

the railway transport of requirements of the strategies of national safety and scientifically-technological evolution of Russia]. Bulletin' ob'edinennogo uchenogo soveta [Bulletin of the Joint Scientific Council of the Russian Railways], 2018, No. 2, pp. 1–13.

9. Anardovich S.S., Rush E.A., Smolkin I.S. Prognozirovanie vozmozhnykh chrezvychaynykh situatsii pri zheleznodorozhnykh perevozkakh nefteproduktov [Prediction of possible emergencies during the railway transportation of petroleum products]. Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona: materialy Devyatoi mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. [The Transport Infrastructure of the Siberian Region: materials of the Ninth Int. scientific and practical conf.]. Irkutsk : in two parts : IrGUPS Publ., 2018, Vol. 1, pp. 247–251.

10. Anardovich S.S., Rush E.A. Analiz metodov prognozirovaniya riska pri ekspluatatsii zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava [Analysis of methods for predicting risk during the operation of railway rolling stock]. 115 let zheleznodorozhnomu obrazovaniyu v Zabaykal'e: Obrazovanie – Nauka – Prouzvodstvo: materialy vserossiyskoi nauchn.-prakt. konf. [115 years of railway education in Zabaykalye: Education – Science – Production: materials of the all-Russian scientific and practical conf.]. Chita: in two parts. ZaBIZhT IrGUPS Publ., Part 2, pp. 97–103.

11. Sultanov R.M., Ibatullina L.A. Prognozirovanie chrezvychaynykh situatsii pri transportirovke nefteproduktov zheleznodorozhnym transportom [Emergency prediction for railway transportation of petroleum products] Problemy sbora, podgotovki i transporta nefii i nefteproduktov [Problems of gathering, treatment and transportation of oil and oil products], 2017, No. 1 (107), pp. 176–185.

12. klassifikatsii chrezvychaynykh situatsii prirodnogo i tekhnogennogo kharaktera [On the classification of natural and man-made emergencies]. Postanovlenie pravitel'stva RF [Government Decree of the Russian Federation], 2007 [Electronic media]. URL: <https://base.garant.ru/12153609/>. Accessed Jan 24, 2019.

13. Edinaya mezhdvdomstvennaya metodika otsenki usherba ot chrezvychaynykh situatsii tekhnogennogo, prirodnogo i terroristicheskogo kharaktera, a takzhe klassifikatsii i ucheta chrezvychaynykh situatsii [Unified interdepartmental methodology for assessing damage from emergency situations of anthropogenic, natural and terrorist nature, as well as classification and accounting of emergency situations], 2004 [Electronic media]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_325708/. Accessed: December 07, 2019.

14. Ob utverzhenii metodicheskikh rekomendatsii po raschetu usherba ot transportnykh proishestvii i inykh sobytii, svyazannykh s narusheniem pravil bezopasnosti dvizheniya i ekspluatatsii zheleznodorozhnogo transporta v OAO "RZhD". Rasporyazhenie OAO "RZhD" [On the approval of the Methodological recommendations for calculating damage from traffic accidents and other events related to violation of safety rules for the movement and operation of rail transport in the Russian Railways OAO. The Order of The Russian Railways], 2018 [Electronic media]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_325708/. Accessed February 18, 2020

15. 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 Electro-technical University], 2015, No. 2, pp. 46–51.

16. Bel'skaya E.N., Brazgovka O.V., Sugak E.V. Metodika rascheta ekologicheskikh riskov [Method of calculation the environmental risks]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education], 2014, No. 6. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_22877087_37617928.pdf. Accessed March 01, 2020.

17. Musaev V.K., Udaeva O.S., Shvartsburg L.E., Aksenov V.A., Khachatryan S.A. Analiz riska dlya otsenki bezopasnosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Risk analysis for the safety assessment of complex technical systems]. Nauka i tekhnika transporta [Science and technology in transport], 2016, No. 3, pp. 56–59.

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 10.26731/1813-9108.2020.2(66).128-136

УДК 625.11

Оценка характеристик собственных колебаний железнодорожного пути под подвижным составом

К. П. Селедцов, Г. Г. Грузин, О. В. Мельниченко, А. Ю. Портной, А. О. Линьков✉

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

✉ linkovalex@mail.ru

Резюме

Статья посвящена исследованию параметров вибрации рельсового пути под элементами подвижного состава. Одной из проблем рельсового пути является его расширение и сжатие, вызываемое изменением температуры рельса, стыковыми

сопротивлениями, погонными сопротивлениями и температурными перемещениями его сечения, что приводит к созданию дополнительных напряжений в рельсах. Значимость проблемы существенно возросла при переходе от рельсов длиной 25 м к бесстыковым сварным рельсам длиной до 800 м. При этом в настоящее время отсутствуют способы замера растягивающих усилий рельсового пути, результаты которых являлись бы наиболее достоверными и имели малую восприимчивость к влиянию внешних факторов. В статье рассматривается задача определения внутренних напряжений рельсового пути с использованием расчетного и экспериментального подходов, анализируется метод измерения напряжений растяжения и сжатия рельса путем использования способа исследования изменений резонансных частот. В результате изготовлено полноразмерное устройство, позволяющее создавать колебания в рельсовой плети, снимать амплитудно-частотную характеристику этих колебаний и по ней определять резонансные частоты, на основании которых можно сделать вывод о силах растяжения или сжатия, действующих внутри рельса. Приведены результаты исследования амплитуды вибрации, возникающей на рельсах полноразмерного макета железнодорожного пути, при сжимающих и растягивающих усилиях (на математической модели) и при их отсутствии (на математической и физической моделях).

Ключевые слова

электроподвижной состав, железнодорожный путь, вибрационное воздействие, напряжение рельса, тяга поездов

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ОАО «РЖД» в рамках научного проекта №17-20-01059/18 от 27.11.2018.

Для цитирования

Селедцов К.П. Оценка характеристик собственных колебаний железнодорожного пути под подвижным составом / К.П. Селедцов, Г.Г. Грузин, О.В. Мельниченко, А.Ю. Портной, А.О. Линьков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – Т. 66 № 2. – С. 128–136. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.2(66).128-136

Информация о статье

поступила в редакцию: 23.01.2020, поступила после рецензирования: 14.02.2020, принята к публикации: 20.03.2020

Estimation of characteristics of natural oscillations of railway track under the rolling stock

K. P. Seledtsov, G. G. Gruzin, O. V. Mel'nichenko, A. Yu. Portnoi, A. O. Lin'kov✉

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ linkovalex@mail.ru

Abstract

This paper defines the concept of the stability of the transportation process, presents the correlation of the stability and vulnerability criteria of the transportation process in an emergency and lists the main signs of an emergency. It considers the concept of risk and gives approaches to its quantitative determination. The article describes the structure of objects of railway transport, which depends on the scale of the consequences arising from the violation of their functioning. It substantiates the importance of forecasting when transporting dangerous goods. It is noted that applying damage assessment in forecasting and preventing emergencies is effective. The authors study the methods for determining the damage of the Ministry of Emergencies of Russia, of the Russian Railways, and the private method of determining environmental risks based on the damage determination. In accordance with the Unified Interdepartmental Methodology for Assessing Damage from Emergencies, it is proposed to calculate the total economic damage by combining direct and indirect environmental damage. It is assumed that the determination of physical parameters is carried out separately for each of the industries using their own methods. Guidelines for calculating damage from traffic accidents is the simplest, but at the same time does not have sufficient capabilities to calculate damage from emergencies. The most complete one seems to be the methodology for calculating environmental risks, which make it possible to quantify risk and make managerial decisions both in terms of minimizing the likelihood of hazard factors and in reducing environmental damage if they occur. The conclusion about the selection criteria for damage assessment methods is made.

Keywords

electric rolling stock, railway track, vibration impact, rail stress, traction of trains

Acknowledgements

The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research and Russian Railways ОАО as part of the scientific project No. 17-20-01059 / 18 dated 11/27/2018.

For citation

Seledtsov K.P., Gruzin G.G., Mel'nichenko O.V., Portnoi A.Yu., Lin'kov A.O. Otsenka kharakteristik sobstvennykh kolebaniy zheleznodorozhnogo puti pod podvizhnym sostavom [Estimation of characteristics of natural oscillations of railway track under the rolling stock]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, Vol. 66, No. 2, pp. 128–136. DOI: 10.26731/1813-9108.2020.2(66).128-136

Article info

Received: 23.01.2020, Revised: 14.02.2020, Accepted: 20.03.2020

Введение

На сегодняшний день одной из приоритетных задач в сфере железнодорожного транспорта является увеличение грузопотока железных дорог [1]. Однако увеличение грузопотока усложняет условия эксплуатации подвижного состава и рельсового пути [2, 3]. При этом на путь, помимо массы подвижного состава, влияет множество других факторов [4–6]. Одной из проблем рельсового пути является его расширение и сжатие, вызываемое изменением температуры рельса, стыковыми сопротивлениями, погонными сопротивлениями и температурными перемещениями его сечения, что приводит к созданию дополнительных напряжений в рельсах. Это в свою очередь может привести к выбросам пути при высоких положительных температурах и его изломам при низких отрицательных температурах [7–9]. При этом распределение этих факторов по длине рельсовой плети и во времени имеет случайный характер. Возможность появления разрывов пути снижает безопасность движения на российских железных дорогах, особенно при организации скоростного и тяжеловесного движений. В этих условиях появляется необходимость контролировать продольно-напряженное состояние рельсового пути с целью определения границы нагрузок на путь при организации безопасного скоростного и тяжеловесного движения [10–13].

При всем многообразии имеющихся моделей и методов расчета напряженности бесстыкового пути [14] в настоящее время отсутствуют способы замера растягивающих усилий рельсового пути, результаты которых являлись бы наиболее достоверными и

имели малую восприимчивость к влиянию внешних факторов.

Для определения границы нагрузок на путь с помощью измерения собственных колебаний пути [15, 16] приоритетным является создание математической модели, позволяющей определить остаточную деформацию рельсового пути с учетом влияния действующих на него факторов. Однако создание математической модели ставит ряд вопросов о том, как рассматривать энергию колебаний рельсового пути и диссипацию этой энергии при эксплуатации подвижного состава.

Исследование колебаний

В данной работе рассматриваются колебания полноразмерного макета пути под элементами подвижного состава с использованием расчетного и экспериментального подходов. Исследование характеристик колебаний проводилось в рамках работы по определению внутренних напряжений рельсового пути. Экспериментальный подход основан на создании устройства, вызывающего колебания рельса, по характеристикам которых определяются растягивающие и сжимающие усилия, действующие на рельс. Расчетный метод основан на создании математической конечно-элементной модели рельсового пути для моделирования нагрузок на рельс и оценки создаваемых колебаний.

Экспериментальный подход

Представлена функциональная схема устройства создания и измерения вибраций (рис. 1).

Изготовленное устройство представляет собой

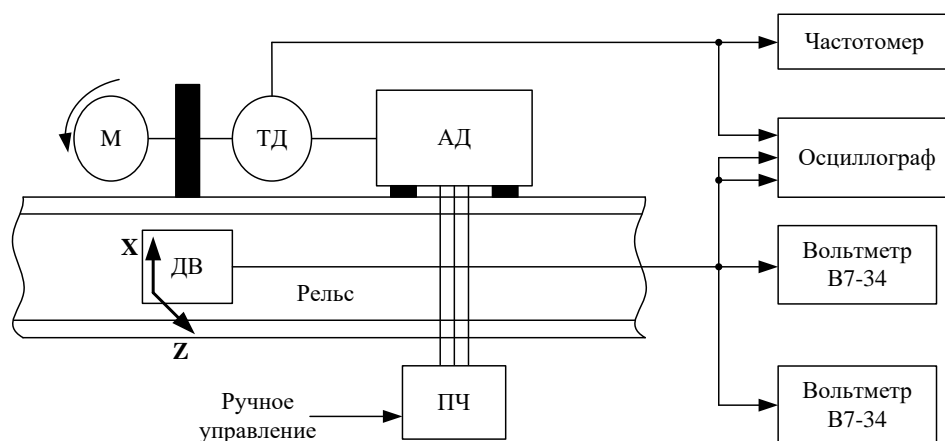


Рис. 1. Функциональная схема устройства создания и измерения вибраций:

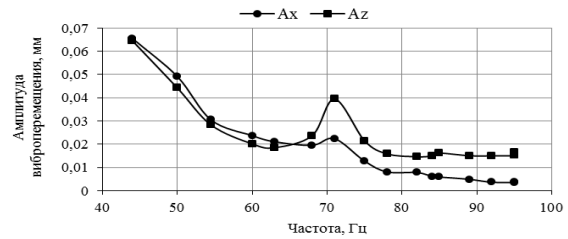
M – маховик с грузом для создания дисбаланса; AD – асинхронный двигатель; $ПЧ$ – преобразователь частоты; $DВ$ – вибропреобразователь; $ТД$ – датчик оборотов

Fig. 1. Functional diagram of a device for creating and measuring vibrations:

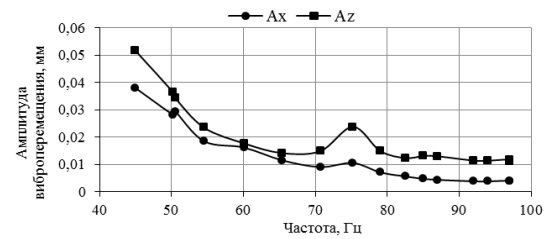
M – flywheel with a load to create an imbalance; AD – asynchronous motor; PCh – frequency converter; DV – vibration transducer; TD – speed sensor

сборно-сварную конструкцию (рис. 2), состоящую из основания 1, жестко закрепленного на рельсе 2 при помощи приваренных с обеих сторон уголков 3 и скоб 4, соединенных между собой швеллерами 5. С одной стороны, к основанию 1 приварена платформа 6, к которой крепится асинхронный двигатель 7. Вал двигателя через муфту 8 соединен с осью 9. На оси на подшипнике установлена ступица 11, которая крепится к стойке 10, приваренной к основанию 1, тем самым обеспечивая параллельное положение оси относительно основания. На передней части оси жестко закреплен маховик 12 с грузом 13 массой 46 г, который при вращении создает на рельсе поперечную силу с синусоидальным возбуждением. В зоне передней части оси и муфты установлены защитные кожухи 14. Дополнительно для замера вибраций устанавливался вибропреобразователь 16 типа AP-2038-100 (X – вертикальная ось, Z – ось поперек пути) и датчик оборотов 15 типа OMRON E3F2-DS30C4.

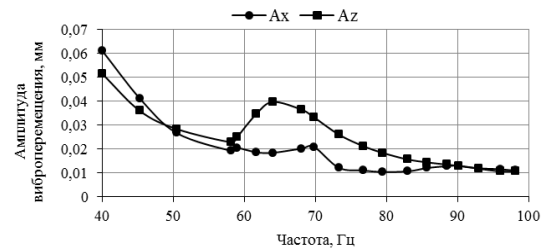
Измерения проводились на участке пути с деревянными и железобетонными шпалами. Устройство создания вибрации устанавливалось под пассажирский вагон и секцию локомотива, которые использовались для ограничения участка колебаний рельсошпальной решетки. Результаты измерений приведены к виброперемещению, возникающему при силе 2,1 кН, и представлены зависимостями амплитуды виброперемещения от частоты (рис. 3).



a



б



в

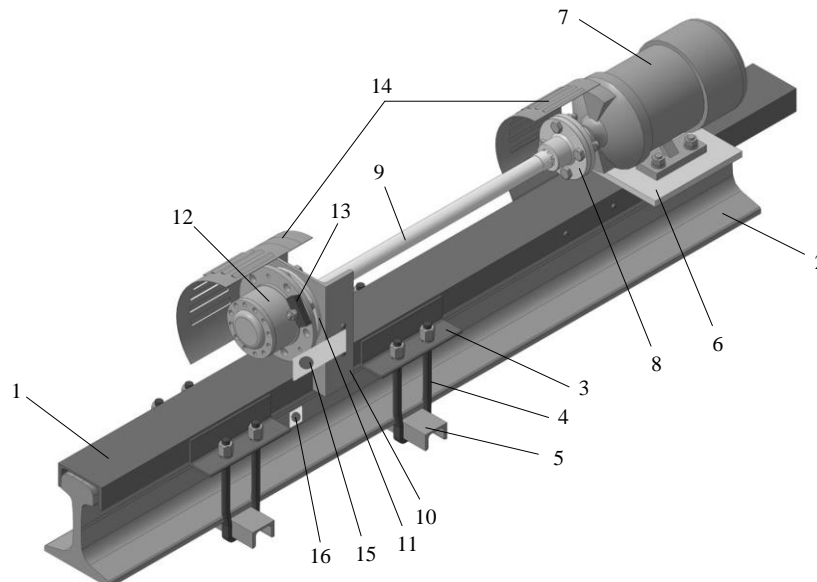


Рис. 2. Устройство по созданию колебаний на рельсе:

1 – основание; 2 – рельс; 3 – уголок; 4 – скоба; 5 – швеллер; 6 – платформа; 7 – асинхронный двигатель; 8 – муфта; 9 – ось; 10 – стойка; 11 – ступица; 12 – маховик; 13 – груз; 14 – защитный кожух; 15 – датчик оборотов; 16 – вибропреобразователь

Fig. 2. Device for creating oscillations on the rail:

1 – base; 2 – rail; 3 – angle piece; 4 – bracket; 5 – channel member; 6 – platform; 7 – asynchronous motor; 8 – coupling; 9 – axis; 10 – rack; 11 – spider center; 12 – flywheel; 13 – load; 14 – protective casing; 15 – speed sensor; 16 – vibration transducer

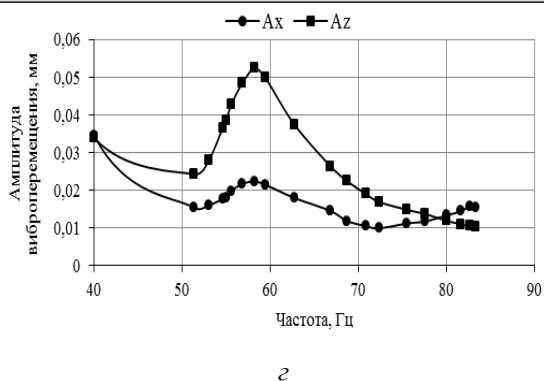


Рис. 3. Зависимость амплитуды виброперемещения от частоты:

a – вагон, железобетонная шпала, правый рельс, нулевое растягивающее усилие; *b* – вагон, железобетонная шпала, левый рельс, нулевое растягивающее усилие; *c* – локомотив, деревянная шпала, правый рельс, нулевое растягивающее усилие; *d* – локомотив, деревянная шпала, левый рельс, нулевое растягивающее усилие

Fig. 3. The dependence of the amplitude of the vibration from frequency:

a – rail car, reinforced concrete sleepers, right rail, zero tensile force; *b* – rail car, reinforced concrete sleeper, left rail, zero tensile force; *c* – locomotive, wooden sleeper, right rail, zero tensile force; *d* – locomotive, wooden sleeper, left rail, zero tensile force

Изготовленное устройство создания вибраций и измерения их характеристик может служить прото-

типом аналогичного устройства для измерения характеристик вибрации, амплитуд резонансов и, следовательно, растягивающих усилий, действующих на рельс в условиях реального пути.

Расчетный подход

Для оценки возможностей математического моделирования и с целью измерения внутренних напряжений, возникающих в рельсе, в программной среде «MSC.Patran» была создана конечно-элементная модель участка железнодорожного пути [17, 18].

При создании математической модели (рис. 4) использовались следующие материалы:

- шпалы железобетонные из тяжелого бетона по ГОСТ 26633 класса прочности на сжатие В40;
- рельс из стали марки К76Ф;
- прокладка резиновая, марка резиновой смеси ПД-РЕ-КОРД.

Детали модели соединялись друг с другом методом «склеивания». Сверху рельсов смитирована нагрузка от вагона, стоящего на пружинах, которые опираются на рельс (8 пружин соответственно числу колес), и задающего граничные условия для колебаний. Дополнительно рельс в центре нагружен поперечной силой 2,1 кН (210 кг·с) с синусоидальным возбуждением до 200 Гц. Ниже представлены амплитудно-частотные характеристики при нагрузке от вагона 40 т и 60 т, полученные в результате вычислений (рис. 5, 6).

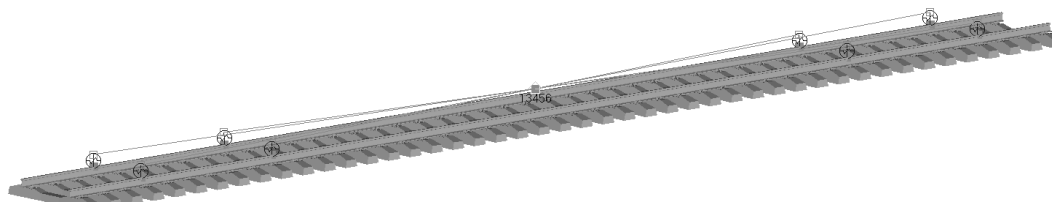


Рис. 4. Участок железнодорожного пути с смитированной нагрузкой от вагона

Fig. 4. A section of a railway track with a simulated load from the rail car

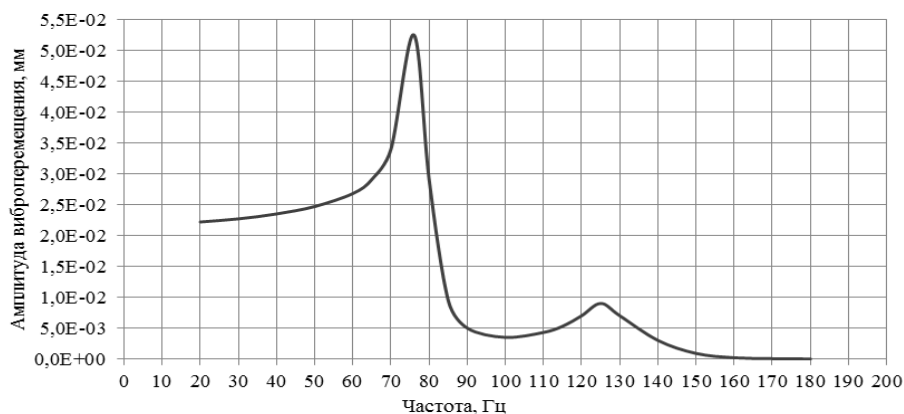


Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика при нагрузке от вагона 40 т

Fig. 5. Amplitude-frequency characteristics with a load of 40 t

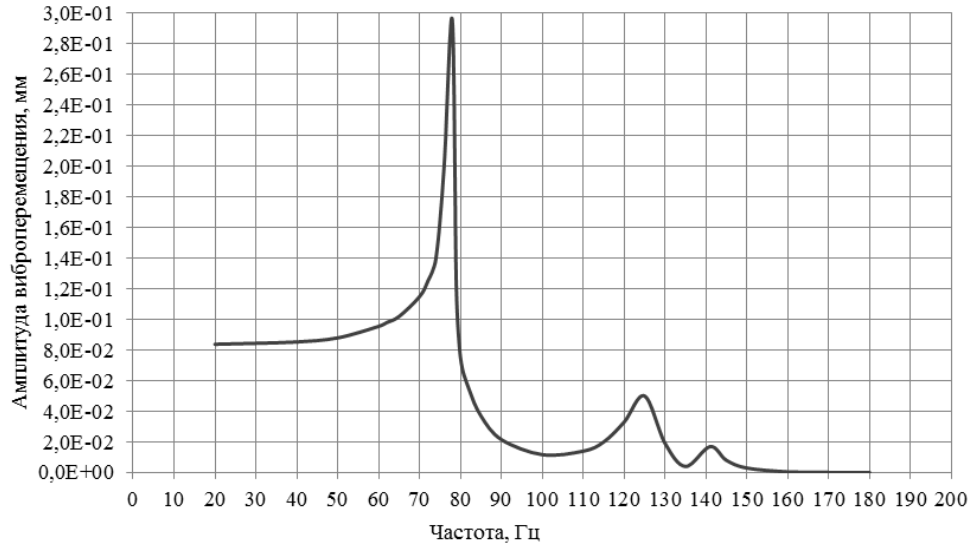


Рис. 6. Амплитудно-частотная характеристика при нагрузке от вагона 60 т
Fig. 6. Amplitude-frequency characteristics with a load of 60 t

При нагрузке от вагона 40 т резонанс происходит при частоте равной 76 и 125 Гц, при нагрузке от вагона 60 т – при частоте равной 78 и 125 Гц.

Далее представлена амплитудно-частотная характеристика при добавлении в расчетную модель

резиновых прокладок между рельсами и шпалами, а также растягивающих и сжимающих усилий (рис. 7). Моделирование производилось при нулевом усилии, а также при сжатии и растяжении рельса с давлением 175 МПа.

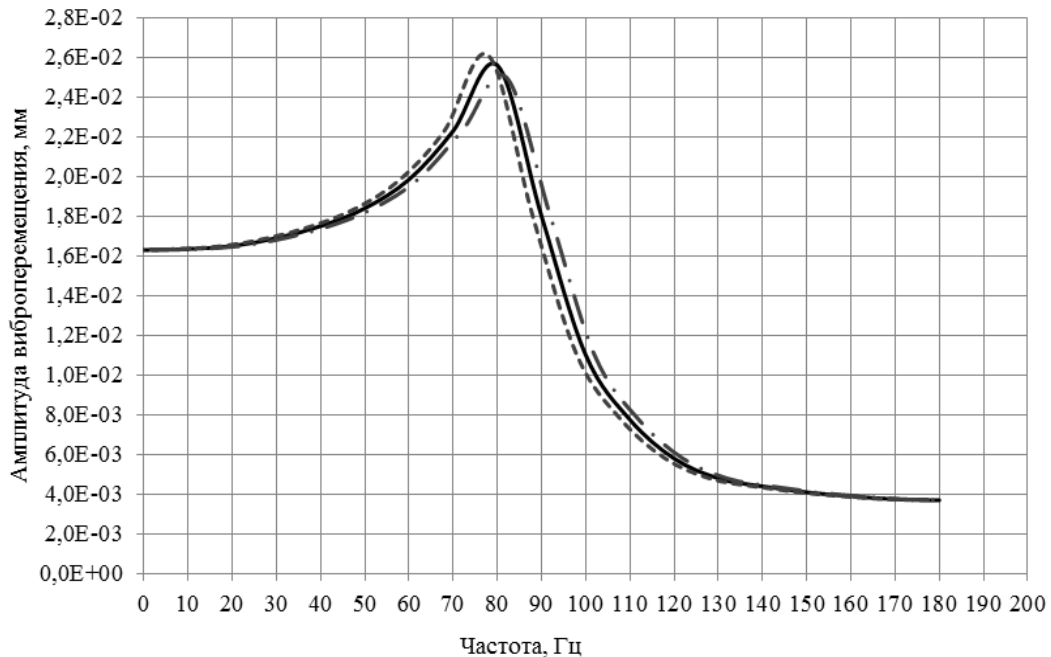


Рис. 7. Амплитудно-частотная характеристика при нагрузке от вагона 40 т с добавлением резиновых прокладок под рельс:
 — — — — — без усилия; - - - - - сжатие на 2 Гц давлением 175 МПа;
 — . — — — — — растяжение на 2 Гц давлением 175 МПа

Fig. 7. Amplitude-frequency characteristics with a load of 40 t from a rail car with the addition of rubber gaskets under the rail:

— — — — — without effort; - - - - - compression at 2 Hz with a pressure of 175 MPa;
 — . — — — — — stretching at 2 Hz with a pressure of 175 MPa

Погрешность между измеренными резонансными частотами в условиях, близких к реальным, и их рассчитанными значениями удовлетворительна и составляет около 5 %. Погрешность между рассчитанными значениями амплитуд виброперемещений и измеренными значениями доходит до 50 % и, соответственно, гораздо больше, чем при моделируемом резонансе частот. Вероятно, амплитуда вибрации на частотах, отличных от резонансной, зависят от процессов поглощения колебаний как в самой рельсошпальной решетке, так и в призме верхнего строения пути. Для случая учета диссипации энергии в призме верхнего строения пути модель требует учета значительного увеличения трудноизмеримых факторов.

Из результатов видно, что частота сдвигается примерно на 2 Гц ($\approx 2,5\%$) при сжатии и растяжении указанным давлением. При этом амплитуды колебаний рельсов, измеренные на полноразмерном макете пути при экспериментальном подходе, отличаются от результатов расчетов гораздо сильнее (до 50 %). Однако при измерении внутренних напряжений этот фактор не имеет особого значения.

При изменении температуры на $\Delta T = 100\text{ }^\circ\text{C}$ (от летней $+50\text{ }^\circ\text{C}$ до зимней $-50\text{ }^\circ\text{C}$) и коэффициенте температурного линейного расширения стали $1,1 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$ относительное расширение стали составит $1,1 \cdot 10^{-3}$, что соответствует возникающему растягивающему давлению в рельсе порядка 200 МПа. Указанное давление возможно определить по измерению частоты собственных колебаний рельса.

Заключение

Для исследования способа измерения внутреннего напряжения рельса, вызванного напряжениями при его укладке и дальнейшими температурными напряжениями, изготовлено устройство создания колебаний рельсового пути и разработана система измерения зависимости амплитуды вибрации рельса от частоты.

Погрешность рассчитанных на математической модели резонансных частот относительно измеренных на реальном участке пути удовлетворительна и составляет около 5 %. Зависимость рассчитанных на математической модели амплитуд колебаний от частоты и полученных экспериментально дает гораздо большую погрешность и составляет до 50 %. При сравнении результатов экспериментального и расчетного подходов видна значительная разница в добротности колебательной системы, что говорит о наличии неучтенных факторов, касающихся диссипации энергии в рассматриваемой колебательной системе. Дальнейшее уточнение модели требует учета этих дополнительных факторов.

В ходе работы показано, что метод измерения напряжений растяжения и сжатия рельса путем использования способа исследования изменений резонансных частот работоспособен.

Продолжение работы должно быть связано со сбором статистической информации о напряженном состоянии рельсовой плети от момента ее изготовления и до замены по предельному износу в эксплуатации, что даст дополнительную информацию для дальнейших исследований.

Список литературы

1. Стратегия научно-технологического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и на перспективу до 2025 года. «Белая книга» / ОАО «РЖД». – М., 2015. – 63 с. Режим доступа: http://www.rzd-expro.ru/innovation/BelKniga_2015.pdf, свободный. (Дата обращения: 01.05.2019).
2. Черняк, А. Ю., Гриндей, Е. О. Проблема износа трибосистемы «колесо – рельс» // Вісник Хмельницького національного університету. – № 6. – 2014 (219). – С. 53 – 58.
3. Самме, Г. В. Фрикционное взаимодействие колесных пар локомотива с рельсами. Теория и практика сцепления локомотива: Монография / УМЦ ЖДТ. – М., 2014. – 104 с.
4. Крейнис З. Л., Селезнева Н. Е. Бесстыковой путь. М.: Маршрут, 2005, 84 с.
5. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса: Пер. с англ. / У. Дж. Харрис, С. М. Захаров и др. М.: Интекст, 2002. – 408 с.
6. Карпов И.Г. Обеспечение устойчивости бесстыкового пути в сложных условиях эксплуатации. Дис. ... канд. тех. наук. Хабаровск, ДВГУПС, 2012. – 207 с.
7. Лысюк В. С. Управление надежностью бесстыкового пути, М.: Транспорт, 1999. – 373 с.
8. Мищенко К. Н. Устойчивость непрерывного пути под влиянием температурных воздействий. Железнодорожный путь, № 2, 1932 г.
9. Новакович В. И. Продольные силы в бесстыковом пути при учете фактора времени. Вестник ВНИИЖТа, № 1, 1972.
10. Hengstrum van L. A. Finite Element Analysis of Track Stability // Rail Engineering International. 1987. № 4 P. 19-20.
11. Бромберг Е.М. Бесстыковой путь. Труды ВНИИЖТа. – М. : Трансжелдориздат, 1962. – 215 с.
12. Аккерман Г.Л., Скутина М.А. Контроль температурно-напряженного состояния рельсовых плетей, выброса, разрыва и угона железнодорожного бесстыкового пути при помощи бализы // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2017. № 1 (33). С. 28–34.
13. Клименко Л.В. Бесстыковой путь: прогрессивная конструкция железнодорожного пути // Мир транспорта, № 1, 2004. – С. 88–93.

14. Савин А. В. Напряженное состояние рельсовой плети и методы его определения. Дис. ... канд. тех. наук. Москва, 2002. – 160 с.
15. Пат. № 2487325, Российская Федерация, МПК: G01L1/00. Способ измерения растягивающих усилий, действующих на рельс, и устройство для его реализации / А. Ю. Портной, О. В. Мельниченко, С. Г. Шрамко; заявитель и патентообладатель ИрГУПС. Заявл. 26. 05.2010; опублик. 10.07.2013.
16. Мельниченко О. В., Портной А. Ю., Агафонов В. М., Линьков А. О., Шрамко С. Г., Яговкин Д. А., Устинов Р. И. Оценка сходимости характеристик разработанных моделей рельсового пути для исследования нового способа определения растягивающих усилий // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. No 2. С. 215–227.
17. Руководство пользователя по MSC/Patran [Электронный ресурс] / DOCPLAYER URL: <https://docplayer.ru/85272222-Rukovodstvo-polzovatelya-po-msc-patran.html> (дата обращения: 24.10.2019).
18. Msc/nastran for Windows. Краткий справочник пользователя. The MacNeal Schwendler Corporation [Электронный ресурс] / StudFiles URL: <https://studfiles.net/preview/2787749> (дата обращения: 08.03.2019).

References

1. Strategiya nauchno-tehnologicheskogo razvitiya holdinga «Rossiiskie zheleznye dorogi» na period do 2020 goda i na perspektivu do 2025 goda. «Belaya kniga» [The strategy of scientific and technological development of the holding «Russian Railways» for the period up to 2020 and to the perspective up to 2025. «White paper»] [Electronic media]. URL: http://www.rzd-expo.ru/innovation/BelKniga_2015.pdf. Accessed May 01, 2019.
2. Chernyak A. Yu., Grindei E. O. Problema iznosa tribosistemy «koleso – rel's». [The problem of wear of the “wheel – rail” tribosystem]. Visnik Khmel'nits'kogo natsional'nogo universitetu [Bulletin of the Khmelnytsky National University], 2014, No. 6 (219), pp. 53–58.
3. Samme G. V. Friksionnoe vzaimodeistvie kolesnykh par lokomotiva s rel'sami. Teoriya i praktika stsepleniya lokomotiva: Monografiya [The frictional interaction of the locomotive wheelsets with rails. Theory and practice of locomotive coupling: a monograph]. Moscow, 2014, 104 p.
4. Kreinis Z.L., Selezneva N.E., Besstykovoi put' [Continuous welded rail]. Moscow: Marshrut Publ., 2005, 84 p.
5. Harris W. J., Zakharov S. M., Landgren G. and 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.: Harris U. Dzh., Zakharov S. M., Landgren Dzh., Turne H. et al. Obobshhenie peredovogo opyta tyazhelovesnogo dvizheniya: voprosy vzaimodeistviya koleasa i rel'sa. Per s angl. Moscow: Intext Publ., 2002, 408 p].
6. Karpov I.G. Obespechenie ustoichivosti besstykovogo puti v slozhnykh usloviyakh ekspluatatsii. Diss. ... kand. tekhn. nauk. [Ensuring stability of the jointless track in difficult operating conditions. Ph.D. (Engineering) diss.] Khabarovsk, Far Eastern State Transport University Publ., 2012, 207 p.
7. Lysyuk V. S., Semenov V. N., Ermakov V. M. Upravlenie nadezhnostyu besstykovogo puti [Managing the reliability of a seamless track]. Moscow: Transport Publ., 1999, 373 p.
8. Mishchenko K. N. Ustoichivost' nepreryvnogo puti pod vliyaniem temperaturnykh vozdeistvii [Stability of a continuous path under the influence of temperature influences]. Zheleznodorozhnyi put' [Railway track], 1932, No. 2.
9. Novakovich V.I. Prodolnye sily v besstykovom puti pri uchete faktora vremeni [Longitudinal forces in a jointless path when taking into account the time factor]. Vestnik VNIIZhT, 1972, No. 1.
10. Hengstrum van L.A. Finite Element Analysis of Track Stability. Rail Engineering International, 1987, No. 4, pp. 19–20.
11. Bromberg E.M. Besstykovoi put' [Jointless track]. Moscow: Transzheldorizdat Publ., 1962, 215 p.
12. Akkerman G.L., Skutina M.A. Kontrol temperaturno-napryazhennogo sostoyaniya relsovykh pletey, vybrosa, razryva i ugona zheleznodorozhnogo besstykovogo puti pri pomoshchi balizy [Control of temperature-stress state of rail bars, continuous welded rail track distortion, break and displacement by means of balise]. Vestnik Uralskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya [Herald of the Ural State University of Railway Transport], 2017, No. 1 (33), pp. 28–34.
13. Klimenko L.V. Besstykovoi put': progressivnaya konstruktsiya zheleznodorozhnogo puti [Jointless track: progressive rail construction]. Mir transporta [World of transport and transportation], 2004, No. 1, pp. 88–93.
14. Savin A. V. Napryazhennoe sostoyanie relsovoi pleti i metody ego opredeleniya. Diss. ... kand. tekhn. nauk [The stress state of the continuously welded rail and methods for its determination. Ph.D. (Engineering) diss.] Moscow, 2002, 160 p.
15. Portnoi A. Yu., Mel'nichenko O. V., Shramko S. G. Sposob izmereniya rastyagivayushchikh usilii, deistvuyushchikh na rel's, i ustroystvo dlya ego realizatsii [Measurement method of tensile forces acting on the rail and a device for its implementation] Patent RF, No. 2487325, IPC: G01L1/00. Applicant and patent holder is Irkutsk State Transport University. Applied May 26, 2010, published July 10, 2013.
16. Mel'nichenko O. V., Portnoi A. Yu., Agafonov V. M., Lin'kov A. O., Shramko S. G., Yagovkin D. A., Ustinov R. I. Tsenka skhodimosti kharakteristik razrabotannykh modelei rel'sovogo puti dlya issledovaniya novogo spsoboda opredeleniya rastyagivayushchikh usilii [Evaluation of developed railroad track model characteristics convergence to study a new method of tensile force determination]. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Proceedings of Irkutsk State Technical University], 2018, Vol. 22, No. 2, pp. 215–227.
17. Rukovodstvo polzovatelya po MSC/Patran [MSC / Patran User Guide] [Electronic media]. URL: <https://docplayer.ru/85272222-Rukovodstvo-polzovatelya-po-msc-patran.html>. Accessed: October 24, 2019.
18. Msc/nastran for Windows. Kratkii spravochnik polzovatelya. The MacNeal Schwendler Corporation [Msc/nastran for Windows. Quick reference guide. The MacNeal Schwendler Corporation] [Electronic media]. URL: <https://studfiles.net/preview/2787749>. Accessed: March 08, 2019.

Информация об авторах

Сеledgeв Константин Павлович – аспирант кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: kostyans7kss@gmail.com

Грузин Геннадий Григорьевич – аспирант кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: margeni@mail.ru

Мельниченко Олег Валерьевич – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: olegmelnval@mail.ru

Портной Александр Юрьевич – д. ф.-м. н., доцент, доцент кафедры физики, механики и приборостроения, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: portnoyalex@yandex.ru

Линьков Алексей Олегович – к. т. н., доцент кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: linkovalex@mail.ru

Information about the authors

Konstantin P. Seledtsov – Graduate student of the Department Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kostyans7kss@gmail.com

Gennadii G. Gruzin – Graduate student of the Department Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: margeni@mail.ru

Oleg V. Mel'nichenko – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: olegmelnval@mail.ru

Aleksandr Yu. Portnoi – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department Physics, Mechanics and Instrument Engineering, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: portnoyalex@yandex.ru

Aleksei O. Lin'kov – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: linkovalex@mail.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.2(66).136-143

УДК 373.167.1:519.1:004.9

Создание модели беспилотного летательного аппарата для помощи в решении проблемы пожаров в Иркутской области

О. В. Кузьмин, М. В. Лавлинский ✉

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ LavlinskiMV@mail.ru

Резюме

Пожары – одна из самых больших проблем Иркутской области. Ежегодно горят тысячи гектаров леса и с каждым годом ситуация ухудшается. В 2019 г. площадь лесов, уничтоженных огнем, составила примерно 1,5 млн га. Аэрофотосъемка для контроля окружающей среды использовалась еще в прошлом веке. Современные технологии позволили существенно расширить возможности мониторинга с воздуха и сделать его более доступным, что, в свою очередь, способствует оперативному предотвращению возникающих экологических проблем и оказанию помощи МЧС, в том числе и в решении ситуаций, связанных с лесными пожарами. Таким образом, целью статьи является описание разработки компьютерных методов проектирования беспилотных летательных аппаратов, предназначенных для контроля МЧС пожарной обстановки в отдаленных и северных районах Иркутской области. Существует четыре вида лесных пожаров: подземный (торфяной), полевой (степной), верховой и низовой. Каждый вид имеет свои особенные характеристики – территория распространения, скорость, площадь, форма и температура очага. Однако, несмотря на различия, возможность эффективного применения беспилотных летательных аппаратов имеется в каждом случае. Классификация беспилотных летательных аппаратов помогла более точно определить оптимальную концепцию беспилотника для отдаленных и северных районов Иркутской области. Для визуализации и компьютерных испытаний была разработана трехмерная модель с помощью системы автоматизированного проектирования SolidWorks 2019. В дальнейшем планируется с использованием возможностей программы SolidWorks провести инженерный анализ модели, исследовать ее физические свойства и организовать компьютерные эксперименты. Применение данной программы также позволит создать полный комплект конструкторской документации в соответствии с Единой системой конструкторской документации.

Ключевые слова

беспилотный летательный аппарат, пожар, Иркутская область, трехмерная графическая модель, SolidWorks

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 20-41-385001.

Для цитирования

Кузьмин О.В. Создание модели беспилотного летательного аппарата для помощи в решении проблемы пожаров в Иркутской области / О.В. Кузьмин, М.В. Лавлинский // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – Т. 66 № 2. – С. 136–143. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.2(66).136-143