

11. Sultanov R.M., Ibatullina L.A. Prognozirovaniye chrezvychainykh situatsii pri transportirovke nefteproduktov zheleznodorozhnym transportom [Emergency prediction for railway transportation of petroleum products] Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov [Problems of gathering, treatment and transportation of oil and oil products], 2017, No. 1 (107), pp. 176–185.
12. Kurakina I.N., Ivlichev I.A. Metody otsenki ekologicheskikh riskov na osnove raznorodnykh dannykh [Environmental risk assessment methods based on heterogeneous data]. Izvestiya SPbGETU "LETI" [Proceedings of Saint Petersburg Electrotechnical University], 2015, No. 2, pp. 46–51.
13. Bel'skaya E.N., Sugak E.V. Otsenka ekologicheskikh riskov [Environmental risk assessment]. Reshetnevskie chteniya [Reshetnev readings], 2014, Vol. 2, pp. 345–346.
14. Vishnyakov Y.D., Radaev N.N. Obshchaya teoriya riskov [General risk theory]. Moscow: Akademiya Publ., 2008, 368 p.
15. Kraskovskii A.E., Vyrkov S.A. Osnovnye podkhody i metody dokazatel'stva bezopasnosti dvizheniya [Basic approaches and methods for proving traffic safety]. Zheleznodorozhnyi transport [The railway transport], 2016, No. 3, pp. 61–65.
16. Metodiki otsenki riskov chrezvychainykh situatsii i normativy priemlegomogo riska chrezvychainykh situatsii. Rukovodstvo po otsenke riskov chrezvychainykh situatsii tekhnogennogo kharaktera, v tom chisle pri ekspluatatsii kriticheskikh vazhnykh ob"ektov Rossiiskii Federatsii [Methodologies for assessing the risks of emergency situations and standards for acceptable risk of emergency situations. Guidelines for assessing the risks of technological emergencies, including the operation of critical facilities of the Russian Federation], 2008. URL: <http://www.sra-russia.ru/upload/iblock/f35/f35a0297f243c1f8bac766c84efc5aa3.pdf>.
17. Faustova O.G. Metodika otsenki riskov voznikoveniya chrezvychainykh situatsii v mul'timodal'nykh perevozkakh [Technique of an assessment of risks of emergency situations in multimodal transportations]. Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya [Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technology], 2014, No. 1, pp. 109–116.
18. Anardovich S.S., Rush E.A. Analiz faktorov, vliyayushchikh na sostoyaniye bezopasnosti na zheleznodorozhnom transporte [Analysis of factors affecting the state of safety in railway transport]. Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona : materialy X mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [The Transport Infrastructure of the Siberian Region: materials of the Tenth Int. scientific and practical conf.]. Irkutsk: in two volumes: IrGUPS Publ., 2019, Vol. 1, pp. 143–148.
19. Gozbenko V.E., Kripak M.N., Ivankov A.N. Sovershenstvovanie transportno-ekspeditsionnogo obsluzhivaniya gruzovladel'tsev [Improving freight forwarding services for cargo owners]. Irkutsk, 2011.

Информация об авторах

Анардович Светлана Сергеевна – аспирант кафедры техносферной безопасности, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: kachina_sveta@yahoo.com

Рущ Елена Анатольевна – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой техносферной безопасности, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: lrush@mail.ru

Information about the authors

Svetlana S. Anardovich – Ph.D. Student of the Subdepartment of Life Safety, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kachina_sveta@yahoo.com

Elena A. Rush – Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the Subdepartment of Life Safety, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: lrush@mail.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.1(65).75-84

УДК 625.144.2

Экспериментальное определение боковых сил в системе «колесо – рельс» при движении поездов по горно-перевальному участку

А. П. Ресельс, Е. В. Филатов, Д. А. Ковенькин✉, Т. М. Баранов

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ kovenkin_pph@irgups.ru

Резюме

Современная мировая экономика диктует новые правила для всех областей жизни и человечества в целом. Постоянно увеличивается потребление и производство разнообразных товаров, как следствие растет роль процесса их взаимодействия. Процесс грузовых перевозок на железных дорогах имеет ряд трудностей, связанных с необходимостью постоянного увеличения провозной и пропускной способностей. Огромные вложения в развитие инфраструктуры заставляют рассматривать другие способы наращивания объемов. Решением проблемы стало внедрение тяжеловесного движения и использование длинносоставных поездов. Однако с ростом осевых и погонных нагрузок в значительной мере изменилось взаимодействие пути и подвижного состава. Увеличение грузонапряженности повлекло рост эксплуатационных расходов на содержание железнодорожного полотна. Все службы пути работают над оптимизацией этого процесса, но объективные данные показывают, что несмотря на все усилия состояние инфраструктуры ухудшается стремительными темпами. Поэтому главной задачей науки является оптимизация, конформность всех элементов системы «экипаж – путь». Настоящая статья посвящена анализу результатов экспериментальных исследований движения поездов по участку Иркутск –

Большой Луг с учетом разнообразного профиля и плана местности. Целью исследований являлось определение напряженно-деформированного состояния элементов верхнего строения пути, установление фактических внешних нагрузок, действующих от подвижного состава на рельсы, получение качественной закономерности и количественных значений, характеризующих особенности взаимодействия пути и подвижного состава.

Ключевые слова

тяжеловесное движение, длинносоставные поезда, боковые силы, продольные силы в поезде, возвышение рельса в кривой

Для цитирования

Ресельс А.П. Влияние продольных сил в поездах на возвышение наружного рельса в кривых участках пути / А.П. Ресельс, Е.В. Филатов, Д.А. Ковенькин, Т.М. Баранов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – Т. 65 № 1. – С. 75–84. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.1(65).75-84

Информация о статье

поступила в редакцию: 13.05.2019, поступила после рецензирования: 21.10.2019, принята к публикации: 11.12.2019

Experimental determination of lateral forces in the «wheel – rail» system during the movement of trains at the mountain-pass section

A. P. Resel's, E. V. Filatov, D. A. Koven'kin✉, T. M. Baranov

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ kovenkin_pph@irgups.ru

Abstract

Modern world economy dictates new rules of development for all areas of life and human development. Consumption and production of various goods are constantly increasing. As a result, the role of their interaction process is growing. The process of freight railway transportation is experiencing a number of difficulties arising from the need to continuously increase transportation and carrying capacity. Huge investments in infrastructure development urge us to consider other ways of increasing volumes. The problem solution was the introduction of heavy traffic and driving long trains. But with the growth of axial and linear loads, the interaction of track and rolling stock has changed significantly. The increase in load-carrying capacity resulted in an increase in operating costs for the railway track maintenance. All services are working to optimize this process, but despite all the efforts, objective data show that the infrastructure is deteriorating rapidly. Therefore, the main objective of science is the optimization and conformity of all the elements of the «vehicle – track» system. This article focuses on the analysis of the results of experimental studies of train traffic at Irkutsk – Bolshoy Lug section, taking into account the diverse profile and plan of the terrain. The aim of the research was to determine the stress-strain state of the upper structure's elements of the track, to establish the relevant external loads acting from the rolling stock on the rails, to obtain a qualitative regularity and quantitative values that characterize the features of the track and rolling stock interaction.

Keywords

heavy traffic, long trains, lateral forces, longitudinal forces in the train, the elevation of the rail in the curve

For citation

Resel's A.P., Filatov E.V., Koven'kin D.A., Baranov T.M. Eksperimental'noe opredelenie bokovykh sil v sisteme «koleso – rel's» pri dvizhenii poezdov po gorno-pereval'nomu uchastku [Experimental determination of lateral forces in the «wheel – rail» system during the movement of trains at the mountain-pass section]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, Vol. 65, No. 1, pp. 75–84. 10.26731/1813-9108.2020.1(65).75-84

Article Info

Received: 13.05.2019, Revised: 21.10.2019, Accepted: 11.12.2019

Введение и концептуальные положения для реализации заявленной цели

С развитием добывающей и обрабатывающей промышленности растут и потребности в перевозке их продукции. Огромную роль в этом играет железнодорожный транспорт. Однако существующая инфраструктура и система организации перевозок уже во многих аспектах достигла своего критического значения, и дальнейшее увеличение перевозок влечет за собой огромные капитальные затраты. По-прежнему актуальными способами решения данной

задачи являются постепенное увеличение осевых нагрузок, участковых скоростей и длинносоставных поездов. Именно по этому пути и идет развитие грузоперевозок в нашей стране [1–3].

Восточно-Сибирская железная дорога, как и вся сеть, работает над увеличением этих показателей [4]. Так, например, сравнивая 2017 и 2018 г., можно увидеть небольшой прирост (около 1–2 %) по среднему весу поездов – 3 967 т против 3 923 т, участковой скорости – 45,1 км/ч против 44,1 км/ч. Количество

же длинносоставных поездов увеличилось практически на 50 % – с 3 198 до 4 784 штук.

Поэтому к ряду нерешенных проблем добавляются задачи, связанные с увеличивающимся воздействием подвижного состава на путь. Хотя многие переменные в системе «колесо – рельс» уже изучены, остаются величины по-прежнему не установленные [5]. Так, например, боковые силы, возникающие в поездах при движении по кривым участкам пути, на спусках или подъемах, а также в режиме тяги или торможения, которые напрямую влияют на величину возвышения наружного рельса в кривых участках пути [6–9]. За рубежом данный вопрос уже изучался и результатом стал поправочный коэффициент, используемый при проектировании новых линий и эксплуатации существующих [10].

Для наших условий, когда грузовое и пассажирское движение осуществляется по одним и тем же путям, данный опыт в чистом виде применить нельзя, поэтому требуются дополнительные исследования.

В отечественной науке изучением этого аспекта занимался Г.М. Шахунянец [11], получив следующую зависимость:

$$h_o = 12.5 \cdot \frac{V_o^2}{R} + \Delta h_o, \quad (1)$$

$$\Delta h_o = e_1 + e_2 + e_3 + e_4, \quad (2)$$

$$e_1 = -\frac{80 \sum F_k L_n}{R \sum G}, \quad (3)$$

где h_o – возвышение внешнего рельса, мм; V_o – средняя квадратичная скорость, взвешенная по тоннажу, км/ч; R – радиус кривой, м; Δh_o – поправка возвышения наружного рельса, мм; e_1, e_2, e_3, e_4 – поправки, учитывающие влияние разнообразных факторов, мм; $\sum F_k$ – сила тяги, кН; L_n – длина поезда, м; $\sum G$ – масса поезда, т. Из четырех поправок нас интересует только e_1 , так как именно она дает зависимость возвышения от длины и массы поезда, остальные поправки учитывают влияние эксцентриситетов, силы ветра, лубрикации и т. д.

Приборы, применяемые для исследований

Для экспериментального определения фактических внешних нагрузок, действующих от подвижного состава на рельсы, а также статистических и функциональных закономерностей их появления использовалось тензометрическое оборудование. Для измерения боковых сил по разности противоположных по знаку изгибающих моментов, возникающих в шейке рельса, используется метод Шлюмпфа.

Ниже показана схема наклейки тензодатчиков в заданном сечении рельса для измерения напряжений

в рельсе, возникающих при проходе подвижного состава по пути (рис. 1, 2).



Рис. 1. Схема наклейки тензодатчиков в пути
Fig. 1. The scheme of the sticking strain gauges during transit

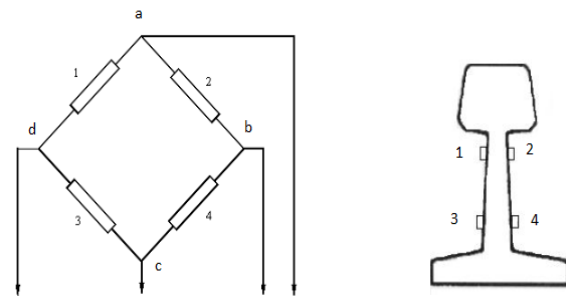


Рис. 2. Схема наклейки тензодатчиков на шейке рельса по методу Шлюмпфа:
 a, c – измерительная диагональ; d, b – питание моста;
 $1, 2, 3, 4$ – тензорезисторы
Fig. 2. The scheme of the sticking strain gauges on the rail web according to the Schlumpf method:
 a, c – the measuring diagonal; d, b – bridge power;
 $1, 2, 3, 4$ – resistive strain gauges

Для записи регистрируемых параметров применялся программно-аппаратный комплекс, состоящий из измерительного модуля ЛС и ЭВМ. Все источники питания датчиков и регистрирующая аппаратура размещаются рядом с действующим испытательным путем в пределах габарита приближения строений. Датчики на пути соединяют с регистрирующей аппаратурой специальными кабелями. Получаемые при прохождении подвижного состава данные по измерениям динамических процессов в пути подвергаются обработке по специальным методикам.

Характеристика участков проведения испытаний

Для проведения тензометрических испытаний по определению боковых сил, передаваемых подвижным составом на рельсы, были выбраны участки пути на Восточно-Сибирской железной дороге (табл. 1).

Таблица 1. Участки пути, выбранные для тензометрических испытаний
Table 1. Track sections selected for strain gauge testing

Номер участка	Перегон	Путь	Км / ПК	Характеристика участка				
				Установленная скорость, км/ч (пасс / груз)	Кривая радиуса, м	Физическое возвышение наружного рельса, мм	Профиль, ‰	Интенсивность износа рельсов, мм / мес.
1	Иркутск Сорт. – Гончарово	2	5 180 / ПК 2	– / 60	397	105	Подъем 3,7	1,1
2	Иркутск Сорт. – Гончарово	2	5 192 / ПК 7	–/70	397	104	Спуск 4,9	1,0

Результаты испытаний

Экспериментальное определение напряженно-деформированного состояния элементов верхнего строения пути позволило установить фактические внешние нагрузки, действующие от подвижного состава на рельсы.

Результаты проведенных испытаний представлены в виде осциллограмм (рис. 3–6).

Данные осциллограмм были статистически обработаны [12, 13], результаты сведены (табл. 2–5). Так как число проведенных измерений во всех выборках находится в пределах 2 000–3 000 при проходе колесной пары подвижной единицы, можно сделать вывод о повышении надежности доверительных оценок. При принятом уровне надежности 0,95 согласно правилу трех сигм необходимо как минимум 25 измерений.

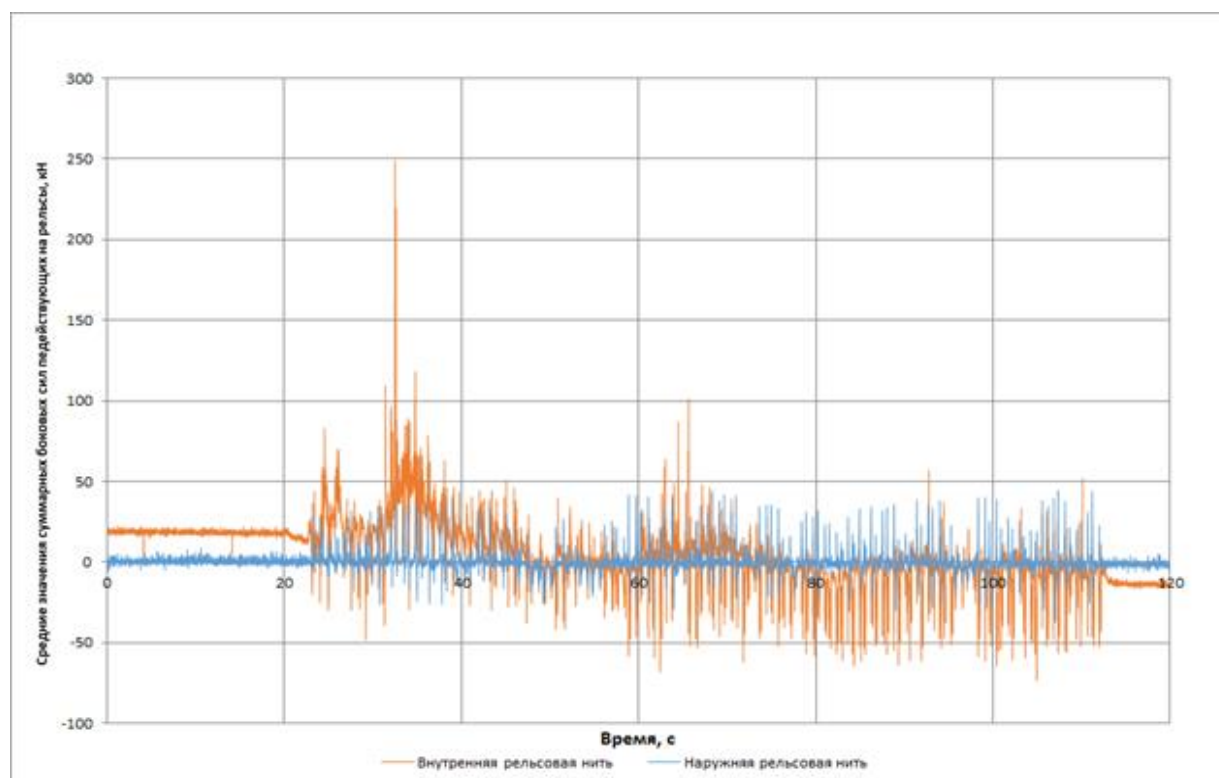


Рис. 3. Образец осциллограммы суммарных боковых сил, действующих на рельс, вес состава 6 266 т, нагрузка на ось 24,8 т, проход вагона 5 180 км, скорость движения 37 км/ч

Fig. 3. Sample waveforms of the total lateral forces acting on the rail, train weight is 6,266 tons, axle load is 24.8 tons, car run is 5,180 km, speed is 37 km / h

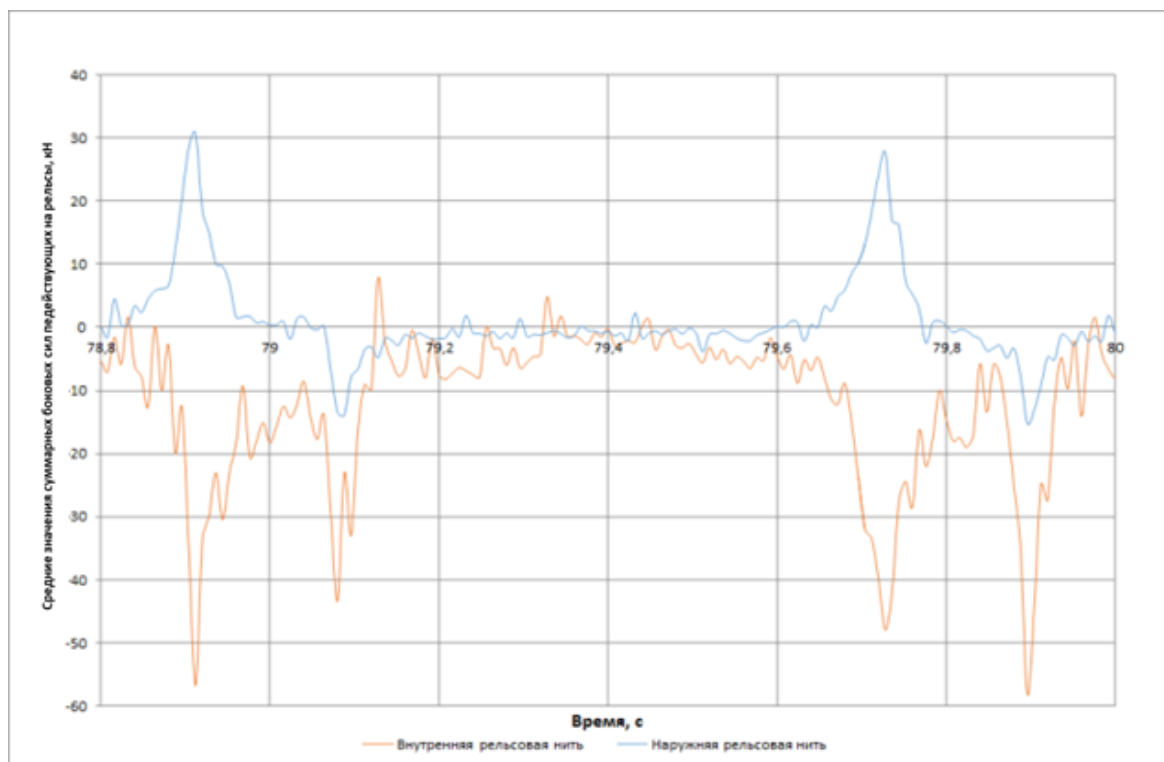


Рис. 4. Образец осциллограммы суммарных боковых сил, действующих на рельс, вес состава 6 266 т, нагрузка на ось 24,8 т, проход вагона 5 180 км, скорость движения 37 км/ч
Fig. 4. Sample waveforms of the total lateral forces acting on the rail, train weight is 6,266 tons, axle load is 24.8 tons, car run is 5,180 km, speed is 37 km / h

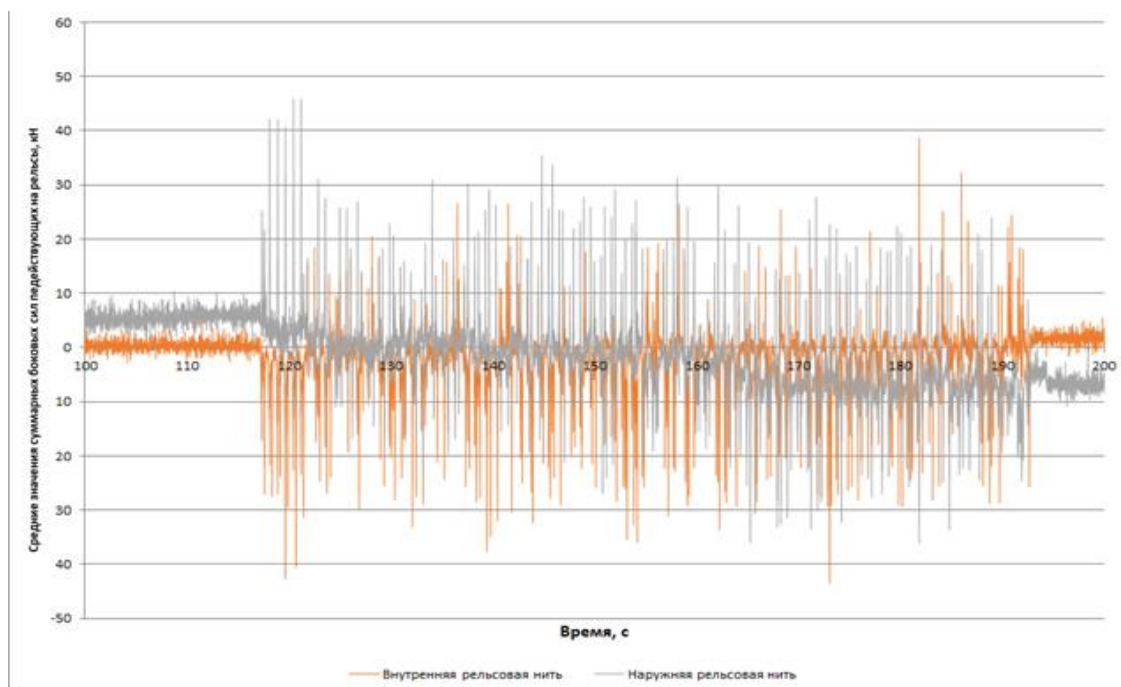


Рис. 5. Образец осциллограммы суммарных боковых сил, действующих на рельс, вес состава 6 255 т, нагрузка на ось 22,3 т, проход вагона 5 192 км, скорость движения 47 км/ч
Fig. 5. A sample waveform of the total lateral forces acting on the rail, train weight is 6,255 tons, axle load is 22.3 tons, car run is 5,192 km, speed is 47 km / h

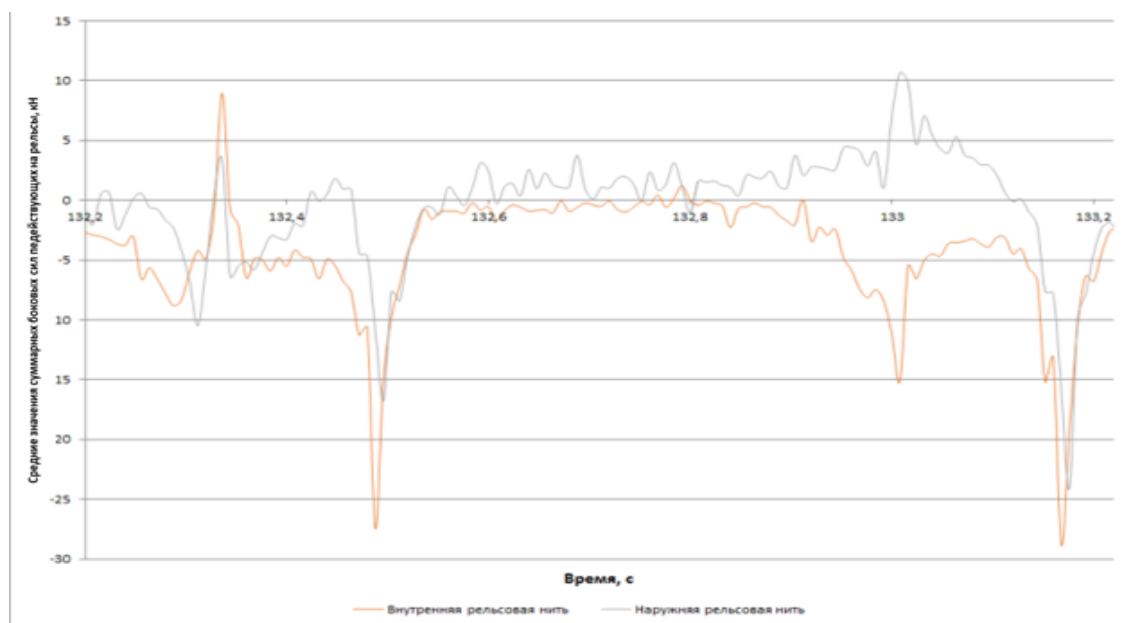


Рис. 6. Образец осциллограммы суммарных боковых сил, действующих на рельс, вес состава 6 255 т, нагрузка на ось 22,3 т, проход вагона 5 192 км, скорость движения 47 км/ч

Fig. 6. Sample waveforms of the total lateral forces acting on the rail, train weight is 6,255 tons, axle load is 22.3 tons, car run is 5,192 km, speed is 47 km / h

Таблица 2. Образец экспериментальных значений суммарных боковых сил, действующих на рельс*
Table 2. Sample of experimental values of the total lateral forces acting on the rail *

Показатель	Суммарные боковые силы, действующие на рельс, кН	
	Наружная нить	Внутренняя нить
Среднее значение	38,82	56,36
Стандартная ошибка	0,67	0,99
Стандартное отклонение	2,68	4,94
Экссесс	-1,09	-0,60
Асимметричность	0,04	0,66
Интервал	8,57	17,17
Минимум	35,07	50,23
Максимум	43,64	67,39
Уровень надежности (95 %)	1,43	2,04

* Вес состава 6 266 т, нагрузка на ось 24,8 т, проход вагона 5 180 км, скорость движения 37 км/ч

Таблица 3. Образец экспериментальных значений суммарных боковых сил, действующих на рельс*
Table 3. Sample of experimental values of the total lateral forces acting on the rail *

Показатель	Суммарные боковые силы, действующие на рельс, кН	
	по наружной нити	по внутренней нити
Среднее	24,44	29,17
Стандартная ошибка	1,08	0,51
Стандартное отклонение	7,64	3,60
Экссесс	1,20	3,67
Асимметричность	1,14	1,65
Интервал	30,67	18,04
Минимум	15,13	25,12
Максимум	45,80	43,16
Уровень надежности (95,0%)	2,17	1,02

* Вес состава 6 255 т, нагрузка на ось 22,3 т, проход вагона 5 192 км, скорость движения 47 км/ч

По представленным данным (см. табл. 2, 3) были построены графики зависимости боковых сил, возникающих в рельсах при проходе подвижного состава по пути, от нагрузок на ось (рис. 7, 8).

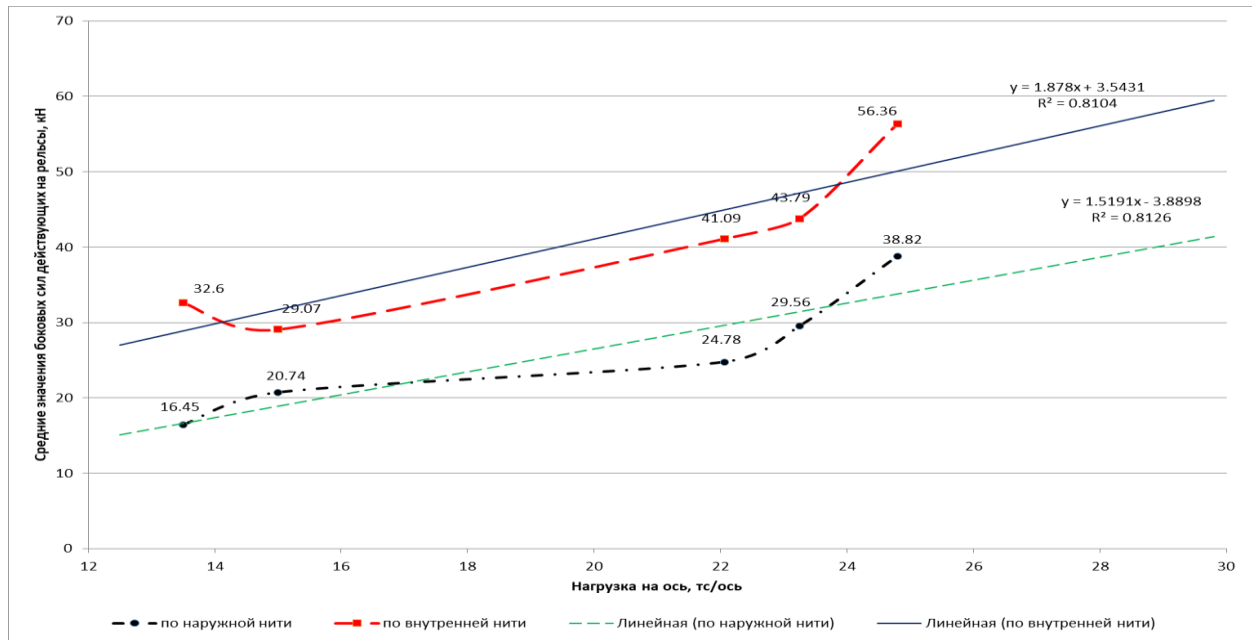


Рис. 7. График зависимости суммарных боковых сил, действующих на рельс, от осевой нагрузки на 5 180 км (первый экспериментальный участок, подъем 3,7 ‰)

Fig. 7. The graph of the dependence of the total lateral forces acting on the rail, from the axial load of 5,180 km (first experimental section, the elevation of 3.7 ‰)

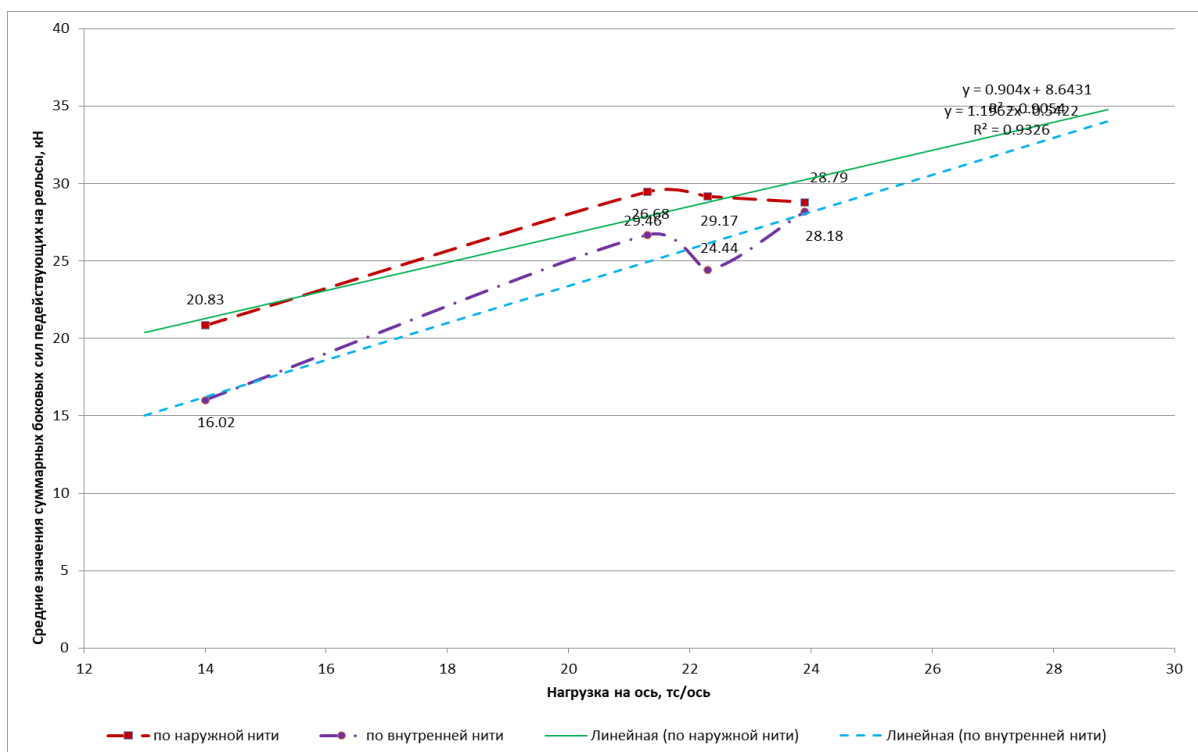


Рис. 8. График зависимости суммарных боковых сил, действующих на рельс, от осевой нагрузки на 5 192 км (второй экспериментальный участок, спуск 4,9 ‰)

Fig. 8. The graph of the dependence of the total lateral forces acting on the rail, from the axial load of 5 192 km (second experimental section, the descent is 4.9 ‰)

Таблица 4. Экспериментальные значения суммарных боковых сил, действующих на рельс
Table 4. The experimental values of the total lateral forces acting on the rail

Вес поезда, т	Осевая нагрузка, т/ось	Скорость прохода, км/ч	Средние суммарные боковые силы действующие на наружную нить, кН	Средние суммарные боковые силы действующие на внутреннюю нить, кН
Первый участок 5180 км, подъем 3,7‰				
6266	24,8	37	38,82	56,36
6331	23,25	36	29,56	43,79
6265	22,06	54	24,78	41,09
2429	13,05	25	16,45	32,6
3806	15	31	20,74	29,07
Второй участок, 5192 км, спуск 4,9‰				
6255	22,3	47	29,17	24,44
5449	21,3	18	29,46	26,68
2537	14	24	20,83	16,02
5969	21,6	51	22,2	13,64
6220	23,9	46	28,79	28,18

Заключение

По результатам проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. На подъеме боковые силы, действующие на рельсы, от груженых вагонов по внутренней нити выше, чем по наружной, в 1,45–1,65 раз. На спуске ситуация обратная – силы на наружную нить в 1,02–1,62 раза больше, чем на внутреннюю. Такая разница объясняется тем, что фактическая скорость движения подвижного состава меньше расчетной. Так, установленная скорость на экспериментальных участках 60 км/час, фактическая скорость движения составила всего 18–54 км/ч, что не соответствует расчетному возвышению наружного рельса. Все это приводит к неравномерному распределению нагрузок на рельсовые нити.

2. С увеличением осевой нагрузки возрастают и боковые силы, действующие на рельсы. На подъеме силы при увеличении осевой нагрузки с 13,5 до 25 т/ось, увеличились в 1,7 раза, на спуске в 1,4 раза. По прогнозным расчетам при обращении подвижного состава с осевой нагрузкой 27 т/ось силы могут возрасти в 2 раза.

3. При движении по кривым с одним и тем же радиусом и одинаковой скоростью влияние поездов на путь на подъеме и спуске оказалось различным. Если сравнивать боковые усилия, действующие на рельсы, возникшие на этих участках, то силы на подъеме оказались выше по внутренней нити, а на спуске – по наружной [14]. Объясняется это тем, что на подъеме поезда следуют в режиме тяги. На таких участках возникают дополнительные растягивающие силы, которые вызывают повышение боковых и вертикальных сил, передаваемых от колес подвижного состава на рельсы наружной нити; при движении на спуск в межвагонном соединении присутствуют сжимающие силы, которые преобразуются в боковые усилия, давящие на наружную нить [15].

4. В результате эксперимента не удалось снять показания под поездом, двигающимся с установленной скоростью, но два прохода были довольно близки к целевым показателям: 54 км/ч на подъеме и 51 км/ч на спуске. В результате получили, что на участке подъема из-за наличия растягивающих сил усилие на внутреннюю нить в 1,65 раз превышает усилие на внешнюю; на участке спуска из-за наличия сжимающих напряжений усилие на наружную нить в 1,63 раза больше, чем на внутреннюю. Таким образом, получаем, что в обоих случаях возвышение наружного рельса не обеспечивает равномерного распределения давления на нити, и для уравнивания требуется уменьшение возвышения на участке подъема и его увеличение на участке спуска. Поэтому при дальнейшем проектировании железнодорожного пути существующая методика расчета возвышения наружного рельса в кривых нуждается в доработке с учетом профиля линии и режимов движения подвижного состава.

Таблица 5. Суммарные боковые силы

Table 5. Total lateral forces

Показатель	Участок									
	Первый, 5 180 км, подъем 3,7 ‰					Второй, 5 192 км, спуск 4,9 ‰				
Вес поезда, т	6 266	6 331	6 265	2 429	3 806	6 255	5 449	2 537	5 969	6 220
Осевая нагрузка т / ось	24,8	23,3	22,1	13,1	15,0	22,3	21,3	14,0	21,6	23,9
Скорость прохода, км/ч	34	36	54	25	31	47	18	24	51	46
Средние суммарные боковые силы, действующие на наружную нить, кН	38,82	29,56	24,78	16,45	20,74	29,17	29,46	20,83	22,20	28,79
Средние суммарные боковые силы, действующие на внутреннюю нить, кН	56,36	43,79	41,09	32,60	29,07	24,44	26,68	16,02	13,64	28,18

Список литературы

1. Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года / Новая Редакция / Утверждена распоряжением Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. № 1734-р (в редакции распоряжения Правительства РФ от 11 июня 2014 г. № 1032-р [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6396. (Дата обращения: 12.05.2019).
2. О стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года / Распоряжение Правительства РФ от 17 июня 2008 г. [Электронный ресурс] // URL: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru/RU?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5105&refererLayerId=5104&id=3997&print=1. (Дата обращения: 12.05.2019).
3. Стратегия инновационного развития ОАО «РЖД» на период до 1015 года (Белая книга ОАО «РЖД») / Утверждена советом директоров ОАО «РЖД» от 24.06.2011. [Электронный ресурс] // URL: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=4038. (Дата обращения: 12.05.2019).
4. Ресельс А.П. Проблемы путевого хозяйства при реализации тяжеловесного движения на Восточном полигоне [Текст] / А.П. Ресельс, Е.В. Филатов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы Восьмой Междунар. науч.-практ. конф., 28 марта – 01 апреля 2017 г. Иркутск : в 2 т. – Иркутск : ИрГУПС, 2017. – Т. 1. С. 630–634.
5. Филатов Е.В. Определение сил продольного трения скольжения системы колесо – рельс в кривых участках пути [Текст] / Е.В. Филатов, М.И. Ибрагимов, Д.Г. Семенович // Проектирование развития региональной сети железных дорог : сб. науч. тр. / под ред. В.С. Шварцфельда. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2014. Вып. 2. – С. 175–182.
6. Ресельс А.П. Роль возвышения наружного рельса во взаимодействии подвижного состава и пути [Текст] / А.П. Ресельс, Е.В. Филатов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы девятой Междунар. науч.-практ. конф., 10–13 апреля 2018 г. Иркутск : в 2 т. – Иркутск : ИрГУПС, 2018. – Т. 1. С. 594–599.
7. Покацкий К.В. Методы определения боковых сил // Проблемы путевого хозяйства Восточной Сибири: сб. науч. Тр. Иркутск, 2005. 208 с.
8. Акимов Д.В. Оценка влияния тяжеловесных грузовых поездов на конструкции верхнего строения пути [Текст] / Д.В. Акимов, Е.В. Филатов // Наука и молодежь: сб. тр. Второй Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Иркутск : ИрГУПС, 2016. – С. 319–325.
9. Устройство, проектирование и расчеты рельсовой колеи : конспект лекций. В 2 ч. Ч. 2 / Л.Л. Севостьянова. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2010. – 82 с.
10. Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения. Конструкция и содержание железнодорожной инфраструктуры / пер. с англ. под ред. С.М. Захарова. – М.: Интекст, 2012. С. 53–65.
11. Шахуняц Г.М. Железнодорожный путь: учеб. для вузов ж.-д. трансп. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1987. С. 28–32.
12. Непомнящих Е.В., Кирпичников К.А. Диагностика состояния железнодорожного пути и его элементов. Чита : ЗаБИЖТ, 2012. 109 с.
13. Стоянович Г.М. Расчеты верхнего строения пути на прочность и устойчивость : курс лекций. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2013. 79 с.
14. Ковенькин Д.А. Повышение стабильности ширины рельсовой колеи в кривых участках пути [Текст] / Д.А. Ковенькин, В.А. Покацкий, А.С. Лысак // Самара: СамГУПС, 2009. – С. 128.
15. Филатов Е.В. Определение уровня силового воздействия от подвижного состава на конструкцию бесстыкового пути в условиях горно-перевального участка ВСЖД [Текст] / Е.В. Филатов, Л.С. Дюндик, А.Г. Габитов // Проектирование развития региональной сети железных дорог : сб. науч. тр. / под ред. В.С. Шварцфельда. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2013. Вып. 1. – С. 162–170.

References

1. Transportnaya strategiya RF na period do 2030 goda. Novaya Redaktsiya. Utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 22 noyabrya 2008 g. № 1734-r (v redaktsii rasporyazheniya Pravitel'stva RF ot 11 iyunya 2014 g. No. 1032-r [Transport strategy of the Russian Federation for the period until 2030. New Edition. Approved by order of the Government of the Russian Federation dated November 22, 2008 No. 1734-r (as amended by the order of the Government of the Russian Federation of June 11, 2014 No. 1032-r)]. URL: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6396. (Access date: May 12, 2019).
2. O strategii razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossiiskoi Federatsii do 2030 goda. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 17 iyunya 2008 g. [On the strategy for the development of railway transport in the Russian Federation until 2030. Order of the Government of the Russian Federation dated June 17, 2008]. URL: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru/RU?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5105&refererLayerId=5104&id=3997&print=1. (Access date: May 12, 2019).
3. Strategiya innovatsionnogo razvitiya ОАО «RZhD» na period do 1015 goda (Belaya kniga ОАО «RZhD»). Utverzhdena sovetom direktorov ОАО «RZhD» ot 24.06.2011. [Innovation Development Strategy of Russian Railways for the period up to 1015 (White Paper of Russian Railways). Approved by the Board of Directors of Russian Railways on Jun 24, 2011]. URL: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=4038. (Access date: May 12, 2019).
4. Resel's A.P., Filatov E.V. Problemy putevogo khozyaistva pri realizatsii tyazhelovesnogo dvizheniya na Vostochnom poligone [Problems of track facilities in the implementation of heavy traffic at the Eastern polygon]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona: materialy Vos'moi Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 28 marta – 01 aprelya 2017 g. Irkutsk : v 2 t. [Transport infrastructure of the Siberian region: materials of the Eighth Intern. scientific-practical conf., March 28 - April 01, 2017 Irkutsk: in 2 vols.]*. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2017, Vol. 1, pp. 630–634.
5. Filatov E.V., Ibragimov M.I., Semenovich D.G. Opredelenie sil prodol'nogo treniya skol'zheniya sistemy kolесо – rel's v krivykh uchastkakh puti [Determination of the longitudinal sliding friction forces of the wheel - rail system in the curved sections of

the track]. *Proektirovanie razvitiya regional'noi seti zheleznykh dorog : sb. nauch. tr. [Designing the development of a regional railway network: Coll. of scientific papers]*. In Shvartsfel'd V.S. (ed.) Khabarovsk : DVGUPS Publ., 2014, Iss. 2, pp. 175–182.

6. Resel's A.P., Filatov E.V. Rol' vozvysheniya naruzhnogo rel'sa vo vzaimodeistvii podvizhnogo sostava i puti [The role of the elevation of the outer rail in the interaction of rolling stock and track]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona : materialy devyatoi Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 10–13 aprelya 2018 g. [Transport infrastructure of the Siberian region: materials of the ninth Intern. scientific-practical conf., April 10–13, 2018]*. Irkutsk: in 2 vols. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2018, Vol. 1, pp. 594–599.

7. Pokatskii K.V. Metody opredeleniya bokovykh sil [Methods of determining lateral forces]. *Problemy putevogo khozyaistva Vostochnoi Sibiri: sb. nauch. tr. [Problems of track economy of Eastern Siberia: collection of scientific papers]*. Irkutsk, 2005, 208 p.

8. Akimov D.V., Filatov E.V. Otsenka vliyaniya tyazhelovesnykh gruzovykh poezdov na konstruktssii verkhnego stroeniya puti [Assessment of the influence of heavy freight trains on the structure of the track's upper structure]. *Nauka i molodezh': sb. tr. Vtoroi Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh [Science and Youth: Coll. of works of The Second All-Russian Scientific and Practical Conference of students, graduate students and young scientists]*. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2016, pp. 319–325.

9. Sevost'yanova L.L. Ustroistvo, proektirovanie i raschety rel'sovoi kolei: konspekt lektsii [The device, design and calculation of the rail track: lecture notes]. In 2 parts. Part 2. Khabarovsk: DVGUPS Publ., 2010, 82 p.

10. Harris W.J., Zakharov S.M., Landgren G., Tourne H. Generalization of the best practices of heavy traffic. Questions of interaction of a wheel and a rail. Moscow: Intext Publ., 2002, 408 p. (Russ. ed.: Obobshchenie mirovogo opyta tyazhelovesnogo dvizheniya. Konstruktsiya i sodержание zheleznodorozhnoi infrastruktury. Transl. from English under the ed. of S.M. Zakharov. Moscow: Intext Publ., 2012, pp. 53–65).

11. Shakhun'yants G.M. Zheleznodorozhnyi put': ucheb. dlya vuzov zh.-d. transp. [Railway track: a textbook for railway transp. universities]. 3rd ed., revised and updated. Moscow: Transport Publ., 1987, pp. 28–32.

12. Nepomnyashchikh E.V., Kirpichnikov K.A. Diagnostika sostoyaniya zheleznodorozhnogo puti i ego elementov [Diagnostics of the condition of the railway track and its elements]. Chita: ZabIZhT Publ., 2012, 109 p.

13. Stoyanovich G.M. Raschety verkhnego stroeniya puti na prochnost' i ustoichivost' : kurs lektsii [Calculations of the upper structure of the track for strength and stability: a course of lectures]. Khabarovsk: DVGUPS Publ., 2013, 79 p.

14. Koven'kin D.A., Pokatskii V.A., Lysak A.S. Povyshenie stabil'nosti shiriny rel'sovoi kolei v krivykh uchastkakh puti [Improving the stability of the rail gauge in the curved sections of the track]. Samara: SamGUPS Publ., 2009, pp. 128.

15. Filatov E.V., Dyundik L.S., Gabitov A.G. Opredelenie urovnya silovogo vozdeistviya ot podvizhnogo sostava na konstruktssiyu besстыkovogo puti v usloviyakh gorno-pereval'nogo uchastka VSZhD [Determination of the level of force impact from rolling stock on the construction of a continuous joint track in the conditions of the mountain pass section of the East-Siberian Railway]. *Proektirovanie razvitiya regional'noi seti zheleznykh dorog : sb. nauch. tr. [Designing the development of a regional railway network: coll. of scientific papers]*. In Shvartsfel'd V.S. (ed.) Khabarovsk: DVGUPS Publ., 2013, Iss. 1, pp. 162–170.

Информация об авторах

Ресель Александр Павлович – аспирант кафедры пути и путевого хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: aresels@yandex.ru

Филатов Евгений Валерьевич – к. т. н., доцент кафедры пути и путевого хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: filatov@irgups.ru

Ковенькин Дмитрий Александрович – к. т. н., заведующий кафедрой пути и путевого хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: kovenkin_pph@irgups.ru

Баранов Тимофей Михайлович – к. т. н., доцент кафедры строительства железных дорог, мостов и тоннелей, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: baranov-87@yandex.ru.

Information about the authors

Aleksandr P. Resel's – Ph.D. student of the Subdepartment of Track and Track Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: aresels@yandex.ru

Evgenii V. Filatov – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Subdepartment of Track and Track Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: filatov@irgups.ru

Dmitrii A. Koven'kin – Ph.D. in Engineering Science, Head of the Subdepartment of Track and Track Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kovenkin_pph@irgups.ru

Timofei M. Baranov – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Subdepartment of Construction of Railways, Bridges and Tunnels, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: baranov-87@yandex.ru.

DOI 10.26731/1813-9108.2020.1(65).84-92

УДК 656.22.072 – 5 + 06

Инновационный подход к развитию пассажирской транспортной инфраструктуры юга России

И. Н. Егорова✉

Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ egorova_irina01@mail.ru