

УДК 629.4.015

Влияние параметров железнодорожного подвижного состава и пути на динамику движения

Л. В. Мартыненко¹, Д. П. Кононов²

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, Россия, 664074, Иркутск, ул. Чернышевского, 15

² Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Мартыненко Л. В., Кононов Д. П. Влияние параметров подвижного состава и пути на динамику движения // Бюллетень результатов научных исследований. 2024. Вып. 4. С. 96–102. DOI: 10.20295/2223-9987-2024-04-96-102

Аннотация

Цель: повышение безопасности движения железнодорожного подвижного состава в кривых и на горно-перевальных участках пути путем исследования взаимодействия подвижного состава и пути. **Методы:** экспериментальные исследования колебаний вагонов с целью выявления дополнительных колебаний и отклонений в системе «колесо — рельс» при наличии отклонений пути в плане, таких как уровень рельсов, перекося рельсов, просадка, сужение и уширение колеи, рихтовка, перекося. Исследование влияния опасных сочетаний значений параметров подвижного состава и пути на возникновение аварийных ситуаций. **Результаты:** при анализе причин схода железнодорожного подвижного состава необходимо учитывать, помимо дефектов пути, еще и техническое состояние вагонов и локомотива. При этом нужно проводить комплексную оценку как подвижного состава, включая локомотив, так и пути. По результатам комплексной оценки осуществляется выбор опасных сочетаний отклонений от номинальных значений размеров вагона, локомотива и пути в зависимости от скорости движения. **Практическая значимость:** предлагаемые технические решения и рекомендации направлены на совершенствование использования грузовых вагонов с учетом рациональных условий их эксплуатации на горно-рельефной местности Восточно-Сибирской железной дороги. Внедрение данных предложений позволит снизить ежегодные расходы на ликвидацию последствий сходов — ремонт поврежденной инфраструктуры, вагонов, устройств сигнализации, централизации и блокировки, восстановление пути.

Ключевые слова: безопасность движения, колебания, динамика движения, горно-перевальные участки.

Безопасность на железнодорожном транспорте является приоритетной задачей для ОАО «РЖД». Это одно из основных условий нормальной работы железной дороги. Во время движения подвижной состав создает сложный комплекс разнонаправленных сил, приводящих к возникновению колебаний [1–4]. При этом система «подвижной состав — путь» является динамической, т. е. меняющейся во времени в процессе движения. При превышении колебаний вагонов выше определенного значения происходят сходы, которые могут привести к большим материальным потерям, загрязнению окружающей среды, а также человеческим жертвам [5, 6]. Поэтому исследование параметров железнодорожного подвижного состава, параметров пути и их взаимодействия является актуальной задачей [7–9].

При расследовании сходов был проведен комплекс экспериментальных исследований с целью выявления колебаний вагонов и отклонений в системе «колесо — рельс» (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Характеристика отклонений в системе «колесо — рельс»

Название отклонений в плане	Степень	Диапазон измерений, мм	Количество дефектов
Уровень	2	24	2
Перекося	2	20	13
Просадка	2	25	8
Сужение	2	6–15	7
Уширение	2	6–15	20
Рихтовка	2	16	1
Перекося	3	25	1

Отклонения размеров железнодорожного пути от номинального значения делятся по четырем степеням: самые опасные дефекты — 4-я степень, самые безопасные — 1-я степень. Зависят они от скорости движения подвижного состава. Дефекты 4-й степени могут привести к сходу.

На основании выявленных при анализе сходов подвижного состава дефектов пути были выполнены расчеты нагрузок, действующих в вагоне, в зависимости от скорости движения и коэффициента вертикальной динамики необрессоренных и обрессоренных частей вагона (табл. 2, где H_p — рамная сила; P_o — осевая нагрузка).

Как видно из табл. 2, при достижении скорости 60–80 км/ч значения коэффициентов вертикальной динамики необрессоренных и обрессоренных частей вагона становятся выше допустимых величин, в результате чего возникает дисбаланс колесной пары и происходит потеря устойчивости вагона.

Во время движения подвижного состава происходит набегание колеса первой колесной пары в тележке на рельс. При этом возникают боковые силы, достигающие 80 кН [10]. Несмотря на то что вторая колесная пара в данном случае не набегает на рельсовую нить, силы трения в подрельсовом основании вызывают асимметрию отжатий [11]. Из-за наличия зазоров между рельсом и подкладками, а также сухого трения рельсы после прохода экипажа не возвращаются полностью в исходное положение [12]. Это приводит к изменению формы кривой изгиба рельсовой нити. Передний ее фронт становится круче, возрастает нагрузка на крепежные элементы, расположенные в непосредственной близости к месту набегания колесной пары [13, 14].

ТАБЛИЦА 2. Показатели динамики обрессоренных и необрессоренных частей вагона в кривой радиусом 300–650 м

Показатель	Нормативное значение	Тип вагона	Скорость, км/ч					
			44	50	55	65	77	78
H_p / P_o , не более	0,40	крытый 11-280	0,15					
		полувагон 12-127		0,16				
		крытый 11-066-04			0,18			
		полувагон 12-132-02				0,21		
		цистерна 15-869					0,24	
		цистерна 15-1547						0,25
Коэффициент вертикальной динамики необрессоренных частей, не более	0,98	крытый 11-280	0,67					
		полувагон 12-127		0,76				
		крытый 11-066-04			0,84			
		полувагон 12-132-02				0,8		
		цистерна 15-869					1,14	
		цистерна 15-1547						1,16
Коэффициент вертикальной динамики обрессоренных частей, не более	0,75	крытый 11-280	0,6					
		полувагон 12-127		0,67				
		крытый 11-066-04			0,74			
		полувагон 12-132-02				0,7		
		цистерна 15-869					1,04	
		цистерна 15-1547						1,06

Помимо дефектов пути, при анализе причин схода необходимо учитывать еще и техническое состояние вагонов и локомотива. При этом нужно проводить комплексную оценку как подвижного состава, включая локомотив, так и пути. По результатам комплексной оценки осуществляется выбор опасных сочетаний отклонений от номинальных значений размеров вагона, локомотива и пути в зависимости от скорости движения. Дело в том, что при одной скорости движения подвижного состава может быть одно неблагоприятное сочетание, а при другой скорости — другое. Это позволяет в дальнейшем назначать режим движения подвижного состава на определенном участке пути с точки зрения наибольшей безопасности.

По результатам расчетов и расследования сходов грузовых вагонов можно сделать следующие выводы:

1) сочетание таких дефектов, как возвышение наружного рельса с разницей более 10 мм, просадка пути (15 мм и выше) и превышение крена кузова (более 8°), при скоростях движения состава более 40 км/ч является одной из основных причин возникновения аварийных ситуаций на горно-перевальных участках пути;

2) сочетание перекаса и заклинивания автосцепки со снижением устойчивости колесной пары на рельсах на горно-перевальных участках пути, например, при отклонении от нормативного угла наклона образующей гребня колеса, является одной из частых причин схода;

3) к опасным сочетаниям отклонений следует отнести сокращение длительности повторного торможения на затяжных спусках, что может привести к неполной подзарядке тормозной магистрали и, соответственно, к аварийной ситуации (для нормальной работы тормозной системы необходимо выдерживать между торможениями время не менее 60 с).

Библиографический список

1. Мямлин С. В. Моделирование динамики рельсовых экипажей. Днепропетровск: Новая идеология, 2002. 240 с.

2. Тюньков В. В., Бузунова В. С., Пашков А. Е. Технологический алгоритм в перспективном конструктивном развитии железнодорожных грузовых вагонов колеи 1520 мм // Молодая наука Сибири. 2020. № 4(10). С. 18–26.

3. Грачева Л. О., Певзнер В. О., Анисимов П. С. Показатели динамики и воздействия на путь грузовых четырехосных вагонов при различных износах тележек и отступлениях от норм содержания в прямых участках пути // Сб. науч. тр. ВНИИЖТ. Вып. 549. М.: Транспорт, 1976. С. 4–25.

4. Ромен Ю. С., Николаев В. Е. Исследование влияния детерминированных неровностей пути в плане на уровень боковых сил при движении грузового вагона // Проблемы механики железнодорожного транспорта. Киев: Наукова думка, 1980. С. 40–42.

5. Вериго М. Ф., Коган А. Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. М.: Транспорт, 1986. 560 с.

6. Ершков О.П. Расчет рельса на действие боковых сил в кривых // Тр. ЦНИИ МПС. Вып. 192. М.: Трансжелдориздат, 1960. С. 5–58.
7. Желнин Г.Г., Певзнер В.О., Шинкарев Б.С. Исследование зависимостей между показателями динамики подвижного состава и воздействия его на путь // Тр. ВНИИЖТ. Вып. 542. М.: Транспорт, 1975. С. 84–92.
8. Черняк Ю.В., Матвиенко А.С. Определение силы тяги локомотива при производстве тягово-энергетических испытаний // Сборник научных трудов ДонИЖТ. 2007. № 12. С. 116–126.
9. Лукин В.В., Анисимов В.Н., Котуранов В.Н. Конструирование и расчет вагонов: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. 688 с.
10. Кузович В.М. Динамическая нагруженность специализированных вагонов в криволинейных участках пути: дисс. ... канд. техн. наук. М., 2010. 211 с.
11. Кудрявцева Н.Н. Динамические нагрузки ходовых частей грузовых вагонов // Тр. ВНИИЖТ. Вып. 572. М.: Транспорт, 1977. 144 с.
12. Доронин И.С. Расчет шейки оси колесной пары на продольную нагрузку // Вестник ВНИИЖТ, 1978. С. 33–34.
13. Кудрявцев Н.Н. Исследования динамики неподрессоренных масс вагонов // Тр. ВНИИЖТ. Вып. 287. М.: Транспорт, 1965. 168 с.
14. Скалов А.Д., Коваль В.А. Методика исследования вертикальных и боковых сил при износных испытаниях рельсов // Вестник ВНИИЖТ. 1980. № 6. 216 с.

Дата поступления: 21.09.2024

Решение о публикации: 23.10.2024

Контактная информация:

МАРТЫНЕНКО Любовь Викторовна — соискатель; liuba.martinenko@yandex.ru

КОНОНОВ Дмитрий Павлович — докт. техн. наук, доцент; d_kononov@mail.ru

Influence of railway rolling stock and track parameters on traffic dynamics

L. V. Martynenko¹, D. P. Kononov²

¹ Irkutsk State Transport University, 15, Chernyshevskogo st., Irkutsk, 664074, Russia

² Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

For citation: *Martynenko L. V., Kononov D. P. Influence of railway rolling stock and track parameters on traffic dynamics // Bulletin of scientific research results. 2024. Iss. 4. P. 96–102. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2024-04-96-102*

Abstract

Purpose: improving the safety of railway rolling stock in curves and on mountain-pass sections of the track by studying the interaction of rolling stock and track. **Methods:** experimental studies of wagon vibrations in order to identify additional fluctuations and deviations in the wheel-rail system in the presence of track deviations in the plan, such as rail level, rail misalignment, subsidence, narrowing and widening of the track, straightening, skew. Investigation of the influence of dangerous combinations of rolling stock and track parameter values on the occurrence of emergency situations. **Results:** when analyzing the causes of the derailment of railway rolling stock, it is necessary to take into account, in addition to track defects, the technical condition of the wagons and the locomotive. At the same time, it is necessary to carry out a comprehensive assessment of both the rolling stock, including the locomotive, and the track. Based on the results of a comprehensive assessment, a selection of dangerous combinations of deviations from the nominal values of the dimensions of the car, locomotive and track is carried out, depending on the speed of movement. **Practical importance:** the proposed technical solutions and recommendations are aimed at improving the use of freight wagons, taking into account the rational conditions of their operation in the mountainous terrain of the East Siberian railway. The implementation of these proposals will reduce the annual costs of eliminating the consequences of gatherings: damaged infrastructure (repair of wagons, restoration of tracks, alarm, centralization and blocking devices, work of track equipment, etc.).

Keywords: traffic safety, fluctuations, traffic dynamics, mountain pass sections.

References

1. Myamlin S. V. Modelirovanie dinamiki rel'sovyh ekipazhej. Dnepropetrovsk: Novaya ideologiya, 2002. 240 s. (In Russian)
2. Tyun'kov V. V., Buzunova V. S., Pashkov A. E. Tekhnologicheskij algoritm v perspektivnom konstruktivnom razvitii zheleznodorozhnyh gruzovyh vagonov kolei 1520 mm // Molodaya nauka Sibiri. 2020. No. 4(10). S. 18–26. (In Russian)
3. Gracheva L. O., Pevzner V. O., Anisimov P. S. Pokazateli dinamiki i vozdejstviya na put' gruzovyh chetyrekhosnyh vagonov pri razlichnyh iznosah telezhok i otstupleniyah ot norm sodержaniya v pryamyh uchastkah puti // Sb. nauch. tr. VNIIZhT. Vyp. 549. M.: Transport, 1976. S. 4–25. (In Russian)
4. Romen Yu. S., Nikolaev V. E. Issledovanie vliyaniya determinirovannyh nerovnostej putiv plane na uroven' bokovyh sil pri dvizhenii gruzovogo vagona // Problemy mekhaniki zheleznodorozhnogo transporta. Kiev: Naukova dumka, 1980. S. 40–42. (In Russian)
5. Verigo M. F., Kogan A. Ya. Vzaimodejstvie puti i podvizhnogo sostava. M.: Transport, 1986. 560 s. (In Russian)
6. Ershkov O. P. Raschet rel'sa na dejstvie bokovyh sil v krivyh // Tr. CNII MPS. Vyp. 192. M.: Transzheldorizdat, 1960. S. 5–58. (In Russian)
7. Zhelnin G. G., Pevzner V. O., Shinkarev B. S. Issledovanie zavisimostej mezhdru pokazatelyami dinamiki podvizhnogo sostava i vozdejstviya ego na put' // Tr. VNIIZhT. Vyp. 542. M.: Transport, 1975. S. 84–92. (In Russian)
8. Chernyak Yu. V., Matvienko A. S. Opredelenie sily tyagi lokomotiva pri proizvodstve tyagovo-energeticheskikh ispytaniy // Sbornik nauchny`x trudov DonIZhT. 2007. No. 12. S. 116–126. (In Russian)
9. Lukin V. V., Anisimov V. N., Koturanov V. N. Konstruirovaniye i raschet vagonov: uchebnyk. 2-e izd., pererab. i dop. M.: FGOU "Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte", 2011. 688 s. (In Russian)

10. Kuzovich V.M. Dinamicheskaya nagruzhennost' specializirovannyh vagonov v krivolinejnyh uchastkah puti: diss. ... kand. tekhn. nauk. M., 2010. 211 s. (In Russian)
11. Kudryavceva N.N. Dinamicheskie nagruzki hodovyh chastej gruzovyh vagonov // Tr. VNIIZhT. Vyp. 572. M.: Transport, 1977. 144 s. (In Russian)
12. Doronin I.S. Raschet shejki osi kolesnoj pary na prodol'nuyu nagruzku // Vestnik VNIIZhT, 1978. S. 33–34. (In Russian)
13. Kudryavcev N.N. Issledovaniya dinamiki nepodressorenyh mass vagonov // Tr. VNIIZhT. Vyp. 287. M.: Transport, 1965. 168 s. (In Russian)
14. Skalov A.D., Koval' V.A. Metodika issledovaniya vertikal'nyh i bokovyh sil pri iznosnyh ispytaniyah rel'sov // Vestnik VNIIZhT. 1980. No. 6. 216 s. (In Russian)

Received: 21.09.2024

Accepted: 23.10.2024

Author's information:

Lyubov' V. MARTYNENKO — the applicant; liuba.martinenko@yandex.ru,

Dmitry P. KONONOV — Dr. Sci. in Engineering, Professor; d_kononov@mail.ru