

А. Г. Ларченко, А. А. Лысова

Иркутский государственный университет путей сообщения, ул. Чернышевского 15, Иркутск, Российская Федерация

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАБОТ ПО НАПЛАВКЕ И ЗАВАРКЕ ДЕФЕКТОВ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ПУТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ КОНТРОЛИРУЕМОГО УЧАСТКА

Аннотация. В представленной работе рассматриваются основные дефекты в литых крупногабаритных деталях грузовых вагонов. В статье приводятся причины и проблемы, связанные с разрушением боковых рам и надрессорных балок в первые годы эксплуатации. Основное внимание сосредоточено на методе производства элементов сложной пространственной формы путем литья из легированных сталей. Описываются актуальные методы неразрушающего контроля. Рассматривается технология заварки дефектов нарушения сплошности. С точки зрения ремонта и эксплуатации уделяется особый интерес внутреннему углу буксового проема. В статье объясняется необходимость термической обработки крупногабаритных деталей после завершения процесса сварки. Ставится цель работы, связанная с разработкой методики контроля качества работ по наплавке и заварке дефектов литых деталей путем измерения твердости контролируемого участка. В работе изучается влияние температуры на структуру и механические свойства деталей. Приводится микроструктура сварочного шва. Дается описание зоны термического влияния с определением участков и их свойств. Объясняется механизм развития термических и фазовых напряжений. В работе приводится методика измерения твердости по методу Либа. Описываются положительные стороны данного метода измерения твердости и фиксируются его недостатки. В статье представлены результаты контроля лабораторных образцов из конструкционной стали обыкновенного качества. Предлагаются дальнейшие направления в развитии предлагаемой методики, формируются выводы.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, литые детали, подвижной состав, контроль качества, сварка, твердость, механические свойства, грузовые вагоны.

A. G. Larchenko, A. A. Lysova

Irkutsk State Transport University, st. Chernyshevsky 15, Irkutsk

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CONTROL OF QUALITY OF WORKS ON SURFACING AND WELDING OF DEFECTS IN CASTED PARTS BY MEASURING THE HARDNESS OF THE CONTROLLED AREA

Abstract. The presented work examines the main defects in cast, large-sized parts of freight wagons. The article presents the causes and problems associated with the destruction of side frames and superstructure beams in the early years of operation. The main attention is focused on the method of producing elements of complex spatial shape by casting from alloy steels. Current methods of non-destructive testing are described. The technology of welding defects of discontinuity is considered. From the point of view of repair and operation, special interest is paid to the inner corner of the axle box opening. The article explains the need for heat treatment of large-sized parts after completion of the welding process. The aim of the work is related to the development of a methodology for quality control of work on surfacing and welding defects of cast parts by measuring the hardness of the controlled area. The paper describes the temperature effects of the welding process on the base metal, structure and mechanical properties. The microstructure of the weld is given. A description of the zone of thermal influence is given, with a description of the sites and properties. The mechanism of development of thermal and phase stresses is explained. The paper describes the measurement of hardness by the Lieb method. The positive aspects of this hardness measurement method are described and its disadvantages are fixed. The article presents the results of the control of laboratory samples made of structural steel of ordinary quality. Further directions in the development of the proposed methodology are proposed, conclusions are formed.

Keywords: non-destructive testing, cast parts, rolling stock, quality control, welding, hardness, mechanical properties, freight cars.

Введение

На сегодняшний день железнодорожные крупногабаритные компоненты грузовых вагонов, такие как балка надрессорная, боковая рама, изготавливаются методом литья из сталей марок 20ГЛ, 20ГФЛ, 20ГТЛ, 20ХГНФТЛ. Надрессорная балка и боковая рама являются

не только ответственными деталями грузового вагона, но и еще и коммерческими продуктами. При соблюдении всех требований и условий эксплуатации, транспортировки и хранения срок службы рам и балок составляет от 32 (20ГФЛ, 20ГЛ и 20ГТЛ) до 35 лет (20ХГНФТЛ).

В связи со сложностью и трудоемкостью производственного процесса, структуры литых деталей зачастую имеют дефекты различного рода и происхождения. В результате наличия дефектов наблюдаются случаи неисправностей боковых рам и надрессорных балок в эксплуатации.

К дефектам литья согласно ГОСТ 19200–80 принято относить несоответствие, как по геометрии, так и по структуре, дефекты поверхности, несплошности в теле отливки, а также металлические и неметаллические включения. Дефекты в теле и на поверхности отливки оказывают влияние не только на конструкционную прочность и сроки эксплуатации, но и на безопасность. Как показывают статистические данные, основной процент трещинообразования в боковых рамах грузовых тележек приходится на внутренний угол буксового проема (R55) (рис.1).



Рис.1. Трещина внутреннего радиуса буксового проема боковой рамы

На сегодняшний день литые детали с точки зрения диагностирования - обязательный объект контроля. На заводах-изготовителях дефекты отливок обнаруживаются визуальным методом. Скрытые поверхностные дефекты определяют путем магнитного и капиллярного контроля, а внутренние выявляют при помощи ультразвука, реже с использованием радиографического метода дефектоскопии. Детали тележек на вагоноремонтных предприятиях подвергаются диагностированию в соответствии с требованиями нормативно технической документации - феррозондовым, вихретоковым, магнитопорошковым методами неразрушающего контроля [1].

Известно, что одним из способов устранения и исправления дефектов типа нарушение сплошности является процесс сварки [2]. Сваркой возможно исправлять отливки, имеющие раковины, поверхностную пористость, трещины, спаи. При восстановлении боковых рам разрешается заварка трещин, направляющего буртика для фрикционного клина, (рис.2, поз. 1.), заварка продольных трещин, (рис.2, поз. 7), в стенках прилива для валика подвески, заварка трещины в кронштейне, (рис.2, поз. 9), в приливе, если ее длина не более 32 мм.

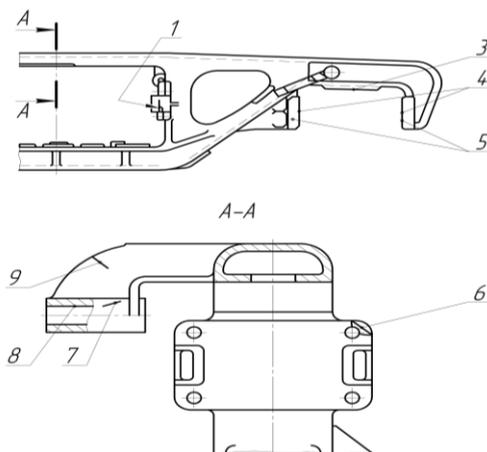


Рис.2. Рама боковая

Как было отмечено выше, преобладающей дефектной зоной при эксплуатации является внутренний угол буксового проема [3]. На сегодняшний день данный угол подвергать ремонту сваркой разрешено только на заводах-изготовителях, так как при выполнении сварочных работ в результате неравномерного нагрева металла возникают напряжения, изменяются механические свойства и структура металла в околошовной зоне. В околошовной зоне материал сварного соединения претерпевает нагрев (расширение металла) и охлаждение (усадка), в металле возникают внутренние напряжения сжатия и растяжения. Кроме термических образуются также фазовые напряжения. С целью снятия внутренних напряжений с сопутствующим изменением механических свойств и структуры после завершения процесса сварки необходимо проводить термическую обработку (полный отжиг, нормализацию и высокий отпуск). В условиях ремонтных депо данные виды термической обработки выполнить невозможно. Кроме этого, на ремонтных предприятиях не до конца отработана методика выявления характера сварки на внутренних углах буксового проема. Визуально невозможно определить подвергались ли детали какой-либо термической обработке, в результате собственности подвижного состава несут финансовые потери при необоснованной браковке литых компонентов из-за фиксации наличия сварочных работ. Исходя из изложенного поставлена цель работы – разработать методику контроля качества работ по наплавке и заварке дефектов литых деталей путем измерения твердости контролируемого участка.

Разработка методики контроля качества путем измерения твердости контролируемой области

Участок основного металла, который подвергается нагреву до температур при которых происходят структурные изменения называют зоной термического влияния (рис.3) [4-5].

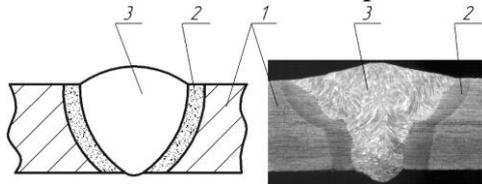


Рис. 3. Химическая неоднородность сварного соединения:

1 – свариваемые детали, 2 – зона термического влияния (ЗТВ), 3 – сварной шов

Зона термического влияния включает в себя 6 участков: неполного расплавления (рис.4, поз. 1); перегрева (рис.4, поз. 2); нормализации (рис.4 поз. 3); неполной перекристаллизации (рис.4, поз. 4); рекристаллизации (рис.4, поз. 5); синеломкости (рис.4, поз. 6) [4-10]. На участке перегрева характерна крупнозернистая структура, которая не только снижает пластичность металла, но и увеличивает его хрупкость и твердость. На участке нормализации механические свойства металла превышают свойства основного металла в его исходном состоянии. С целью снятия внутренних напряжений и стабилизации свойств металла проводят последующую термообработку. Соответственно, присутствие следов сварки, а также наличие и вид термической обработки после сварочных работ, можно зафиксировать путем измерения механических свойств на контролируемом участке.

При исследовании предлагаемой методики контроля было принято решение измерить твердость основного металла и сварочного шва лабораторных образцов. Для проведения экспериментальных исследований было изготовлено 14 образцов. В связи с отсутствием предварительных данных, образцы были изготовлены из стали обыкновенного качества с нанесением сварочного шва. Измерение твердости проводилось по методу Либа. Данный метод был выбран исходя из возможности дальнейшего использования на объектах контроля (боковых рамах и надрессорных балках) без разрушений. Недостаток данного метода заключается в том, что не существует общепринятого процесса точного перевода значения твердости по шкалам Либа в значения твердости по Бринеллю или Роквеллу, поэтому в случае необходимости сопоставления значений, следует иметь базу данных, полученную из сравнительных измерений [6-15]. Перед измерением образцы из стали марки Ст3 были очищены, отшлифованы и условно разделены на 2 части (рис.5). Деление образцов на зоны позволяет

провести измерения, проанализировать разность механических свойств основного металла и сварочного шва. Замеры проводились неоднократно. На участках образцов без сварки твердость составила 428 ± 4 единицы, сварочные швы имеют твердость 440 ± 6 единиц. Допустимый диапазон объясняется неоднородностью структуры и возможными внутренними микродефектами. Результаты измерений свидетельствуют о разных механических свойствах и о возможности контроля качества сварочных работ, предлагаемым методом. Кроме этого, измерение твердости даст возможность определять предшествующую термическую обработку.

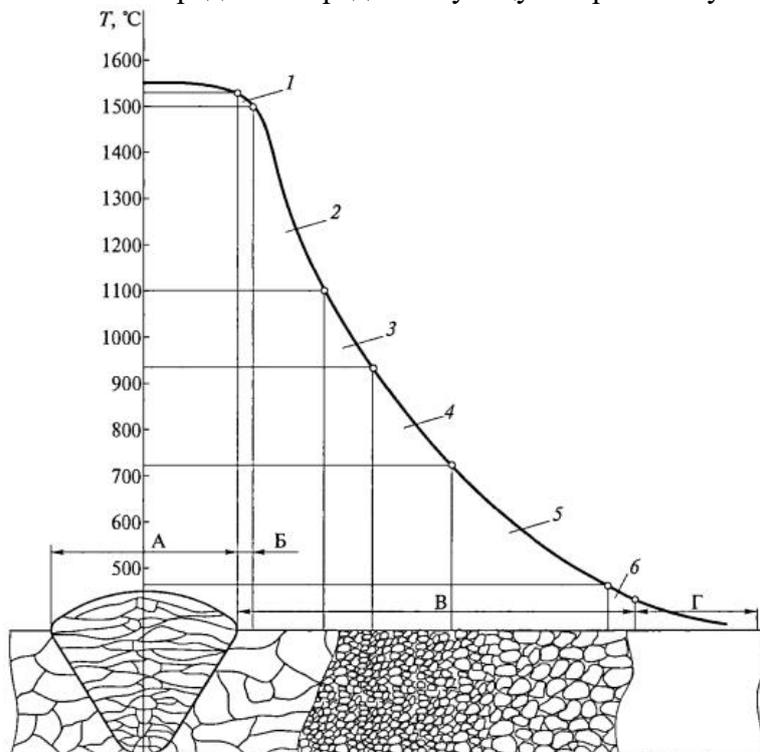


Рис.4. Микроструктура металла в зоне термического влияния при сварке низкоуглеродистой стали: 1 - зона неполного расплавления; 2 – зона перегрева; 3 -зона нормализации; 4 – зона неполной перекристаллизации; 5 – зона рекристаллизации; 6 – зона синеломкости

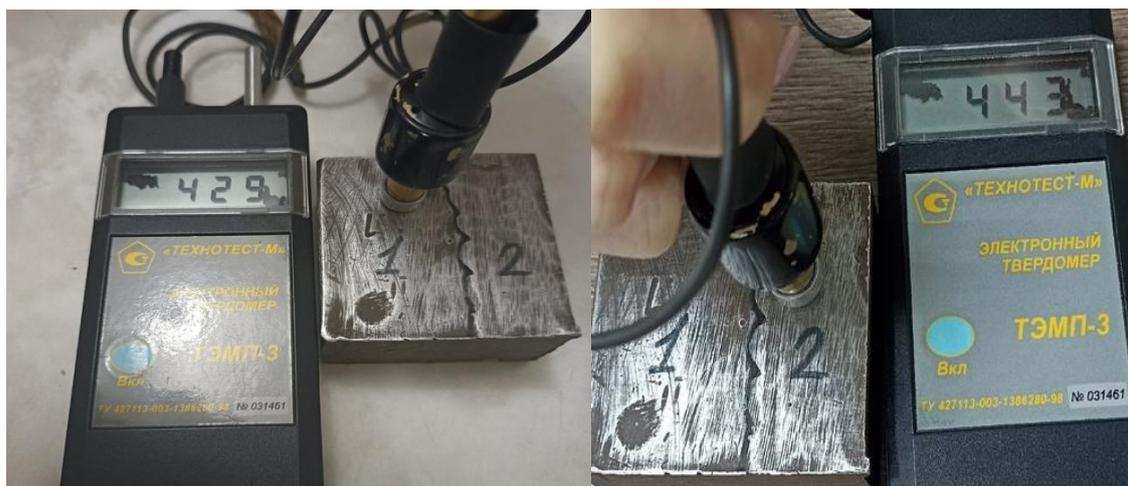


Рис.5. Измерение твердости участков металла лабораторных образцов

Заключение

В заключении хочется отметить, что представленный метод требует дальнейшего детального изучения, включающего в себя изготовление образцов из сталей марок 20ГФЛ, 20ГЛ и 20ГТЛ с нанесением сварочных швов различного характера, проведение термической обработки с измерением механических свойств каждого участка, изучение микроструктуры,

а также проработку методики контроля с подбором подходящего оборудования, апробацию метода в условиях производственного процесса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сравнительный анализ консольных частей боковых рам тележек грузовых вагонов с различной технологией литья. [Электронный ресурс]. URL: [https://alt.edu.kz/wp-content/assets/docs/Наука/Вестник/2019/2019 - 2\(109\).pdf](https://alt.edu.kz/wp-content/assets/docs/Наука/Вестник/2019/2019 - 2(109).pdf) (дата обращения 15. 05.).
2. РД 32 ЦВ 052-2009. Руководство по ремонту тележек грузовых вагонов зазорного типа.
3. Криворудченко В.Ф., Игнатьев О.Л., Северинова Л.Г., Коваленко О.В. Анализ состояния неразрушающего контроля литых деталей грузовых вагонов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. 2020. №4(53). С.65-70.
4. Аргунова А.А., Семенов Я.С., Мыреев Н.В., Габышева Т.А. Влияние микроструктуры зоны термического влияния и линии сплавления сварного соединения низколегированной стали на замедленное разрушение // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Том 12, № 1-2. С. 276-279.
5. Неровный В.М., Коновалов А.В., Якушин Б.Ф., Макаров Э.Л., Куркин А.С. "Теория сварочных процессов (2-е издание)". Москва, 2016.
6. Малыгин Ф.К., Стариков Н.Е., Гвоздев А.Е., Золотухин В.И., Сергеев Н.Н. "Технология конструкционных материалов. Учебник для вузов" (Изд. 2-е испр. и доп.). Тула, 2015.
7. Шекшеев М.А., Ширяева Е.Н. Формирование структуры наплавленного металла низкоуглеродистой стали при различных технологических воздействиях // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2021. Том 19, № 1. С. 42-47.
8. Гордеева Э.С. Влияние фазового состава зоны термического влияния при сварке на ее твердость // Современные проблемы теории машин. 2019. № 8. С. 16-18.
9. Никазов А.А. Обеспечение достоверности результатов измерений твердости по методу Либа. В сборнике: Внедрение результатов инновационных разработок: проблемы и перспективы. Сборник статей международной научно-практической конференции. 2016. С. 130-134.
10. Голев А.С. Особенности применения портативных методов измерения твердости. В сборнике: Высокие технологии, наука и образование: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник статей VII Всероссийской научно-практической конференции. 2020. С. 22-27.
11. Ларченко А.Г. Проблемы и погрешности при измерении толщины обода колеса колесных пар грузового вагона // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2023. № 2 (78). С. 10-18.
12. Ларченко А.Г. Неразрушающий контроль и диагностика изделий из реактопластов (тормозные колодки) // Контроль. Диагностика. 2022. Т. 25. № 3 (285). С. 46-51.
13. Трусков В.А., Ларченко А.Г. Разработка комплекса лабораторных работ в области контроля качества изделий и материаловедения // Молодая наука Сибири. 2022. № 1 (15). С. 132-139.
14. Воронин Н.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов для железнодорожной техники. Москва: Маршрут, 2013. 456 с.
15. Ларченко А.Г., Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В., Каргапольцев С.К. Диагностическая работа изделий подвижного состава высокочастотным методом. В: Сборник конференций ИОР: Материаловедение и инженерия. Международная конференция «Транспорт и инфраструктура Сибирского региона», «СибТранс 2019». 2020. С. 012037.

REFERENCES

1. Sravnitel'nyj analiz konsol'nyh chastej bokovyh ram telezhek gruzovyh vagonov s razlichnoj tekhnologiej lit'ya [Comparative analysis of console parts of side frames of freight wagons with different casting technology]. Elektronnyj resurs [Online]. URL: [https://alt.edu.kz/wp-content/assets/docs/Nauka/Vestnik/2019/2019-2\(109\).pdf](https://alt.edu.kz/wp-content/assets/docs/Nauka/Vestnik/2019/2019-2(109).pdf) (data obrashcheniya 15. 05.).

2. RD 32 CV 052-2009. Rukovodstvo po remontu telezhek gruzovyh vagonov zazornogo tipa [Manual for repair of bogies for freight wagons of gap type].

3. Krivorudchenko V.F., Ignat'ev O.L., Severinova L.G., Kovalenko O.V. Analiz sostoyaniya nerazrushayushchego kontrolya lityh detalej gruzovyh vagonov [Analysis of the condition of non-destructive testing of cast parts of freight wagons]. Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya [Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya], 2020, No. 4(53), pp. 65-70.

4. Argunova A.A., Semenov Y.S., Myreev N.V., Gabysheva T.A. Vliyanie mikrostruktury zony termicheskogo vliyaniya i linii splavljeniya svarnogo soedineniya nizkolegirovannoj stali na zamedlennoe razrushenie [Influence of microstructure of the heat affected zone and fusion line on delayed fracture of welded joint of low alloy steel]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoj akademii nauk], 2010, Tom. 12, No. 1-2, pp. 276-279.

5. Nerovny V.M., Konovalov A.V., Yakushin B.F., Makarov E.L., Kurkin A.S. Teoriya svarochnyh processov (2-e izdanie) [Theory of welding processes (2nd edition)]. Moscow, 2016.

6. Malygin F.K., Starikov N.E., Gvozdev A.E., Zolotukhin V.I., Sergeev N.N. Tekhnologiya konstrukcionnyh materialov [Technology of structural materials]. Uchebnik dlya vuzov [Textbook for higher education institutions] (Izd. 2-e ispr. i dop.). Tula, 2015.

7. Sheksheev M.A., Shiryeva E.N. Formirovanie struktury naplavlennogo metalla nizkouglerodistoj stali pri razlichnyh tekhnologicheskikh vozdeystviyah [Formation of structure of deposited metal of low-carbon steel under different technological influences]. Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova. 2021, Tom. 19, No. 1, pp. 42-47.

8. Gordeeva E.S. Vliyanie fazovogo sostava zony termicheskogo vliyaniya pri svarke na ee tverdost' [Influence of phase composition of the heat affected zone on its hardness during welding]. Sovremennye problemy teorii mashin. 2019, No. 8, pp. 16-18.

9. Nikazov A.A. Obespechenie dostovernosti rezul'tatov izmerenij tverdosti po metodu Liba [Ensuring the reliability of hardness measurement results using the Leeb method]. V sbornike: Vnedrenie rezul'tatov innovacionnyh razrabotok: problemy i perspektivy. Sbornik statej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [In: Implementation of innovative developments: problems and prospects. Collection of articles from the international scientific-practical conference]. 2016, pp. 130-134.

10. Golev A.S. Osobennosti primeneniya portativnyh metodov izmereniya tverdosti [Features of using portable hardness measurement methods]. V sbornike: Vysokie tekhnologii, nauka i obrazovanie: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovacii. Sbornik statej VII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii [In: High technologies, science and education: current issues, achievements and innovations. Collection of articles from the VII All-Russian scientific-practical conference]. 2020, pp. 22-27.

11. Larchenko A.G. Problemy i pogreshnosti pri izmerenii tolshchiny oboda kolesa kolesnyh par gruzovogo vagona [Problems and errors in measuring the thickness of the wheel rim of freight wagon wheelsets]. Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie [Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie]. 2023, No. 2 (78), pp. 10-18.

12. Larchenko A.G. Nerazrushayushchij kontrol' i diagnostika izdelij iz reaktoplastov (tormoznye kolodki) [Non-destructive testing and diagnostics of products made of reactoplasts (brake pads)]. Kontrol'. Diagnostika [Kontrol'. Diagnostika]. 2022, Tom. 25, No. 3(285), pp. 46-51.

13. Truskov V.A., Larchenko A.G. Razrabotka kompleksa laboratornyh rabot v oblasti kontrolya kachestva izdelij i materialovedeniya [Development of a complex of laboratory works in the field of product quality control and materials science]. Molodaya nauka Sibiri. 2022, No. 1 (15), pp. 132-139.

14. Voronin N.N. Materialovedenie i tekhnologiya konstrukcionnyh materialov dlya zheleznodorozhnoj tekhniki [Materials science and technology of structural materials for railway engineering]. Moscow: Marshrut, 2013. 456 p.

15. Larchenko A.G., Filippenko N.G., Livshits A.V., Kargapol'cev S.K. Diagnosticheskaya rabota izdelij podvizhnogo sostava vysokochastotnym metodom [Diagnostic operation of fabrications of rolling stock by high-frequency method]. V: Sbornik konferencij IOP: Materialovedenie i inzheneriya. Mezhdunarodnaya konferenciya «Transport i infrastruktura Sibirskogo regiona» [In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region], «SibTrans 2019». 2020, p. 012037.

Информация об авторах

Ларченко Анастасия Геннадьевна - к. т. н., доцент, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: Larchenkoa@inbox.ru

Лысова Анастасия Андреевна - студентка гр. ПСЖ.4-19-1, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: lysova_2001@list.ru

Information about the authors

Larchenko Anastasia Gennadijevna – Candidate of Technical Sciences, Irkutsk state University of Railways, Irkutsk, e-mail: larchenkoa@inbox.ru

Lysova Anastasia Andreevna – student, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: lysova_2001@list.ru