

Показатели силового взаимодействия пути и подвижного состава при движении грузового вагона по длинным неровностям с учетом действия продольных сил

Е. А. СИДОРОВА¹, В. О. ПЕВЗНЕР¹, А. И. ЧЕЧЕЛЬНИЦКИЙ²

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

² Дирекция диагностики и мониторинга инфраструктуры Центральной дирекции инфраструктуры — филиала ОАО «РЖД», Москва, 107174, Россия

Аннотация. Освещен механизм образования длинных неровностей железнодорожного пути и обусловлена значимость их устранения для путевого хозяйства. На основе результатов моделирования движения грузового поезда по длинным неровностям в режиме тяги произведен анализ процессов, происходящих при движении тяжеловесных поездов по пути с такими отклонениями, моделирование выполнено на базе программного комплекса «Универсальный механизм». По результатам расчетов выполнена оценка взаимодействия пути и подвижного состава в вертикальной плоскости по показателям величины вертикальной силы и коэффициентов: динамики, запаса устойчивости, Надаля, обезгрузки (в процентах) буксовых пружин рессорного подвешивания грузовых вагонов. Проанализирован характер влияния уклона неровности на уменьшение вертикальной силы, передающейся от колеса на рельс, и изменения силы тяги на динамику грузовых вагонов, находящихся в составе поезда и проходящих по длинным неровностям продольного профиля.

Ключевые слова: железнодорожный путь; длинные неровности продольного профиля; продольные силы; сила тяги; обезгрузка; вертикальная сила

Введение. Современные условия эксплуатации железнодорожной инфраструктуры характеризуются массовым вождением тяжеловесных поездов локомотивами повышенной мощности.

Влияние движения тяжеловесных поездов на деформативность инфраструктуры изучалось учеными АО «ВНИИЖТ» в рамках испытаний по определению остаточных деформаций земляного полотна, проведенных на участке Ковдор—Мурманск [1]. Одним из основных выводов, полученных в результате этих испытаний, стало понимание механизма образования длинных неровностей продольного профиля пути, когда при движении группы поездов с интервалом между поездами меньше времени релаксации пути происходит накопление отступлений в вертикальной плоскости, которое может достигать значительных величин. Образование длинных неровностей является следствием неравномерной осадки

пути из-за различных характеристик земляного полотна по длине пути [2].

Как отмечается в [3], устранение профильных просадок, вызванных деформациями земляного полотна, входит в число задач современного содержания пути, поскольку игнорирование данной проблемы может приводить к инцидентам на железнодорожном транспорте. К числу таких профильных просадок относятся длинные неровности в профиле, представляющие собой лощины длиной более 25 м с амплитудой от 25 мм между пиками, как правило, по обеим рельсовым нитям.

Сегодня проводятся исследования по влиянию длинных неровностей продольного профиля на динамику движения поездов [4], при этом наиболее интересной задачей является рассмотрение влияния продольных сил, возникающих в грузовых тяжеловесных поездах, на показатели силового взаимодействия пути и подвижного состава при движении грузовых вагонов по длинным неровностям [5].

Исследовательская база. Исследовательская база работ по изучению движения поезда с наличием тяги по переломам профиля формируется еще с начала XX в. с исследований Н. Е. Жуковского [6]. В своей работе он отмечал негативное влияние резкого изменения силы инерции на раскачивание буферных пружин при переходе локомотива через перевал от конца старого участка к новому.

В дальнейшем математические модели движения поезда по переломам профиля развивались и анализировались разными учеными и практиками железнодорожной отрасли [7, 8, 9]. О том, что силы в автосцепках достигают своих наибольших значений на вершине профильной неровности, отмечалось в работе С. В. Вершинского, В. Н. Данилова, В. Д. Хусидова [10]. Возрастание массы поездов и, соответственно, продольных сил, необходимых для их вождения, потребовало вновь вернуться к анализу процессов, происходящих при

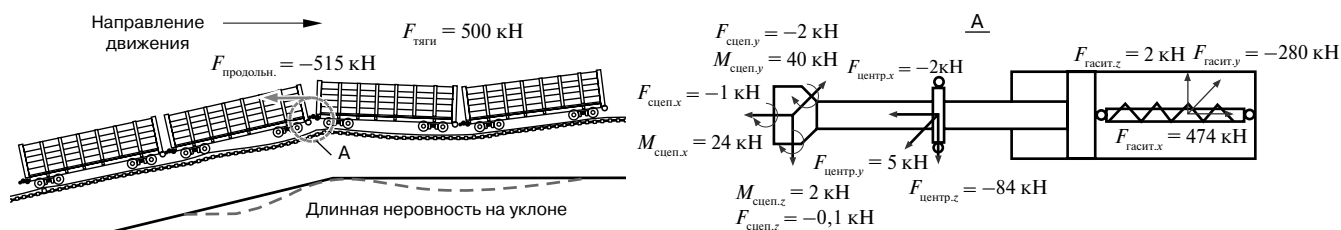


Рис. 1. Силы в автосцепке между вагонами, проходящими вершину длинной неровности
Fig. 1. Forces in the coupler between cars passing the top of a long irregularity

движении тяжеловесных поездов по пути с длинными неровностями.

Сегодня математический аппарат для анализа динамики поезда успешно реализуется в рамках программных комплексов моделирования многомассовых систем. Одним из таких комплексов, в частности, является «Универсальный механизм» (УМ), применение которого позволяет работать как с описанием продольной динамики поезда, так и с включенными 3D-моделями вагонов. Наличие многомассовых моделей вагонов предусматривает возможность расчетов показателей взаимодействия пути и подвижного состава с учетом конкретного состояния пути (макроеметрия, параметры неровностей и т. д.). Таким образом, становится возможным, например, изучить влияние длинных неровностей на динамику грузовых вагонов в местах произошедших сходов.

При решении конкретной задачи оценки влияния продольных сил на показатели силового взаимодействия пути и подвижного состава при движении грузового вагона по длинным неровностям была построена модель поезда, содержащая одну подсистему из одномассовых моделей двух локомотивов и 64 вагонов и вторую подсистему из пяти многомассовых моделей вагонов, соединенных между собой моделями автосцепок.

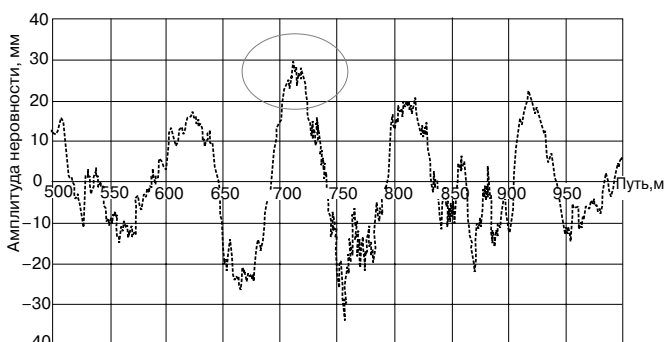


Рис. 2. Вершина длинной неровности на Московской железной дороге
Fig. 2. Top of a long irregularity on the Moscow Railway

Исходные данные. Исходные данные процесса моделирования включали: скорость поезда 60–65 км/ч, тягу локомотива 50 тс (490,5 кН), конфигурацию плана и профиля участка пути (две кривые радиусом более 1000 м, участок постоянного уклона — 9‰), геометрию вертикальных и горизонтальных неровностей пути. Вертикальные и горизонтальные неровности плана и профиля были получены по данным датчиков вагона-путеизмерителя на основе метода преобразования Фурье [5] разработанным в АО «ВНИИЖТ» способом. Масса поезда составляла примерно 6500 т.

На рис. 1 представлена схема сил, возникающих в автосцепке в середине состава между вагонами, проходящими вершину длинной неровности, когда на них действуют разнонаправленные продольные силы — сила тяги с головы поезда и сила от второй его половины за неровностью на уклоне. Значения сил были получены при расчете в УМ движения поезда по длинной неровности, находящейся на уклоне, зарегистрированном в месте схода вагонов на Московской железной дороге (рис. 2).

Проведенные расчеты дают общее представление о работе гасителей и центрирующего устройства автосцепки на вершине длинных неровностей при движении поезда в режиме тяги. Кроме того, расчет позволяет установить величины продольных сил в автосцепках между вагонами в середине состава. В данном случае величина продольной силы в автосцепке в середине состава составила приблизительно 500 кН.

Дальнейшие исследования были сфокусированы на оценке непосредственно показателей взаимодействия пути и подвижного состава в вертикальной плоскости, а именно: минимальной для каждого колеса величины вертикальной силы, величин коэффициентов динамики, запаса устойчивости, Надаля, величин процента обезгрузки буксовых пружин рессорного подвешивания грузовых вагонов. Для этого вышеперечисленные показатели были рассчитаны для грузовых вагонов в составе поезда, движущегося в режиме тяги по длинным неровностям в местах сходов на Московской, Забайкальской и Южно-Уральской железных дорогах [5].

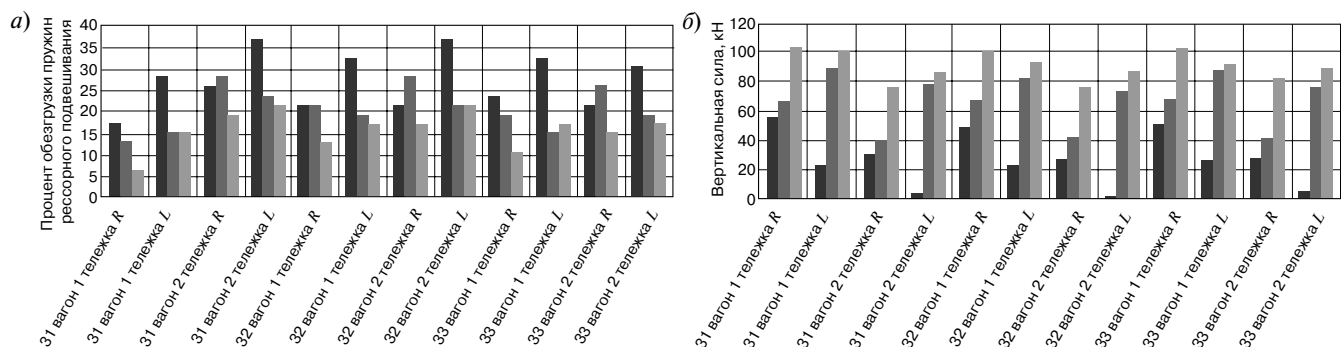


Рис. 3. Оценка возможности частичной обезгрузки тележки грузового вагона:

a — по критерию удлинения пружин рессорного подвешивания; *б* — по критерию минимального значения вертикальной силы, передающейся от колеса на рельс: ■ — Забайкальская железная дорога; ■ — Южно-Уральская железная дорога; ■ — Московская железная дорога

Fig. 3. Assessment of the possibility of partial unloading of a freight car bogie:

a — according to the criterion of springs lengthening of the spring suspension; *б* — according to the criterion of the minimum value of the vertical force transmitted from the wheel to the rail: ■ — Transbaikal Railway; ■ — South Ural Railway; ■ — Moscow Railway

Отметим, что наихудшие показатели для всех трех рассмотренных случаев были получены в местах наиболее высоких по амплитуде пиков длинных неровностей.

Рассмотрим сначала полученные расчетом минимальные значения вертикальной силы и максимальные значения процента обезгрузки пружин рессорного подвешивания грузовых вагонов (рис. 3). Порядковый номер вагона отсчитывается от головы состава, левая (L) и правая (R) стороны тележек определяются из условия движения по ходу поезда. На основании этих данных можно оценить возможность частичной обезгрузки тележки грузового вагона при переходе через вершину длинных неровностей при наличии тяги.

Из рис. 3, *a* видно, что максимальные значения процента обезгрузки пружин рессорного подвешивания грузовых вагонов лежат в диапазоне от 22 до 37 % на разных участках, при этом рассчитанные средние значения процента обезгрузки лежат в диапазоне от 16 до 28 %, что тоже является значительной величиной.

Уточнить возможность обезгрузки пружин рессорного подвешивания вагонов позволяет рассмотрение полученных минимальных значений вертикальной силы, зарегистрированных на участках с длинными неровностями. Физический смысл уменьшения значений вертикальной силы — это возможность отрыва колеса от рельса. И такой прогноз был подтвержден при расчете движения грузовых вагонов с наличием тяги по неровностям Забайкальской железной дороги. Здесь минимальное значение вертикальной силы достигало 3 кН (рис. 3, *б*). Полученные значения сил являются одномоментным следствием прохода межвагонного соединения (двух автосцепок) по вершине длинной неровности.

В целом минимальные значения вертикальной силы по всем рассмотренным участкам с наличием

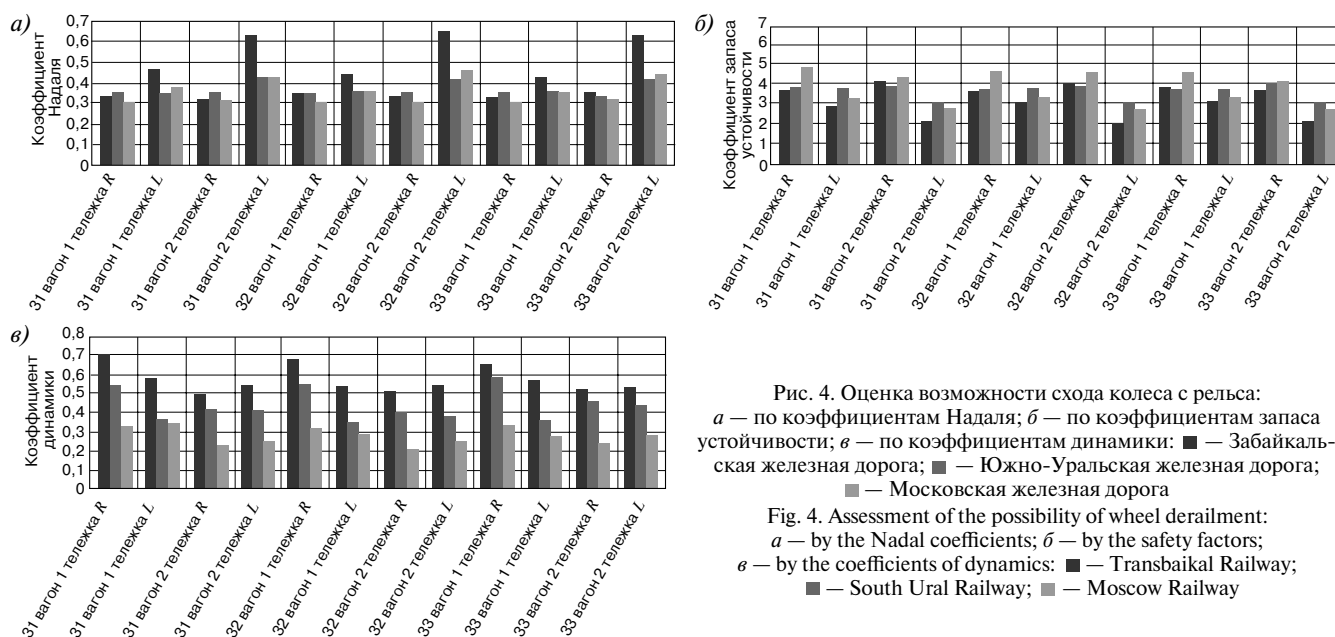
длинных неровностей лежат в диапазоне от 3 до 76 кН, а если рассчитать средние значения, то они попадают в диапазон от 27 до 91 кН.

Таким образом, можно сделать предварительный вывод о возможности частичной обезгрузки тележки грузового вагона, который находится в составе поезда, идущего по длинным неровностям в режиме тяги. Обезгрузка вагона потенциально может приводить к двум процессам: возможности вкатывания колеса на головку рельса (этот процесс будет рассмотрен далее в статье) и отрыва колеса с последующим ударом и разрушением рельса, особенно в зоне стыков (этот процесс требует дополнительных исследований).

Теперь рассмотрим показатели динамического взаимодействия пути и подвижного состава, которые характеризуют возможность схода колеса с рельса. Для этого были рассчитаны коэффициенты Надаля (допустимое значение не должно превышать 0,8), запаса устойчивости (допустимое значение не должно быть ниже 1,2) и динамики (допустимое значение не должно быть выше 0,7) для грузовых вагонов. На рис. 4 представлены диаграммы рассчитанных коэффициентов.

В целом значения коэффициентов, представленных на рис. 4, лежат в пределах допустимых значений. Однако значения, полученные при движении вагонов по длинным неровностям, зарегистрированным на Забайкальской железной дороге, демонстрируют приближение к критическим. Так, наибольшее значение коэффициента динамики составляет 0,7, коэффициент запаса устойчивости достигает значения 2, а коэффициент Надаля равен 0,65 [11, 12].

На рис. 5 приведена гистограмма вертикальных неровностей, полученных по данным Забайкальской железной дороги. В дальнейших исследованиях для расчетов использовался только этот участок, как наиболее показательный.



Для моделирования влияния уклона длинных вертикальных неровностей на показатели взаимодействия пути и подвижного состава был взят участок,

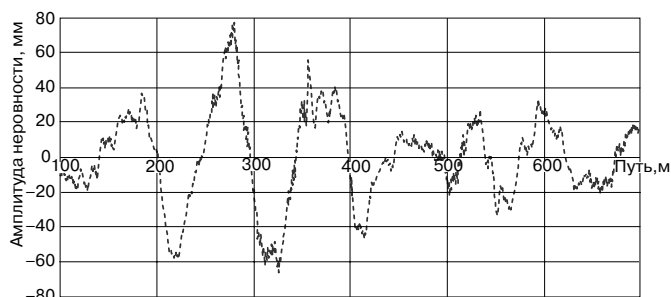


Рис. 5. Гистограмма вертикальных неровностей в месте схода на Забайкальской железной дороге
 Fig. 5. Histogram of vertical irregularities at the point of derailment on the Transbaikal Railway

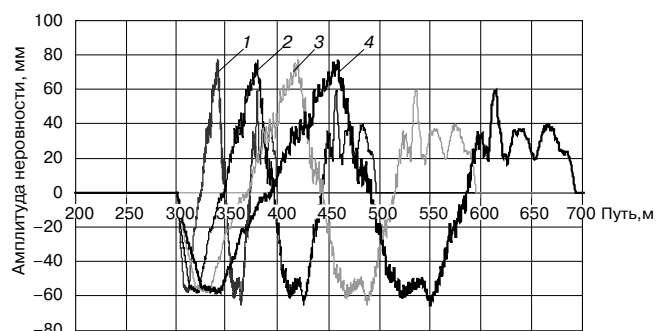


Рис. 6. Модели вертикальных неровностей с разными уклонами: 1 — уклон 10‰; 2 — уклон 5‰; 3 — уклон 3,3‰; 4 — уклон 2,5‰
 Fig. 6. Models of vertical irregularities with different slopes: 1 — slope 10‰; 2 — slope 5‰; 3 — slope 3.3‰; 4 — slope 2.5‰

представленный на рис. 5, с наибольшей амплитудой отклонений (с 200 до 400 м) и искусственно перестроен так, чтобы уклон наибольшего пика неровности (‰) изменялся в большую и меньшую стороны (рис. 6). Уклон рассчитывался как отношение амплитуды неровности к половине ее длины.

Моделирование движения поезда по неровностям, представленным на рис. 6, позволило выявить, как влияет уклон неровности на уменьшение вертикальной силы, передающейся от колеса на рельс, а значит, и на опасность обезгрузки тележки грузового вагона, приводящей к снижению показателей взаимодействия колеса и рельса.

Результаты расчетов. На рис. 7–9 представлены результаты расчетов. Логарифмическая зависимость минимального значения вертикальной силы от уклона неровностей продольного профиля приведена на рис. 7. При этом оценивалось не самое минимальное

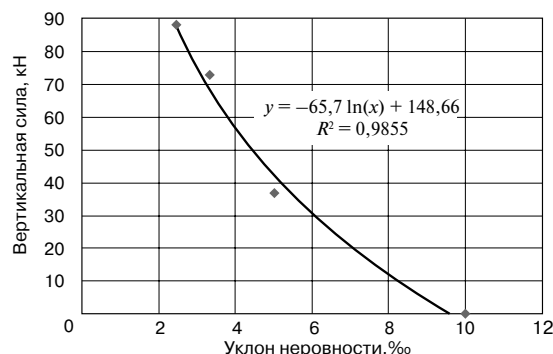


Рис. 7. Зависимость минимального значения вертикальной силы от уклона неровностей продольного профиля
 Fig. 7. Dependence of the minimum value of the vertical force on the slope of the irregularities of the longitudinal profile

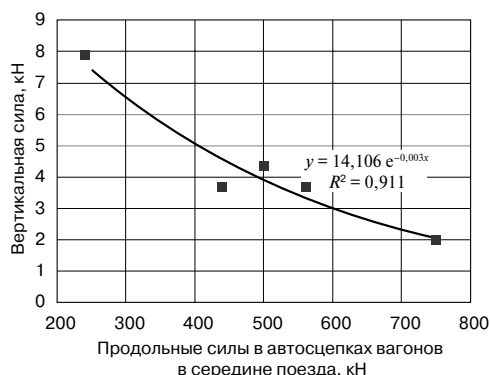


Рис. 8. Зависимость минимального значения вертикальной силы от величины продольных сил в автосцепках вагонов в середине поезда

Fig. 8. Dependence of the minimum value of the vertical force on the value of the longitudinal forces in the automatic couplings of the cars in the middle of the train



Рис. 9. Зависимость среднего квадратичного отклонения значения вертикальной силы от величины продольных сил в автосцепках вагонов в середине поезда

Fig. 9. Dependence of the mean-square deviation of the value of the vertical force on the value of the longitudinal forces in the automatic couplings of the cars in the middle of the train

зарегистрированное значение вертикальной силы на участке, а средняя величина, рассчитанная по трем минимальным значениям вертикальной силы на каждом колесе вагонов, находящихся в сцепе.

Видно, что увеличение уклона длинной неровности ведет к риску обезгрузки тележки вагона. Таким образом, можно сделать вывод, что наибольшую опасность для движения поездов в режиме тяги представляют длинные неровности с большой амплитудой отклонений, уклон которых превышает значение 5‰.

То, как влияет изменение силы тяги на динамику грузовых вагонов, находящихся в составе поезда и проходящих по длинным неровностям продольного профиля, также можно оценить по показателю вертикальной силы.

В процессе моделирования варьировалась величина продольных сил в автосцепках вагонов, характеризующая увеличение и уменьшение тяги. Как упоминалось выше, величина продольной силы в автосцепках вагонов в середине поезда составляет согласно расчету примерно 500 кН. Для выявления степени влияния силы тяги это значение уменьшалось последовательно на 15 и 50 % и затем так же увеличивалось — на 15 и 50 %.

На рис. 8 представлена экспоненциальная зависимость минимального значения вертикальной силы от величины продольных сил в автосцепках вагонов в середине поезда. В этом случае минимальная вертикальная сила рассчитывалась по трем минимальным зарегистрированным значениям для каждого колеса вагона.

Из рисунка видно, что при росте продольных сил в автосцепках вагонов с 250 до 750 кН минимальная вертикальная сила, удерживающая колесо на рельсе, уменьшается в 3,7 раза.

Интересно, что среднее значение вертикальной силы при любых значениях продольных сил

в автосцепках остается стабильным — на уровне 124 кН, однако среднее квадратичное отклонение значений вертикальной силы возрастает с увеличением продольных сил в автосцепках (рис. 9).

Выводы. Проведенный анализ показал, что в условиях движения тяжеловесного поезда на подъеме в режиме максимальной тяги при прохождении серединой состава длинной неровности, как это имело место в трех рассмотренных случаях сходов на сети железных дорог, может возникнуть частичная обезгрузка тележки, приводящая к возникновению условий, способствующих сходу подвижного состава. При этом наихудшие показатели динамического взаимодействия пути и подвижного состава для всех трех рассмотренных случаев были получены в местах наиболее высоких по амплитуде пиков длинных неровностей, что обосновывает актуальность исследований влияния наличия коротких неровностей продольного профиля на фоне возникновения длинных.

Рассчитанные показатели взаимодействия пути и подвижного состава имели следующие значения:

- максимальные значения процента обезгрузки пружин рессорного подвешивания грузовых вагонов лежали в диапазоне от 22 до 37 % на разных участках, а средние значения процента обезгрузки — в диапазоне от 16 до 28 %;
- минимальные значения вертикальной силы достигали 3 кН, а в целом ее минимальные значения лежали в диапазоне от 3 до 76 кН, средние значения — в диапазоне от 27 до 91 кН;
- рост продольных сил в автосцепках вагонов с 250 до 750 кН уменьшает минимальную вертикальную силу, удерживающую колесо на рельсе, в 3,7 раза;
- значения коэффициентов, характеризующих устойчивость колеса на рельсе, лежали в пределах допустимых значений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Деформативность пути на участках обращения тяжеловесных поездов / В. О. Певзнер [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2019. № 9. С. 36–41.
2. Модель деформируемости грунтового основания железнодорожного пути при пропуске длиннооставных поездов / В. П. Соловьев [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Математическое моделирование физических процессов. 2019. № 3. С. 84–89.
3. Чечельницкий А. И. Технологии устранения длинных профильных просадок // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 3. С. 2–7.
4. Влияние длинных неровностей продольного профиля на безопасность движения в условиях интенсификации перевозочного процесса / Певзнер В. О. [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2020. Т. 79. № 5. С. 271–275. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-5-271-275>.
5. Яновский А. С. На 126-м заседании Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 7. С. 33–34.
6. Жуковский Н. Е. Сила тяги, время в пути и разрывающие усилия в тяговом приборе и сцепке при ломаном (резко переменном) профиле // Полное собрание сочинений. М.: Л., 1937. Т. 8. С. 256–268.
7. Вершинский С. В., Данилов В. Н., Челноков И. И. Динамика вагона: учеб. для вузов ж.-д. транспорта. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Транспорт, 1978. 352 с.
8. Блохин Е. П., Манашкин Л. А. Динамика поезда (нестационарные продольные колебания). М.: Транспорт, 1982. 222 с.
9. Максимов В. Н. Силы, действующие на вагон на сортировочных горках // Вестник ВНИИЖТ. 1963. № 4. С. 36–40.

10. Вершинский С. В., Данилов В. Н., Хусидов В. Д. Динамика вагона / под ред. С. В. Вершинского. М.: Транспорт, 1991. 360 с.
11. Блохин Е. П., Коротенко М. Л., Клименко И. В. Графическое представление критерия Надаля // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. 2010. № 35. С. 7–9.
12. Tyrell D., Weinstock H., Greif R. Wheel Unloading of Rail Vehicles Due to Track Twist: Final Report. 1986 [Электронный ресурс] / Transportation Systems Center Cambridge. [60 p.]. URL: <https://railroads.dot.gov/elibrary/wheel-unloading-rail-vehicles-due-track-twist> (дата обращения: 06.09.2021 г.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

ПЕВЗНЕР Виктор Ошеревич,
д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, научный центр «Путевая инфраструктура и вопросы взаимодействия колесо—рельс», АО «ВНИИЖТ»

ЧЕЧЕЛЬНИЦКИЙ Александр Иванович,
заместитель начальника Дирекции диагностики и мониторинга инфраструктуры Центральной дирекции инфраструктуры — филиала ОАО «РЖД»

Статья поступила в редакцию 08.09.2021 г., первая рецензия получена 22.10.2021 г., вторая рецензия получена 03.11.2021 г., принята к публикации 26.11.2021 г.

Для цитирования: Сидорова Е. А., Певзнер В. О., Чечельницкий А. И. Показатели силового взаимодействия пути и подвижного состава при движении грузового вагона по длинным неровностям с учетом действия продольных сил // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 6. С. 359–365. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-359-365>.

Indicators of the force interaction of the track and rolling stock when a freight car runs on long irregularities, taking into account the action of longitudinal forces

E. A. SIDOROVA¹, V. O. PEVZNER¹, A. I. CHECHEL'NITSKIY²

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

² Directorate for diagnostics and monitoring of infrastructure of the Central Directorate of Infrastructure — Branch of JSC Russian Railways, Moscow, 107174, Russia

Abstract. Authors describe formation mechanism of long irregularities of the railway track and the importance of their elimination for the track facilities. Based on the results of freight train operation modeling on long irregularities in the traction mode, an analysis of the processes occurring during the motion of heavy trains along a track with such deviations was carried out, modeling was carried out on the basis of the "Universal Mechanism" software package. Based on the results of the calculation, interaction between the track and the rolling stock in the vertical plane was assessed in terms of the magnitude of the vertical force and coefficients: dynamics, stability margin, Nadal, unloading (in percent) of axle springs of freight car springs. Article analyzes the nature of the influence of the irregularity slope on the decrease in the vertical force transmitted from the wheel to the rail and the change in the traction force on the dynamics of freight cars in the train and

passing on long irregularities of the longitudinal profile through the indicators of the vertical force.

Keywords: railway track; long irregularities in the longitudinal profile; longitudinal forces; traction force; unloading; vertical force

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-359-365>

REFERENCES

1. Pevzner V. O., Lisitsyn A. I., Grin' E. N., Tret'yakov V. V., Petropavlovskaya I. B., Gromova T. I. *Deformativnost' puti na uchastkakh obrashcheniya tyazhelovesnykh poezdov* [Deformability of the track on the sections of the circulation of heavy haul trains]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2019, no. 9, pp. 36–41.
2. Solov'ev V. P., Anisin A. V., Anisina I. M., Nadezhin S. S., Zheleznov M. M., Pevzner V. O., Tret'yakov I. V. *Model' deformirue-*

mosti gruntovogo osnovaniya zheleznodorozhnogo puti pri propuske dlinnosostavnykh poezdov [Model of deformability of the soil base of a railway track when passing long-train trains]. Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. Seriya: Matematicheskoe modelirovanie fizicheskikh protsessov, 2019, no. 3, pp. 84–89.

3. Chechel'nitskiy A. I. *Tekhnologii ustraneniya dlinnykh profil'nykh prosadok* [Technologies for eliminating long profile sagging]. Railway Track and Facilities, 2021, no. 3, pp. 2–7.

4. Pevzner V. O., Chechel'nitskiy A. I., Shapet'ko K. V., Sidorova E. A., Slastenin A. Yu. *Vliyeniye dlinnykh nerovnostey prodol'nogo profilya na bezopasnost' dvizheniya v usloviyakh intensivatsii perevoznogo protsessa* [Influence of long irregularities of the longitudinal profile on traffic safety under conditions of intensification of the transportation process]. VNIIZHT Scientific Journal, 2020, Vol. 79, no. 5, pp. 271–275. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-5-271-275>.

5. Yanovskiy A. S. *Na 126-m zasedanii Ob"edinennogo uchenogo soveta OAO "RZhD"* [At the 126th meeting of the Joint Scientific Council of JSC Russian Railways]. Railway Track and Facilities, 2021, no. 7, pp. 33–34.

6. Zhukovskiy N. E. *Sila tyagi, vremya v puti i razryvayushchie usiliya v tyagovom pribore i stepke pri lomanom (rezko peremennom) profile* [Traction force, travel time and breaking forces in the traction device and coupling with a broken (sharply variable) profile]. Polnoe sobranie sochineniy [Complete works]. Moscow, Leningrad, 1937, Vol. 8, pp. 256–268.

7. Vershinskiy S. V., Danilov V. N., Chelnokov I. I. *Dinamika vagona* [Dynamics of the car]. Ucheb. dlya vuzov zh.-d. transporta. Izd. 2-e, pererab. i dop [Textbook for universities of railway transport. 2nd edition, revised and enlarged]. Moscow, Transport Publ., 1978, 352 p.

8. Blokhin E. P., Manashkin L. A. *Dinamika poezda (nestatsionarnye prodol'nye kolebaniya)* [Train dynamics (non-stationary longitudinal vibrations)]. Moscow, Transport Publ., 1982, 222 p.

9. Maksimov V. N. *Sily, deystvuyushchie na vagon na sortirovochnykh gorkakh* [Forces acting on the car on the yard humps]. Vestnik VNIIZHT [Vestnik of the Railway Research Institute], 1963, no. 4, pp. 36–40.

10. Vershinskiy S. V., Danilov V. N., Khudidov V. D. *Dinamika vagona* [Car dynamics]. Moscow, Transport Publ., 1991, 360 p.

11. Blokhin E. P., Korotenko M. L., Klimenko I. V. *Graficheskoe predstavlenie kriteriya Nadalya* [Graphic representation of the Nadal criterion]. Visnik Dnipropetrovskogo natsional'nogo universitetu zaliznichnogo transportu im. akademika V. Lazaryana [Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Retail Transport n. a. Academician V. Lazaryan], 2010, no. 35, pp. 7–9.

12. Tyrell D., Weinstock H., Greif R. *Wheel Unloading of Rail Vehicles Due to Track Twist: Final Report. 1986*. Transportation Systems Center Cambridge, 60 p. URL: <https://railroads.dot.gov/elibrary/wheel-unloading-rail-vehicles-due-track-twist> (retrieved on 06.09.2021).

ABOUT THE AUTHORS

Elena A. SIDOROVA,

Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Scientific Center "Track infrastructure and issues of wheel—rail interaction", JSC "VNIIZHT"

Viktor O. PEVZNER,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, Scientific Center "Track infrastructure and issues of wheel—rail interaction", JSC "VNIIZHT"

Aleksander I. CHECHEL'NITSKIY,

Deputy Head of the Directorate for diagnostics and monitoring of infrastructure of the Central Directorate of Infrastructure — Branch of JSC Russian Railways

Received 08.09.2021

First review received 22.10.2021

Second review received 03.11.2021

Accepted 26.11.2021

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

For citation: Sidorova E. A., Pevzner V. O., Chechel'nitskiy A. I. Indicators of the force interaction of the track and rolling stock when a freight car runs on long irregularities, taking into account the action of longitudinal forces // Russian Railway Science. 2021. 80 (6): 359–365 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-359-365>.

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

АСУ «Экспресс» — автоматизированная система управления пассажирскими перевозками на железнодорожном транспорте / под ред. А. В. Комиссарова. — 2-е изд. — М.: РАС, 2019. — 68 с.

Коллектив авторов: Г. А. Антонова, А. С. Бабенко, М. П. Берёзка, М. И. Бобренкова, Ю. А. Гаврина, Т. В. Гнисюк, М. А. Гупаленко, В. А. Добычина, С. Б. Елизаров, Н. Б. Караванова, Т. А. Карпеева, А. В. Комиссаров, С. П. Кузякова, Е. Ю. Лёвон, Н. Э. Магура, Е. А. Макарова, Е. А. Мартынова, О. В. Минаева, С. В. Муктепавел, О. В. Реванченкова, А. П. Рубинская, Е. М. Сивинцева, И. Н. Спесивцева, Е. И. Стасенкова, К. В. Суржин, М. В. Толмачёва, Г. М. Турсуматова, Е. В. Успенская.

В книге рассмотрены бизнес-процессы пассажирских перевозок с использованием автоматизированной системы управления пассажирскими перевозками «Экспресс-3».

Во втором издании актуализированы и расширены описания текущего состояния информационных технологий системы «Экспресс-3», книга стала более удобной для чтения.

Издание предназначено для руководителей и инженерно-технического состава пассажирского комплекса; специалистов, связанных с разработкой и внедрением информационных технологий на российских железных дорогах; научных работников, преподавателей и студентов транспортных вузов.

По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: rio@vniizht.ru, www.vniizht.ru.