

*А. Г. Ларченко, А. А. Лысова*

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

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРА СВАРКИ ВНУТРЕННЕГО УГЛА БУКСОВОГО ПРОЕМА БОКОВЫХ РАМ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ**

**Аннотация.** В данной работе рассматриваются вопросы контроля качества литых деталей тележек грузовых вагонов. Качество эксплуатируемого литья напрямую влияет на безопасность, прочность, срок службы единиц подвижного состава. В статье описываются этапы литья при производстве таких крупногабаритных компонентов, как надрессорная балка и боковая рама. Представлен статистический анализ основных неисправностей боковых рам за 2023 год. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что основной процент приходится на сварку внутреннего угла буксового проема (R55). Данный угол - область с повышенной концентрацией напряжений, исправление дефектов на данном участке возможно только на заводах-изготовителях с обязательной последующей термической обработкой. На сегодняшний день дефектоскопист на ремонтных предприятиях не может оценить качество сварочного шва и присутствие последующей высокотемпературной обработки. В связи с вышесказанным, цель работы заключается в разработке методики неразрушающего контроля характера сварки внутреннего угла буксового проема боковых рам грузовых вагонов путем измерения механических свойств. В работе описана методика контроля качества, представлены результаты экспериментальных исследований с использованием универсального твердомера Metolab 701. Указаны значения твердости до и после нанесения сварочного шва, значение твердости после высокотемпературной обработки. Описаны температурные режимы таких операций, как отжиг, нормализация и закалка.

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, литые детали, грузовые вагоны, боковые рамы, надрессорные балки, сварка, термическая обработка, твердость.

*А. G. Larchenko, A. A. Lysova*

*Irkutsk State Transport University, st. Chernyshevsky 15, Irkutsk*

## **DEVELOPMENT OF A TECHNIQUE FOR NON-DESTRUCTIVE TESTING OF THE NATURE OF WELDING OF THE INTERNAL CORNER OF THE AUXILIARY OPENING OF THE SIDE FRAMES OF FREIGHT CARS**

**Abstract.** This paper discusses the issues of quality control of cast parts of freight car bogies. The quality of the casting in use directly affects the safety, strength, and service life of freight cars. This article describes the casting steps involved in the production of large components such as the bolster and side frame. A statistical analysis of the main side frame faults for 2023 is presented. Based on the data obtained, we can conclude that the main percentage is accounted for by welding the inner corner of the axle box opening (R55). This corner is an area with increased stress concentration; correction of defects in this area is possible only at manufacturing plants with mandatory subsequent heat treatment. Today, a flaw detector in modern production conditions at repair enterprises cannot assess the quality of the weld and the presence of subsequent high-temperature treatment. In connection with the above, the purpose of the work is to develop a method for non-destructive testing of the nature of welding of the internal corner of the axle box opening on cast components of a freight car bogie, by measuring the mechanical properties. The work describes the quality control method, presents the results of experimental studies using the Metolab 701 universal hardness tester. The hardness values before and after applying the weld and the hardness value after high-temperature treatment are indicated. The temperature regimes of such operations as annealing, normalization and hardening are described.

**Keywords:** non-destructive testing, cast parts, freight wagons, side frames, spring beams, welding, heat treatment, hardness.

### **Введение**

В России на данный момент эксплуатируется более миллиона двухосных тележек. Каждая такая тележка состоит из двух колесных пар с буксовыми узлами, двух литых боковых рам, надрессорной балки, двух комплектов центрального подвешивания с фрикционными гасителями колебаний и тормозной рычажной передачи. Для изготовления крупногаба-

ритных компонентов тележки применяют метод литья. Основные этапы процесса литья представлены на рис. 1.



Рис.1. Основные этапы процесса литья

Контроль качества является неотъемлемым и важным этапом не только на стадии производства, но и на всех этапах жизненного цикла. От качества литых деталей зависит безопасность, надежность работы вагонов и их срок службы. Согласно ГОСТ 19200-80 к дефектам литья относят несоответствия по геометрии и структуре, нарушения сплошности и инородные включения. Присутствие дефектов в теле отливки оказывает влияние на прочность, безопасность и сроки эксплуатации. Проведенный анализ основных неисправностей боковых рам за 2023 год показал, что основной процент приходится на сварку радиуса 55.

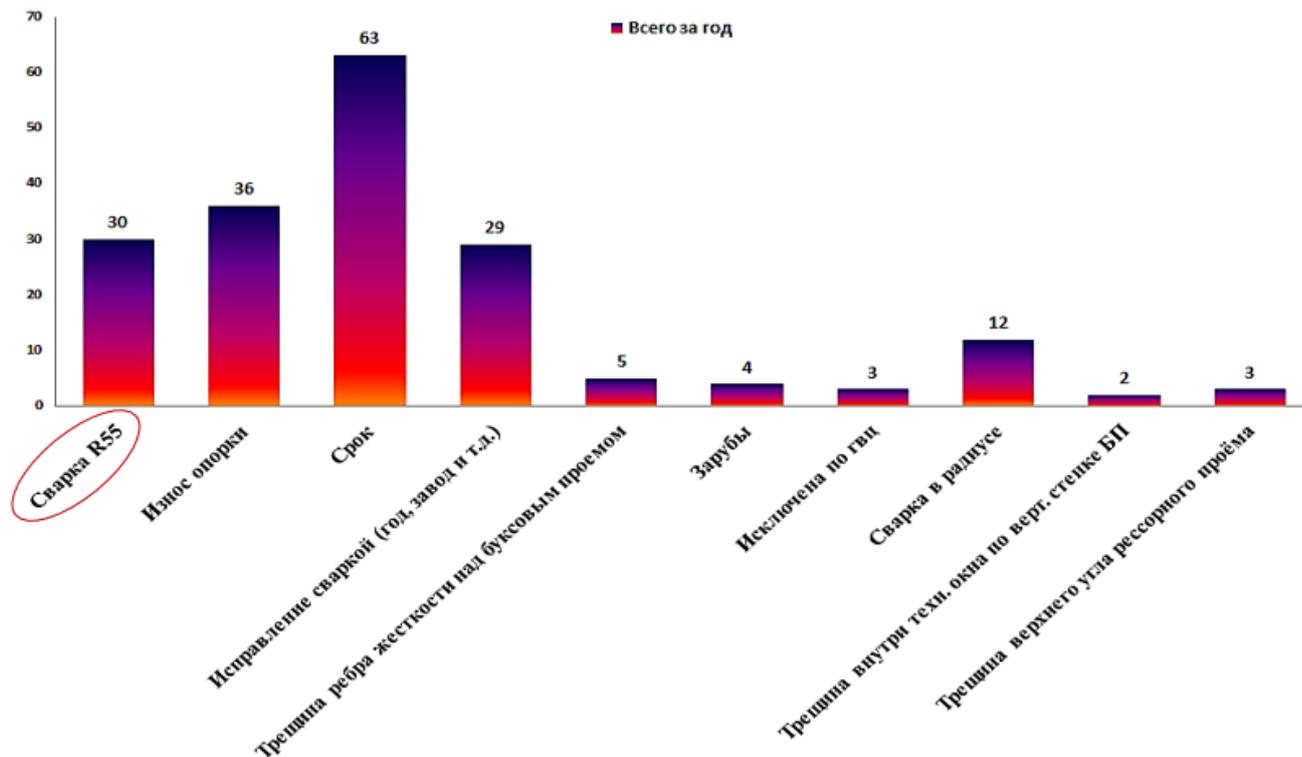


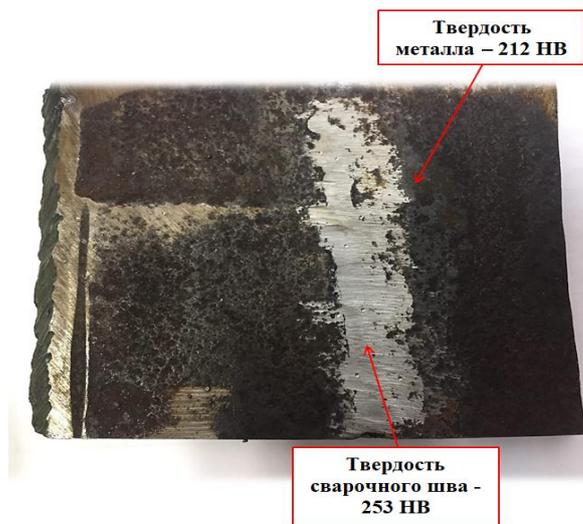
Рис.2. Анализ неисправностей боковой рамы за 2023 год

Внутренней угол буксового проема (R55) - область с повышенной концентрацией напряжений [1 – 16]. В соответствии с нормативными документами, в этой зоне дефекты и следы исправления не допускаются. На сегодняшний день исправление дефектов на данном участке возможно только на заводах-изготовителях с обязательной последующей термической обработкой. Термическая обработка осуществляется с целью снятия внутренних напряжений и стабилизации механических свойств. При поступлении вагона в депо, специалист по

неразрушающему контролю не может ни визуально, ни с использованием современных средств дефектоскопии определить, в каких условиях была нанесена сварка в области радиуса, подвергалась ли деталь совместно со сварочным швом какой-либо термической обработке. Отсутствие методики контроля характера сварки приводит к необоснованной браковке литья, что подтверждается статистическими данными (рис.2). В связи с вышесказанным поставлена цель работы - разработать методику неразрушающего контроля характера сварки внутреннего угла буксового проема, путем измерения механических свойств.

#### **Разработка методики контроля качества**

Область, на которую оказывается воздействие высоких температур во время сварочных работ, называется зоной термического влияния. Зона термического влияния состоит из шести участков. Для каждого участка характерна своя структура и механические свойства, которые значительно отличаются от основного металла [4 – 8]. Соответственно присутствие следов сварки и наличие последующей термической обработки, возможно, определить путем измерения механических свойств. Для подтверждения выдвинутой гипотезы было принято решение провести экспериментальные исследования. На базе ремонтного предприятия, были изготовлены образцы из стали марки 20ГФЛ и с использованием универсального твердомера Metolab 701 и уже в лабораторных условиях в соответствии с ГОСТ 9012-59, была определена твердость каждого образца. С вероятностью 0,95 % твердость составила  $200,4 \pm 12$  НВ. Значения не противоречат доступным справочным данным. После на образцах были нанесены трещины с последующей наплавкой. Металл на основном участке остается в пределах заданного диапазона, его твердость составляет  $200,4 \pm 12$  НВ. Однако в зоне термического влияния происходят значительные изменения. Твердость сварочного шва превышает первоначальные значения твердости (рис.3).



**Рис. 3. Значение твердости (основной металл, сварочный шов)**

С целью стабилизации механических свойств было решено провести термическую обработку, учитывая отсутствие предварительных данных в первую очередь, была выполнена закалка с последующим отжигом. Для осуществления термической обработки использовалась муфельная печь ПМ-14М1П-1250Т, нагретая до температуры  $950^{\circ}\text{C}$ . При данной температуре образцы выдерживали в течение 30 минут и затем охлаждались в воде, что привело к образованию структуры мартенсита. После этого образцы подвергались процедуре отжига. Отжиг снизил твердость, стабилизировал металл, но получить первоначальные механические свойства не удалось. Далее при изучении нормативной документации и инструкций было принято решение провести нормализацию с последующим измерением твердости (рис.4). Возникла необходимость определить оптимальную температуру нагрева для стали 20ГФЛ, которая составляет  $930-970^{\circ}\text{C}$ . Однако, учитывая условия проведения обработки в муфельной печи, рекомендуется нагревать сталь до более высокой температуры -  $1050-$

1100°C, чтобы обеспечить запас и избежать возможных перепадов температуры. Время нагрева печи составило 2 часа, после чего образцы выдерживались в течение 30 минут, и проходили последующее охлаждение.

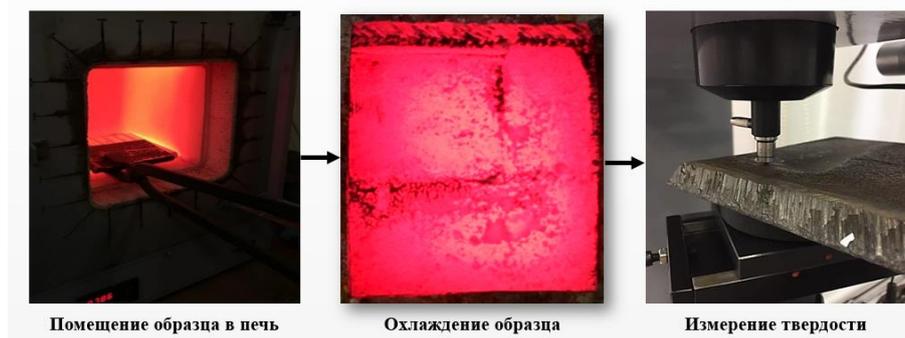


Рис. 4. Проведение термической обработки

Результаты полученных экспериментальных данных после проведения нормализации, представлены в таблице №1.

Таблица 1 – Результаты измерения твердости после проведения термической обработки

Образцы после термической обработки	
Нормализация	
Сварочный шов	Основной металл
Твердость по Бринеллю НВ	
156 НВ	163 НВ
156 НВ	166 НВ
167 НВ	161 НВ
140 НВ	176 НВ
165 НВ	178 НВ
163 НВ	165 НВ
Доверительный интервал	
<b>158±10,4</b>	<b>168±11,2</b>

### Заключение

Согласно представленным результатам после проведения нормализации, твердость сварного шва составляет  $158 \pm 10,4$  НВ, а твердость металла с доверительным интервалом  $168 \pm 11,2$  НВ. На данном этапе уже можно сделать вывод о том, что наличие термической обработки можно свидетельствовать близкими значениями твердости основного металла и металла шва. Разность значений твердости говорит об отсутствии дополнительных процессов обработки. Следующие этапы исследований заключается в подборе оптимальных параметров термической обработки, выборе оборудования для неразрушающего контроля, и апробации методики в условиях производственных процессов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. РД 32 ЦВ 052-2009. Руководство по ремонту тележек грузовых вагонов зазорного типа.
2. 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.).
3. 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.

4. Криворудченко В.Ф., Игнатъев 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.
5. 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.
6. Неровный В.М., Коновалов А.В., Якушин Б.Ф., Макаров Э.Л., Куркин А.С. "Теория сварочных процессов (2-е издание)". Москва, 2016.
7. Гордеева Э.С. Влияние фазового состава зоны термического влияния при сварке на ее твердость // Современные проблемы теории машин. 2019. № 8. С. 16-18.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Ларченко А.Г. Неразрушающий контроль и диагностика изделий из реактопластов (тормозные колодки) // Контроль. Диагностика. 2022. Т. 25. № 3 (285). С. 46-51.
12. Ларченко А. Г., Яковлев Д. А. Разработка методики диагностики тормозных колодок подвижного состава из композиционных материалов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2022. № 9. С. 1–5.
13. Воронин Н.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов для железнодорожной техники. Москва: Маршрут, 2013. 456 с.
14. Ларченко А.Г., Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В. Методика диагностирования полимерных электроизоляционных материалов // Контроль. Диагностика. 2021. Т.24. № 3 (273). С. 24-31.
15. Filippenko N.G., Larchenko A.G. Automated experiment systems for studying the properties of transport polymer materials in high-frequency electrothermia // Siberian Journal of Science and Technology. 2020. Т. 21. № 2. С. 279-288.
16. ГОСТ 32400-2013. РАМА БОКОВАЯ И БАЛКА НАДРЕССОРНАЯ ЛИТЫЕ ТЕЛЕЖЕК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ: дата введения от 14 ноября 2013 г. № 44. - Москва: Стандартинформ, 2014. – 61 с.

#### REFERENCES

1. RD 32 CV 052-2009. Rukovodstvo po remontu telezhkek gruzovyh vagonov zazornogo tipa [Manual for repair of bogies for freight wagons of gap type].
2. Sravnitel'nyj analiz konsol'nyh chastej bokovyh ram telezhkek 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.).
3. Argunova A.A., Semenov Y.S., Myreev N.V., Gabysheva T.A. Vliyanie mikrostruktury zony termicheskogo vliyaniya i linii splavleniya 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.

4. 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 putej soobshcheniya], 2020, No. 4(53), pp. 65-70.
5. 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.
6. Nerovny V.M., Konovalov A.V., Yakushin B.F., Makarov E.L., Kurkin A.S. Teoriya svarochnykh processov (2-e izdanie) [Theory of welding processes (2nd edition)]. Moscow, 2016.
7. Gordeeva E.S. Vliyanie fazovogo sostava zony termicheskogo vliyaniya pri svarke na ee tverdst' [Influence of phase composition of the heat affected zone on its hardness during welding]. Sovremennye problemy teorii mashin. 2019, No. 8, pp. 16-18.
8. Sheksheev M.A., Shiryeva E.N. Formirovanie struktury naplavlennogo metalla nizkouglerodistoj stali pri razlichnykh 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.
9. Golev A.S. Osobennosti primeneniya portativnykh metodov izmereniya tverdsti [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.
10. Nikazov A.A. Obespechenie dostovernosti rezul'tatov izmerenij tverdsti po metodu Liba [Ensuring the reliability of hardness measurement results using the Leeb method]. V sbornike: Vnedrenie rezul'tatov innovacionnykh 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.
11. 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.
12. Larchenko A.G., Iakovlev D.A. Razrabotka metodiki diagnostiki tormoznykh kolodok podvizhnogo sostava iz kompozitsionnykh materialov [Development of diagnostic methods for brake pads of rolling stock made of composite materials] // Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika [Devices and systems. Management, control, diagnostics]. 2022. no 9. S. 1–5.
13. 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.
14. Larchenko A.G., Filippenko N.G., Livshits A.V. Metodika diagnostirovaniia polimernykh elektroizoliatsionnykh materialov [The method of diagnosing polymer electrical insulation materials] // Kontrol'. Diagnostika [Kontrol. Diagnostika]. 2021. T.24. no 3 (273). S. 24-31.
15. Filippenko N.G., Larchenko A.G. Automated experiment systems for studying the properties of transport polymer materials in high-frequency electrothermia // Siberian Journal of Science and Technology. 2020. T. 21. № 2. С. 279-288.
16. GOST 32400-2013. RAMA BOKOVAIA I BALKKA NADRESSORNAIA LITYE TELEZHEK ZHELEZNODOROZHNYKH GRUZOVYKH VAGONOV [THE SIDE FRAME AND THE SPRING BEAM ARE CAST BOGIES OF RAILWAY FREIGHT CARS]: data vvedeniia ot 14 noiabria 2013 g. no 44. - Moskva: Standartinform, 2014. 61 p.

*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 Gennadievna* – 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