

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИЙСЯ С ДЕФЕКТОМ РЕЛЬСА КОДА 46.3

Аннотация. В данной статье приводятся результаты эксперимента, проведенного на Восточно-Сибирской железной дороге. Актуальность работы заключается в разработке комплексного подхода к снижению интенсивности смятия головки рельса в зоне стыков, сваренных электроконтактным способом (дефект кода 46.3). На участке экспериментальных исследований установленная скорость движения грузовых поездов принята 40 км/ч. Основной целью исследований являлось определение и сравнение силовых факторов, возникающих как в зоне дефектного сварного шва, так и вне зоны дефекта в момент прохождения грузового подвижного состава. Оценка вертикальных динамических сил производилась при дефекте рельса величиной 1,1 мм. Испытание проводилось методом Шлюмпфа, заключающийся в работе с тензодатчиками. Тензодатчики располагались на нейтральной оси шейки рельса с наружной и внутренней стороны. Сбор данных осуществлялся с помощью мобильного аналого-цифрового преобразователя «QMBox 85». Данное устройство позволило провести непрерывную запись значений вертикальных динамических сил в момент прохода подвижного состава через измеряемое сечение рельса. Обработка измеренных параметров осуществлялась при помощи программного обеспечения «QMLab». Анализ полученных результатов показал, что в дефектном месте вертикальные силы увеличиваются на 30 % по сравнению с силами в месте без дефекта. На основе полученных результатов испытаний планируется разработать математическую модель рельса, характеризующую напряженное состояние в зоне развития дефекта кода 46.3 под воздействием подвижного состава.

Ключевые слова: бесстыковой путь, дефект кода 46.3, тензометрические датчики, испытание, вертикальная сила, метод Шлюмпфа.

E. E. Zelenskiy ¹

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

THE RESULTS OF THE ASSESSMENT OF THE FORCE EFFECT OF ROLLING STOCK ON A RAILWAY TRACK OPERATED WITH A RAIL DEFECT CODE 46.3

Abstract. This article presents the results of an experiment conducted on the East Siberian Railway. The relevance of the work lies in the development of an integrated approach to reduce the intensity of crumpling of the rail head in the area of joints welded by the electrocontact method (defect code 46.3). At the experimental research site, the established speed of freight trains was assumed to be 40 km/h. The main purpose of the research was to identify and compare the force factors occurring both in the area of the defective weld and outside the defect area at the time of passage of the freight rolling stock. The vertical dynamic forces were estimated for a 1.1 mm rail defect. The test was carried out by the Schlumpf method, which consists in working with load cells. The load cells were located on the neutral axis of the rail neck from the outside and inside. The data was collected using a mobile analog-to-digital converter "QMBox 85". This device made it possible to continuously record the values of vertical dynamic forces at the time of rolling stock passage through the measured rail section. The measured parameters were processed using the QMLab software. An analysis of the results showed that vertical forces in a defective location increase by 30% compared to forces in a location without a defect. Based on the test results obtained, it is planned to develop a mathematical model of the rail that characterizes the stress state in the area of development of the code 46.3 defect under the influence of rolling stock.

Keywords: joint-free path, defect code 46.3, strain gauges, test, vertical force, Schlumpf method.

Введение

В соответствии со стратегией развития компании ОАО «РЖД» до 2030 года включительно поставлена цель – увеличение перевозок грузов на 500-800 млн. т. [1]. В связи с этим активно развиваются новые участки бесстыкового пути и усовершенствуется подвижной со-

став. Так по состоянию на 2024 год протяжённость бесстыкового пути на Восточно-Сибирской железной дороге составила 4,9 тыс. км. Укладка бесстыкового пути увеличивает количество сварных мест в рельсовых плетях из-за чего наблюдается рост смятие головки рельса в зоне стыков, сваренных электроконтактным способом (Далее дефект кода 46.3). По статистике Регионального центра Диагностики и Мониторинга большой процент неисправностей в 2024 году приходится на дефекты в зоне сварных стыков (рис. 1), что подтверждает актуальность данной проблемы.

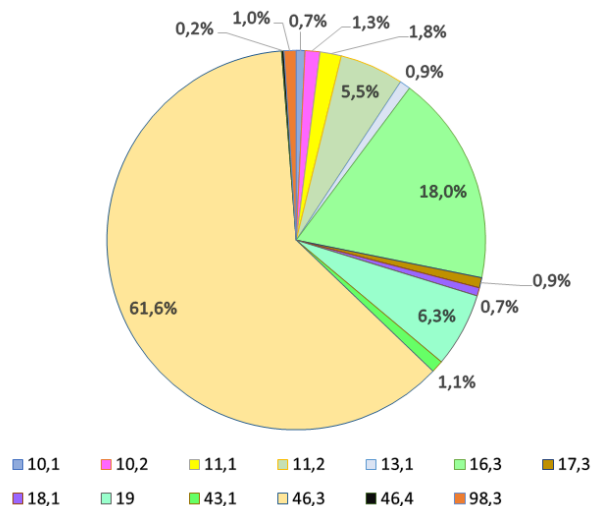


Рис. 1. Процентное соотношение распространённых дефектов от общего их количества на ВСЖД

На рисунке 1 показаны наиболее распространенные коды дефектов рельсов в 2024 году на ВСЖД, такие как:

- 10.1-2, 11.1-2, 13.1 – трещины и выкрашивания на поверхности рельса;
- 16.3, 17.3 – выкрашивание металла в зоне сварного стыка;
- 18.1 – выкрашивание наплавленного слоя металла;
- 19 – выкрашивания, трещины на поверхности катания, рябизны, отпечатки, сильная коррозия металла на нижней поверхности головки рельса;
- 43.1 – смятие головки рельса в зоне болтового стыка;
- 46.3-4 – смятие головки рельса в зоне сварного стыка;
- 98.3 – общая равномерная коррозия рельсов).

С целью оценки воздействия подвижного состава на путь в зоне дефектного места было проведено тензометрическое испытание, определяющее изменение величины вертикальной силы в момент прохода колёсных пар через неисправность пути (рис. 2). Эксперимент проводился методом Шлюмпфа на участке пути Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры. В момент проведения испытаний, была зафиксирована фактическая скорость движения поездов, равная 22 км/ч.



Рис. 2. Экспериментальный участок

Метод Шлюмппа. Данный метод позволяет измерить силовые факторы воздействия подвижного состава на путь. Для измерения сил в выбранном поперечном сечении рельса наклеиваются тензорезисторы с номерами R1-R6 (рис. 3).

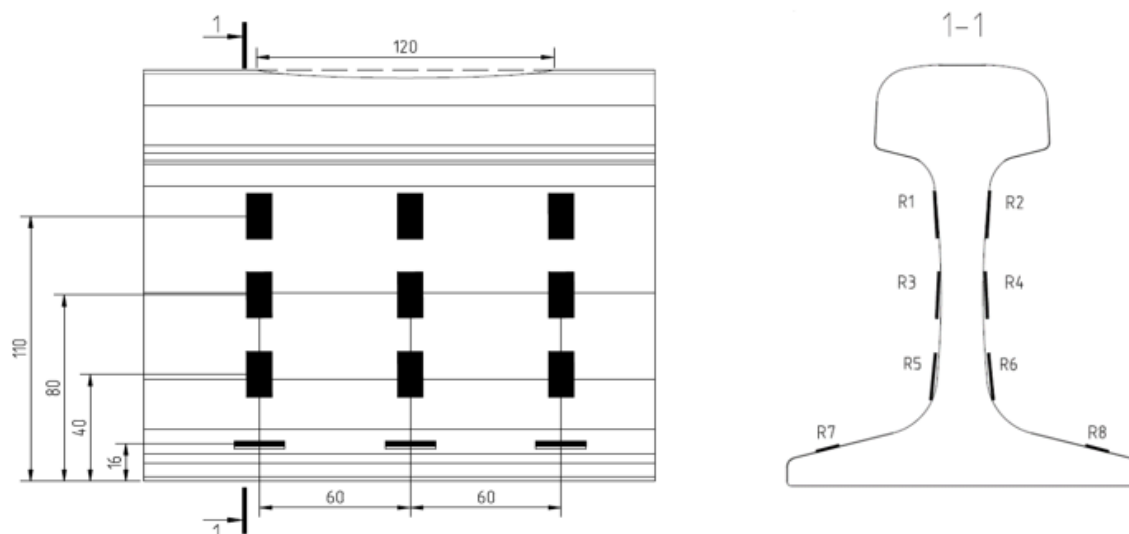


Рис. 3. Схема установки тензометрических датчиков по методу Шлюмппа

Далее выполнялось нагружение рельса в выбранном сечении рельса посредством приложения последовательности контрольных эталонных нагрузок по двум режимам: вертикальная сила в середине головки рельса и боковая сила в средней части головки рельса при одновременном приложении вертикальной нагрузки [2]. При нагружении рельса вертикальной силой изменяется длина каждого тензорезистора, электрическое сопротивление цепи, распределение токов в ветвях мостов и меняется напряжение, возникающее в тензодатчиках [3]. Методика экспериментальных исследований апробирована сотрудниками кафедры «Путь и путевое хозяйство» ИрГУПС [4-6].

Процесс испытания. Так как целью эксперимента являлось определение значений вертикальных сил, подключение датчиков производилось в измерительный мост Уинстона вместе с компенсирующими датчиками R_k (рис. 4, а).

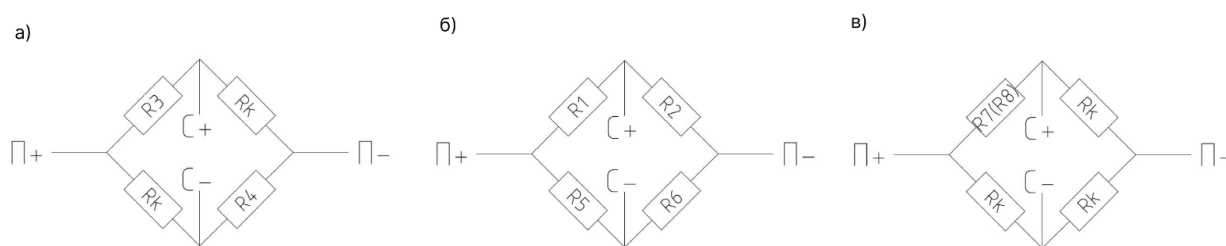


Рис. 4. Измерительные мосты подключения для определения: а) вертикальной силы; б) боковой силы; в) сил, возникающих в подошве рельса

Такая схема подключения позволяет установить зависимость текущего значения силы тока пропорционально значению вертикальной динамической силы, действующей на рельс [7].

При определении вертикальной и боковой силы, действующей от колеса подвижного состава на рельс, применяются тензорезисторы с разбросом тензочувствительности не более одного процента. Установленная частота дискретизации сигнала при измерении динамических процессов относительной деформации зависит от скорости движения подвижного состава и составляет не менее 1 кГц [8]. Для измерений относительной деформации рельсов

применялись тензорезисторы с номинальным сопротивлением 200 Ом и базой до 15 мм. Сбор данных осуществлялся с помощью тензометрического оборудования «QMBox 85» от компании «R-Tech», позволяющий проводить непрерывную запись данных о состоянии пути в момент пропуска подвижного состава через измеряемое сечение. Запись показаний датчиков велась по двум сечениям одновременно. Первое сечение расположено в зоне сварного стыка, где наблюдалось смятие головки рельса величиной 1,1 мм. Вторым являлось исправное сечение рельса, удаленное от дефекта на 500 мм. Так, по результатам измерений возможно определить разницу показаний и провести оценку состояния пути.

Обработка результатов. Обработка полученных данных с мобильного поста регистрации производится путём тарировки датчиков. Тарировка (градуировка) позволяет установить чувствительность тензометрической системы к измеряемой величине, проверить работу системы во всем диапазоне изменения входной величины.

Тарировка осуществляется следующим образом: на вход измерительной системы подаются заранее известные значения измеряемой величины, а на выходе фиксируют реакцию системы на эти воздействия.

Источником эталонной деформации чаще всего служат тарировочные балки консольного типа или на двух опорах с приложенной известной единичной нагрузкой, но в нашем случае источником является локомотив с осевой нагрузкой 25 тс/ось, проходящий через дефектный рельсовый сварной стык. При нахождении колесной пары локомотива в зоне сварного стыка прибор стабильно регистрировал значение напряжения от датчика 0,004 В. Внутренние вертикальные силы, возникающие в рельсе при проходе подвижного состава, определялись путём перевода значений напряжений, фиксирующихся тензометрическим оборудованием, в тонн-силы с помощью ранее определённого тарировочного коэффициента $K = 0,004$.

В эксперименте проанализировано силовое воздействие на путь от двух грузовых подвижных составов с осевыми нагрузками 18,35 тс/ось и 22,06 тс/ось (рис. 5-6 соответственно).

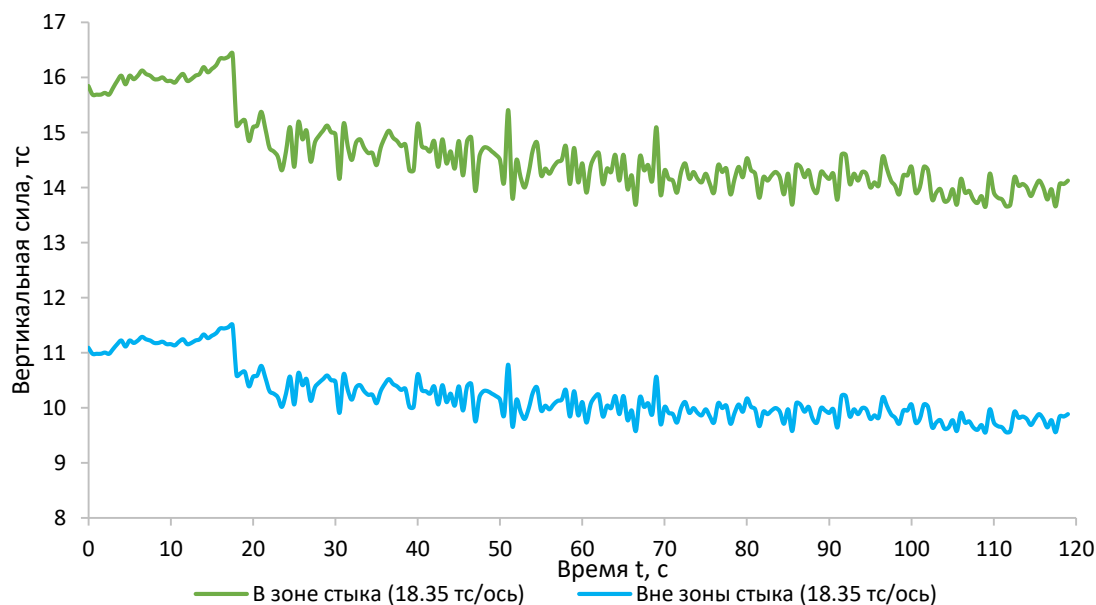


Рис. 5. Воздействие на путь от поезда с осевой нагрузкой 18,35 тс/ось

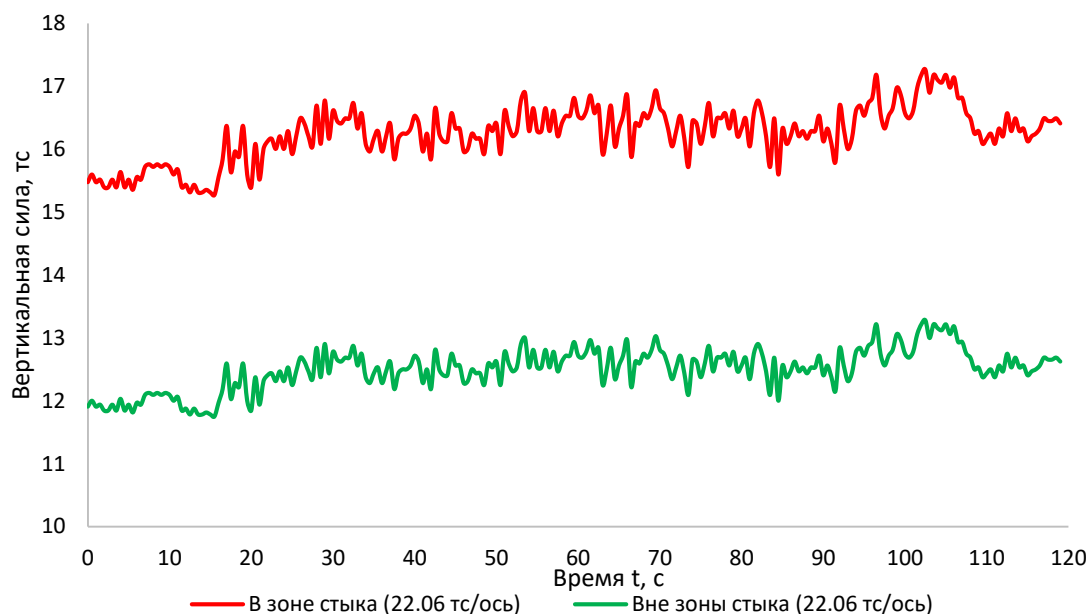


Рис. 6. Воздействие на путь от поезда с осевой нагрузкой 22,06 тс/ось

На графиках видно, что усреднённая нагрузка от подвижного состава с осевой нагрузкой 18,35 тс/ось в зоне рельсового сварного стыка равна $\bar{N}_{18,35_1} = 14,6$ тс, а вне сварного места $\bar{N}_{18,35_0} = 10,40$ тс. Для подвижного состава с осевой нагрузкой 22,06 тс/ось воздействие на путь составило $\bar{N}_{22,06_1} = 17,55$ тс, $\bar{N}_{22,06_0} = 12,5$ тс соответственно. Для оценки влияния дефекта на работу рельса при проходе подвижного состава определено изменение вертикальных сил при разных условиях эксплуатации в процентном соотношении:

$$\Delta \bar{N}_{18,35} = 100 - \frac{10,40 \times 100}{14,6} = 28,77 \%;$$

$$\Delta \bar{N}_{20,06} = 100 - \frac{12,50 \times 100}{17,55} = 28,77 \%.$$

В результате проведённого анализа воздействия нагрузки от подвижного состава на путь выяснилось, что при дефекте кода 46.3 глубиной 1,1 мм вертикальная сила увеличивается приблизительно на 30 % по сравнению с нормальным состоянием рельсовой плети.

Заключение. По полученным результатам экспериментального определения вертикальных динамических сил воздействия колеса на рельс обозначены следующие выводы:

- 1) В связи с развитием дефекта кода 46.3 уменьшается срок эксплуатации рельса, так как на порядок увеличивается воздействие подвижного состава на железнодорожный путь;
- 2) При дефекте рельса величиной 1,1 мм и скорости движения грузовых поездов 22 км/ч силовое воздействие на путь увеличивается на 30 %;

В дальнейших исследованиях планируется построить математическую модель рельса в программном комплексе «Универсальный механизм» для сравнения расчётных значений со значениями вертикальных сил, определённых в данном эксперименте. Параллельно с этим, модель рельса будет подвергаться расчёту на прочность для определения его напряжённого состояния в зоне дефектного сварного стыка при нагрузке, эквивалентной колёсной парой подвижного состава.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года, утвержденная Распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года № 3363-р.
2. Разработка новых методов определения силовых факторов воздействия подвижного состава на путь / Д. В. Шевченко, Я. О. Кузьмицкий, Т. С. Куклин [и др.] // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2018. – № 1(41). – С. 38-51. – EDN YNWTU.
3. Применение конечно-элементного анализа для совершенствования метода Шлюмпфа с целью снижения погрешности измерения боковой составляющей силы от взаимодействия колёс подвижного состава и рельсов / В. С. Коссов, А. А. Лунин, Д. А. Князев, М. В. Тимаков // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – № 4(58). – С. 57-62. – EDN WXQTAT.
4. Ковенькин, Д. А. Экспериментальные исследования по определению суммарных боковых сил в кривых участках пути со шпалами типоразмера 1 526 мм / Д. А. Ковенькин, Р. И. Живин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2024. – № 3(83). – С. 78-90. – DOI 10.26731/1813-9108.2024.3(83).78-90.
5. 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 // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 1(65). – С. 75-84. – DOI 10.26731/1813-9108.2020.1(65).75-84.
6. Ливенцев, Е. А. Исследование влияния прохода думпкаров типа 2ВС-105 с осевой нагрузкой 23,5 ТС на участке пути Рудногорск – Коршуниха–Ангарская ВСЖД / Е. А. Ливенцев, Е. В. Филатов, Д. А. Ковенькин // Проблемы и перспективы изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации российских железных дорог : материалы всероссийской научно-практической конференции, Иркутск, 10–11 декабря 2007 года. Том 1. – Иркутск: Иргупс, 2007. – С. 15-22.
7. ГОСТ Р 55050-2012. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний. ОАО «ВНИИЖТ», 01.07.2013.
8. ГОСТ 34759-2021. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний. – Введ. 2022-02-01. – М. : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации., М. Изд-во стандартов, 2021. – 32 стр.

REFERENCES

1. Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a Forecast for the Period until 2035, approved by Decree of the Government of the Russian Federation No. 3363-r dated November 27, 2021.
2. Shevchenko, D. V., Kuzmitsky, Ya. O., Kuklin, T. S., et al. (2018). Development of New Methods for Determining the Force Factors of Rolling Stock Impact on the Track. Bulletin of the Institute for Natural Monopoly Problems: Railway Engineering, 1(41), 38-51. EDN YNWTU.
3. Kossov, V. S., Lunin, A. A., Knyazev, D. A., & Timakov, M. V. (2016). Application of Finite Element Analysis to Improve the Schlumpf Method for Reducing Measurement Error of Lateral Force in Wheel-Rail Interaction. Bulletin of Transport of the Volga Region, 4(58), 57-62. EDN WXQTAT.
4. Kovenkin, D. A., & Zhivin, R. I. (2024). Experimental Studies on Determining Total Lateral Forces in Curved Track Sections with 1,526 mm-Sized Sleepers. Modern Technologies. System Analysis. Modeling, 3(83), 78-90. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.3(83).78-90.
5. Resels, A. P., Filatov, E. V., Kovenkin, D. A., & Baranov, T. M. (2020). Experimental Determination of Lateral Forces in the Wheel-Rail System during Train Movement on a Mountain-

Pass Section. Modern Technologies. System Analysis. Modeling, 1(65), 75-84. DOI: 10.26731/1813-9108.2020.1(65).75-84.

6. Liventsev, E. A., Filatov, E. V., & Kovenkin, D. A. (2007). Study of the Impact of 2VS-105 Dump Cars with an Axle Load of 23.5 tf on the Rudnogorsk – Korshunikhha-Angarskaya Section of the East Siberian Railway. In Problems and Prospects of Surveying, Design, Construction, and Operation of Russian Railways: Proceedings of the All-Russian Scientific-Practical Conference, Irkutsk, December 10–11, 2007 (Vol. 1, pp. 15-22). Irkutsk: ISTU.

7. GOST R 55050-2012. Railway Rolling Stock. Permissible Impact on the Railway Track and Test Methods. JSC "VNIIZhT", July 1, 2013.

8. GOST 34759-2021. Railway Rolling Stock. Permissible Impact on the Railway Track and Test Methods. Introduced February 1, 2022. Moscow: Interstate Council for Standardization, Metrology, and Certification; Standards Publishing House, 2021. 32 pp.

Информация об авторах

Зеленский Эдуард Евгеньевич - аспирант кафедры «Путь и путевое хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: zelenskiyily2001@mail.ru

Information about the authors

Zelenskiy Eduard Evgenievich – postgraduate student of the department Track and Track Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: zelenskiyily2001@mail.ru