Влияние длинных неровностей продольного профиля на безопасность движения в условиях интенсификации перевозочного процесса

В. О. ПЕВЗНЕР¹, А. И. ЧЕЧЕЛЬНИЦКИЙ², К. В. ШАПЕТЬКО¹, Е. А. СИДОРОВА¹, А. Ю. СЛАСТЕНИН¹

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

²Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»), Москва, 129090, Россия

Аннотация. Описаны ключевые направления интенсификации перевозочного процесса и обозначено их влияние на инфраструктуру. Определено понятие длинных неровностей продольного профиля и предложен способ, позволяющий изучать геометрические параметры и интенсивность роста длинных неровностей. Дана оценка влияния длинных неровностей на расход энергии на тягу поездов.

В статье большое внимание уделено влиянию длинных неровностей продольного профиля на безопасность движения. Представлены результаты анализа состояния участка железнодорожного пути, где произошел сход вагонов грузового поезда. Приведены результаты расчетов уровня сил, возникающих в автосцепке, и коэффициентов вертикальной динамики первой ступени подвешивания для вагонов в составе поезда при движении на подъем по длинным неровностям. По результатам проведенных исследований сформулированы основные выводы и предложено направление дальнейших исследований.

Ключевые слова: железнодорожный путь; продольный профиль; длинные неровности; коэффициенты вертикальной динамики; геометрия рельсовой колеи; безопасность движения

Введение. Интенсификация перевозочного процесса на сети железных дорог ОАО «РЖД» [1] влечет за собой рост скоростей движения в пассажирском и грузовом сообщении, повышение массы грузовых поездов за счет увеличения длины поезда, осевых нагрузок [2] и, соответственно, продольных сил в поезде [3]. Такое увеличение нагрузки на путь не может пройти бесследно [4]. Так, например, на участке Тайбола—Мурманск в течение трех лет затраты на текущее содержание пути увеличились на 21,1 %. Это подтверждается проведенными исследованиями [5] по воздействию на путь вагонов с повышенными осевыми нагрузками, показавшими, что рост общих затрат составил 23 %. Данное обстоятельство обосновывает необходимость комплексно развивать и оценивать техническое состояние железнодорожного пути при организации тяжеловесного движения. При этом важно отметить, что в настоящее время не все отступления геометрии рельсовой колеи регистрируются и нормируются в полном объеме [6]. Сложившаяся ситуация может сказываться

на динамике подвижного состава и оказывать влияние на безопасность движения, поскольку накопление остаточных деформаций в конструкции верхнего строения пути и земляного полотна может приводить к появлению явных и скрытых неисправностей [7, 8]. Такими неконтролируемыми отступлениями на сегодняшний день являются неровности продольного профиля длиной более 10 м — они не нормируются, а следовательно, и не подвергаются контролю. Это связано с отсутствием нормативов и систем непосредственного измерения длинных неровностей и с тем, что расчетные методы не верифицированы. За рубежом длинные неровности нормируются на участках скоростного и высокоскоростного движения. В наших условиях влияние длинных неровностей необходимо оценить в первую очередь на участках действия больших продольных сил при вождении тяжеловесных поездов.

Аналитический способ получения параметров длинных неровностей. Исследования по оценке воздействия на путь повышенных осевых нагрузок [9, 10], проводимые АО «ВНИИЖТ», позволили осуществить наблюдения и выявить динамику развития длинных неровностей продольного профиля [10]. В ходе наблюдений был апробирован способ аналитического получения параметров неровностей продольного профиля на основе данных измерительных систем вагона-путеизмерителя. В основе способа лежит расчет в частотной области с преобразованием данных с датчиков вагонов-путеизмерителей с применением передаточной функции и аппарата быстрого преобразования Фурье [11]. Полученные результаты позволили проанализировать и сопоставить параметры исследуемых неровностей с данными высокоточной геодезической съемки. В результате сопоставления установлена высокая степень сходимости полученных двумя способами результатов измерений [10]. Проведенные наблюдения позволили установить, что увеличение пропущенного тоннажа способствует росту длинных неровностей в продольном профиле. Это свидетельствует о необходимости их нормирования [8].

■ E-mail: shapetko.kirill@vniizht.ru (К. В. Шапетько)

Рис. 1. Длинные неровности в профиле:
1 — неровности вертикальные, правый рельс; 2 — неровности вертикальные, левый рельс

Fig. 1. Long irregularities in the profile:
1 — vertical irregularities, right rail; 2 — vertical irregularities, left rail

В 2016 г. на участке Северной железной дороги был проведен полный комплекс исследований [12], позволивший определить влияние длинных неровностей продольного профиля на расход энергии на тягу грузовых поездов. В ходе этих исследований на опытном участке с помощью геодезической съемки и измерительных систем вагона-путеизмерителя было зафиксировано состояние пути до и после проведения капитального ремонта [13], что позволило выявить количество устранимых неровностей и определить по данным локомотива-лаборатории зависимость расхода энергии на тягу поездов массой 6400 т от наличия неровностей в пути.

Таким образом, проведенные исследования показали, что неровности продольного профиля влияют не только на динамику подвижного состава, но также и на расход электроэнергии. В [12, 13] было установ-

лено, что даже частичное устранение наиболее крупных неровностей позволило снизить расход энергии на тягу поездов на 5–8 %.

Эти результаты показали необходимость оценки влияния тяги на показатели динамики подвижного состава при движении по пути с длинными неровностями.

Оценка влияния длинных неровностей на динамику подвижного состава. Для оценки влияния длинных неровностей на динамику подвижного состава рассмотрим результаты анализа состояния одного из участков железнодорожного пути, где произошел сход вагонов грузового поезда.

Используя вышеупомянутый способ [10, 11], по данным показаний датчиков вагона-путеизмерителя были построены очертания пути в продольном профиле, что позволило получить характеристики длинных неровностей на рассматриваемом участке (рис. 1).

Рис. 2. Расчетная схема прохождения вагонами вершины длинной неровности с тягой локомотивом ВЛ-11 (3 секции) на подъеме:
 F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 — силы, возникающие при проходе вершины неровности сцепом вагонов с частичной обезгрузкой

Fig. 2. Calculated scheme of cars passing the top of a long irregularity with traction by VL-11 locomotive (3 sections) on the uphill:
 F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 — forces arising from the passage of the top of the irregularity by a coupled cars with partial unloading

Рис. 3. Коэффициенты вертикальной динамики вагонов, рассчитанные на участке с длинными неровностями:

первый вагон второй вагон третий вагон
 first car second car third car

Fig. 3. Coefficients of vertical dynamics of cars, calculated on a section with long irregularities:

Рис. 4. Вертикальные силы в маятниковой подвеске автосцепки, рассчитанные при движении по длинным неровностям:

первый вагон второй вагон третий вагон
 first car second car third car

Fig. 4. Vertical forces in the pendulum suspension of the coupler, calculated when driving over long irregularities:

На рис. 2 представлена расчетная схема прохождения вагонами вершины одной из длинных неровностей. Данная схема показывает, что при проходе вершины неровности первым вагоном первая тележка второго вагона может быть частично обезгружена [14].

В программном комплексе «Универсальный механизм» была построена модель грузового поезда массой около 6000 т при движении на подъем в режиме локомотивной тяги трехсекционным локомотивом со скоростью 60 км/ч по неровностям, выявленным на участке схода. Результаты расчета показали, что коэффициенты вертикальной динамики первой ступени рессорного подвешивания вагонов имели близкие к предельным значения — 0,7 (рис. 3). При

Рис. 5. Вертикальные силы в хвостовике автосцепки, рассчитанные при движении по длинным неровностям:

первый вагон второй вагон третий вагон
 first car second car third car

Fig. 5. Vertical forces in the coupler shank, calculated when driving over long irregularities:

этом следует отметить, что из-за отсутствия данных о состоянии ходовых частей модели вагонов, используемые для расчета, принимались без дефектов в конструкции тележек.

Дальнейшие расчеты показали, что величины вертикальных сил, действующих на ударно-центрирующий прибор автосцепки (маятниковую подвеску) при движении вагона по неровностям рассматриваемого участка, могла достигать 70 тс (рис. 4). При этом полученные в результате расчета величины вертикальных сил на хвостовике автосцепки находятся в диапазоне 25–30 тс (рис. 5).

Исследования [14], позволившие определить возникновение вертикальных сил в автосцепках при прохождении вертикальных неровностей, ранее проведенные во ВНИИЖТ, показали, что большие вертикальные силы могут свидетельствовать о зацеплении одного вагона над другим при прохождении длинных неровностей.

Таким образом, ненормируемые на сегодняшний день длинные неровности пути могут не только влиять на динамические показатели подвижного состава, но и создавать угрозу для безопасности движения тяжеловесных грузовых поездов. Для уточнения влияния параметров длинных неровностей на динамику подвижного состава в тяжеловесных поездах необходимы дальнейшие исследования, по результатам которых должно приниматься решение о внесении корректировок в действующие нормативы.

Заключение. Согласно проведенным расчетам при прохождении поездом вершин длинных неровностей продольного профиля могут возникать значительные силы (превышающие 70 тс) в маятниковых подвесках автосцепок, а показатели взаимодействия

пути и подвижного состава (коэффициенты вертикальной динамики) приближаться к своим предельным значениям.

Таким образом, неконтролируемые в настоящее время длинные неровности продольного профиля могут служить одним из факторов, негативно влияющих на динамику подвижного состава, особенно при учете фактического состояния вагонов.

Детальное рассмотрение этого вопроса и разработка нормативов обеспечения безопасности движения тяжеловесных поездов на участках реализации максимальной тяги при наличии в пути всего спектра вертикальных неровностей требует проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов П. А. Об эффективности технологии тяжеловесного движения и перспективах ее развития // Железнодорожный транспорт. 2016. № 10. С. 16–18.
2. Гапанович В. А. Вопросы взаимодействия подвижного состава и инфраструктуры при тяжеловесном движении // Железнодорожный транспорт. 2016. № 10. С. 10–15.
3. Оценка работы пути, находящегося под воздействием продольных сил при реализации максимальных тяговых режимов при использовании электровозов с асинхронным тяговым приводом / В. О. Певзнер [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 2020. Т. 79. № 4. С. 209–216. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-4-209-216>.
4. Верховых Г. В. Эксплуатация пути при организации тяжеловесного движения // Железнодорожный транспорт. 2016. № 10. С. 28–30.
5. Воздействие на путь вагонов с повышенной осевой нагрузкой / В. В. Третьяков [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 2016. Т. 75. № 4. С. 233–238. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-4-233-238>.
6. Необходимые дополнения к системе оценки геометрии рельсовой колеи / В. О. Певзнер [и др.] // Вопросы развития железнодорожного транспорта: сб. тр. ученых АО «ВНИИЖТ» / под ред. М. М. Железнова, Г. В. Гогричиани. М.: РАС, 2017. С. 199–202.
7. Титов В. П. Перемещения и деформации в конструкциях железнодорожного пути // Вестник ВНИИЖТ. 1994. № 6. С. 8–16.
8. Анализ накопления остаточных деформаций рельсовых нитей в профиле и плане / О. П. Ершков [и др.] // Труды ВНИИЖТ. 1980. № 628. С. 50–67.

9. Инфраструктура в условиях интенсификации перевозок / В. А. Гапанович [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2016. № 3. С. 16–20.

10. Шапетько К. В. Исследования накопления деформаций железнодорожного пути на участке испытаний вагонов с осевой нагрузкой 27 тс // Вестник ВНИИЖТ. 2017. Т. 76. № 4. С. 238–242. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4-238-242>.

11. Pevzner V., Shapetko K., Slastenin A. Needed Additions to the Diagnostic System of High-Speed Lines // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 1258: International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019 / V. Murgul, V. Pukhkal (eds). P. 496–505. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-57450-5_43.

12. Pevzner V., Romen Yu., Shapetko K. Control of energy aspects of track and rolling stock interaction // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 239: Siberian Transport Forum – TransSiberia 2018. 01044. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823901044>.

13. О необходимости актуализации нормативов оценки геометрии рельсовой колеи / В. А. Гапанович [и др.] // Техника железных дорог. 2019. № 4 (48). С. 22–27.

14. Максимов В. Н. Силы, действующие на вагон на сортировочных горках // Вестник ВНИИЖТ. 1963. № 4. С. 36–40.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ПЕВЗНЕР Виктор Ошеревич,
д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник,
НЦ «ЦПРК», АО «ВНИИЖТ»

ЧЕЧЕЛЬНИЦКИЙ Александр Иванович,
начальник управления пути и сооружений Центральной
дирекции инфраструктуры — филиала ОАО «РЖД»

ШАПЕТЬКО Кирилл Вячеславович,
научный сотрудник, НЦ «ЦПРК», АО «ВНИИЖТ»

СИДОРОВА Елена Анатольевна,
канд. техн. наук, старший научный сотрудник, НЦ «ЦПРК»,
АО «ВНИИЖТ»

СЛАСТЕНИН Александр Юрьевич,
ведущий инженер, НЦ «ЦПРК», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 14.06.2020 г., принята к публикации 28.08.2020 г.

Для цитирования: Влияние длинных неровностей продольного профиля на безопасность движения в условиях интенсификации перевозочного процесса / В. О. Певзнер [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 2020. Т. 79. № 5. С. 271–275. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-5-271-275>.

Influence of long irregularities of the longitudinal profile on traffic safety under conditions of intensification of the transportation process

V. O. PEVZNER¹, A. I. CHECHEL'NITSKIY², K. V. SHAPET'KO¹, E. A. SIDOROVA¹, A. Yu. SLASTENIN¹

¹Joint Stock Company "Railway Research Institute" (JSC "VNIIZHT"), Moscow, 129626, Russia

²Joint Stock Company "Russian Railways" (JSC "RZD"), Moscow, 129090, Russia

Abstract. The key directions of intensification of the transportation process are described and their influence on the infrastructure is indicated. The concept of long irregularities of the

longitudinal profile is defined and a method is proposed that allows one to study the geometric parameters and the growth rate of long irregularities. An assessment of the influence of

long irregularities on energy consumption during the traction of trains is given.

In the article, much attention is paid to the influence of long irregularities of the longitudinal profile on traffic safety. The article presents the results of the state analysis of the railway track section, where there was a derailment of the freight cars. The results of calculations of the level of forces arising in the automatic coupling and the coefficients of the vertical dynamics of the first stage of suspension for cars in a train when moving uphill along long irregularities are presented. Based on the results of the research, the main conclusions are formulated and the direction of further research is proposed.

Keywords: railway track; longitudinal profile; long irregularities; vertical dynamics coefficients; rail track geometry; traffic safety

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-5-271-275>

REFERENCES

1. Ivanov P.A. *Ob effektivnosti tekhnologii tyazhelovesnogo dvizheniya i perspektivakh ee razvitiya* [On the efficiency of heavy traffic technology and the prospects for its development]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2016, no. 10, pp. 16–18.
2. Gapanovich V.A. *Voprosy vzaimodeystviya podvizhnogo sostava i infrastruktury pri tyazhelovesnom dvizhenii* [Issues of interaction of rolling stock and infrastructure during heavy haul traffic]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2016, no. 10, pp. 10–15.
3. Pevzner V.O., Kochergin V.V., Tret'yakov V.V., Kolesnikov K.V., Polunina Ye. A. *Otsenka raboty puti, nakhodyashchegosya pod vozdeystviem prodol'nykh sil pri realizatsii maksimal'nykh tyagovykh rezhimov pri ispol'zovanii elektrovozov s asinkhronnym tyagovym privodom* [Performance assessment of railway track under the impact of longitudinal forces during the implementation of maximum traction modes when using electric locomotives with an asynchronous traction drive] // *VNIIZhT Scientific Journal*, 2020, Vol. 79. no. 4. pp. 209–216. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-4-209-216>.
4. Verkhoviykh G.V. *Ekspluatatsiya puti pri organizatsii tyazhelovesnogo dvizheniya* [Operation of the track in the organization of heavy haul traffic]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2016, no. 10, pp. 28–30.
5. Tret'yakov V.V., Petropavlovskaya I.B., Pevzner V.O., Gromova T.I., Tret'yakov I.V., Shapet'ko K.V., Smelyanskaya I.S., Tomilenko A.S. *Vozdeystvie na put' vagonov s povyshennoy osevoy nagruzkoy* [Impact on railway track of cars with increased axle load]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2016, Vol. 75, no. 4, pp. 233–238. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-4-233-238>.
6. Pevzner V.O., Tret'yakov V.V., Tret'yakov I.V., Shapet'ko K.V., Tomilenko A.S., Zheleznov M.M., Gogrichiani G.V. *Neobkhodimye dopolneniya k sisteme otsenki geometrii rel'sovoy kolei* [Necessary additions to the system for assessing the geometry of the rail track]. *Voprosy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta. Sb. tr. uchenykh AO "VNIIZhT"* [Issues of the development of railway transport. Proc. of works of scientists of the JSC "VNIIZhT"]. Moscow, RAS Publ., 2017, pp. 199–202.
7. Titov V.P. *Peremeshcheniya i deformatsii v konstruktsiyakh zheleznodorozhnogo puti* [Displacements and deformations in

structures of the railway track]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 1994, no. 6, pp. 8–16.

8. Ershkov O.P., Il'yashenko A.A., Tkachev E.D., Shinkarev B.S. *Analiz nakopleniya ostatochnykh deformatsiy rel'sovykh nitey v profile i plane* [Analysis of the accumulation of residual deformations of rail threads in the profile and plan]. *Trudy VNIIZhT* [Proceeds of the VNIIZhT], 1980, no. 628, pp. 50–67.

9. Gapanovich V.A., Pevzner V.O., Suslov O.A., Tret'yakov V.V. *Infrastruktura v usloviyakh intensivatsii perevozok* [Infrastructure in conditions of traffic intensification]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2016, no. 3, pp. 16–20.

10. Shapet'ko K.V. *Issledovaniya nakopleniya deformatsiy zheleznodorozhnogo puti na uchastke ispytaniy vagonov s osevoy nagruzkoy 27 ts* [Research of the accumulation of railway track deformations in the section of testing of cars with an axial load of 27 tons]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2017, Vol. 76, no. 4, pp. 238–242. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4-238-242>.

11. Pevzner V., Shapetko K., Slastenin A. *Needed Additions to the Diagnostic System of High-Speed Lines*. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, Vol. 1258: International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019. V. Murgul, V. Pukhkal (eds), pp. 496–505. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-57450-5_43.

12. Pevzner V., Romen Yu., Shapetko K. *Control of energy aspects of track and rolling stock interaction*. *MATEC Web of Conferences*, 2018, Vol. 239: Siberian Transport Forum — TransSiberia 2018, 01044. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823901044>.

13. Gapanovich V.A., Pevzner V.O., Kochergin V.V., Maksimov I.N. *O neobkhodimosti aktualizatsii normativov otsenki geometrii rel'sovoy kolei* [On the need to update the standards for assessing the geometry of the rail track]. *Railway Equipment Magazine*, 2019, no. 4 (48), pp. 22–27.

14. Maksimov V.N. *Sily, deystvuyushchie na vagon na sortirovochnykh gorkakh* [Forces acting on car at marshalling hills]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 1963, no. 4, pp. 36–40.

ABOUT THE AUTHORS

Viktor O. PEVZNER,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, SC "TsPRK", JSC "VNIIZHT"

Aleksander I. CHECHEL'NITSKIY,

Head of the Department "Tracks and track facilities" of the Central Directorate of Infrastructure — Branch of the JSC "RZD"

Kirill V. SHAPET'KO,

Researcher, SC "TsPRK", JSC "VNIIZHT"

Elena A. SIDOROVA,

Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, SC "TsPRK", JSC "VNIIZHT"

Aleksander Yu. SLASTENIN,

Leading Engineer, SC "TsPRK", JSC "VNIIZHT"

Received 14.06.2020

Accepted 28.08.2020

■ E-mail: shapetko.kirill@vniizht.ru (K. V. Shapet'ko)

For citation: Pevzner V.O., Chechel'nitskiy A.I., Shapet'ko K.V., Sidorova E.A., Slastenin A.Yu. Influence of long irregularities of the longitudinal profile on traffic safety under conditions of intensification of the transportation process // *VNIIZHT Scientific Journal*. 2020. 79 (5): 271–275 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-5-271-275>.