИЖТ» по каталогам подписного агентства АО «МК-Периодика» (www.periodicals.ru).