

С.С. Урлапов¹, М.И. Крапивин¹

¹Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ НА ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Аннотация. Проведен анализ статистики отказов электрооборудования на тяговых подстанциях Восточно-Сибирской железной дороги в период с 2012 года по 2022 год, информация о которых получена в Восточно-Сибирской дирекции по энергообеспечению. В качестве метода анализа для выявления наиболее проблемных видов оборудования использована диаграмма Парето. Представлена классификация причин отказов оборудования в виде круговой диаграммы, сделаны выводы о наиболее часто встречающихся причинах отказов – в основном это износ оборудования.

Выполнен анализ наиболее повреждаемого вида оборудования, а именно выключателей, рассмотрены общие причины отказов, характерные для каждого вида рассматриваемого оборудования. По общепринятой методике проведена классификация указанных причин, построена круговая диаграмма, также сделаны соответствующие выводы.

Сформирован общий вывод на основании проведенного ранее анализа, с учетом сложившейся ситуации, заключающейся в невозможности принятия крупномасштабных мер для решения установленной проблемы по необходимости замены большого количества оборудования. Решено провести анализ информации по рационализаторским предложениям, внесенным сотрудниками дистанций электроснабжения Российских железных дорог за последние пять лет, касательно высоковольтных выключателей. Рассмотрены несколько рационализаторских предложений, возможных для внедрения на тяговых подстанциях Восточно-Сибирской дирекции по энергообеспечению, с целью повысить надежность работы масляных и вакуумных выключателей, марки которых находятся в эксплуатации на Восточно-Сибирской железной дороге, что позволит снизить общее количество отказов.

Ключевые слова: анализ, отказы, статистика, рационализаторские предложения, оборудование, высоковольтные выключатели

S.S. Uralpov¹, M.I. Krapivin¹

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

DAMAGE ANALYSIS OF ELECTRICAL EQUIPMENT OF TRACTION SUBSTATIONS ON THE EAST SIBERIAN RAILWAY

Annotation. The analysis of the statistics of failures of electrical equipment at traction substations (TP) of the East Siberian Railway in the period from 2012 to 2022, information about which was obtained in the East Siberian Directorate for Energy Supply. The Pareto diagram was used as an analysis method to identify the most problematic types of equipment. The classification of the causes of equipment failures in the form of a pie chart is presented, conclusions are drawn about the most common causes of failures – mainly equipment wear.

The analysis of the most damaged type of equipment, namely switches, is carried out, the general reasons of failures characteristic of each type of the considered equipment are considered. According to the generally accepted methodology, the classification of these causes was carried out, a pie chart was constructed, and appropriate conclusions were also drawn.

A general conclusion has been formed based on the analysis carried out earlier, taking into account the current situation, which consists in the impossibility of taking large-scale measures to solve the established problem due to the need to replace a large number of equipment. It was decided to analyze information on rationalization proposals made by employees of power supply distances of Russian railways over the past five years regarding high-voltage switches. Several rationalization proposals are considered, possible for implementation at traction substations of the East Siberian Directorate for Energy Supply, in order to increase the reliability of oil and vacuum circuit breakers, the brands of which are in operation on the East Siberian Railway, which will reduce the total number of failures.

Keywords: analysis, failures, statistics, rationalization proposals, equipment, high-voltage switches.

Введение

Электрификация Восточно-Сибирской железной дороги осуществлялась с конца 50-х годов прошлого столетия. На многих тяговых подстанциях этой железной дороги сохранились отдельные виды оборудования – силовые трансформаторы, выключатели, разъединители и

т.п. с момента ввода их в эксплуатацию [1-4]. В среднем, порядка 40-50% оборудования тяговых подстанций имеет срок эксплуатации более 40 лет. За такой длительный период произошел существенный физический и моральный износ оборудования, снижающий энергоэффективность работы тяговых подстанций [5-9].

Целью данной статьи является анализ статистики наиболее часто выходящего из строя оборудования тяговых подстанций Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД), а также характера и наиболее частых причин этих повреждений. Зная причины повреждений, можно предотвратить их возникновение, и, соответственно, повысить надежность работы подстанций, а также снизить эксплуатационные расходы согласно задачи энергосбережения [10-12].

Анализ статистики

Для выявления наиболее проблемных видов аппаратов использовался перечень основных отказов электрооборудования по данным ВСЖД в период с 2012-2022 г.г. В перечне рассматривались 73 случая отказов (табл. 1).

Таблица 1

Статистика отказов оборудования тяговых подстанций за 2012-2022г.г.

Вид отказа	Количество отказов по виду оборудования					
	Разрядники и ОПН	Выключатели	Токоведущие части	Измерительные трансформаторы	Отделители, разъединители	Изоляторы
Эксплуатационный	1	6	8	2	1	—
Конструктивный	—	4	—	—	1	—
Внешний	—	6	5	2	—	—
Деградиционный	1	14	6	1	5	10

Согласно данной информации сформирована диаграмма Парето, представленная на рис. 1.

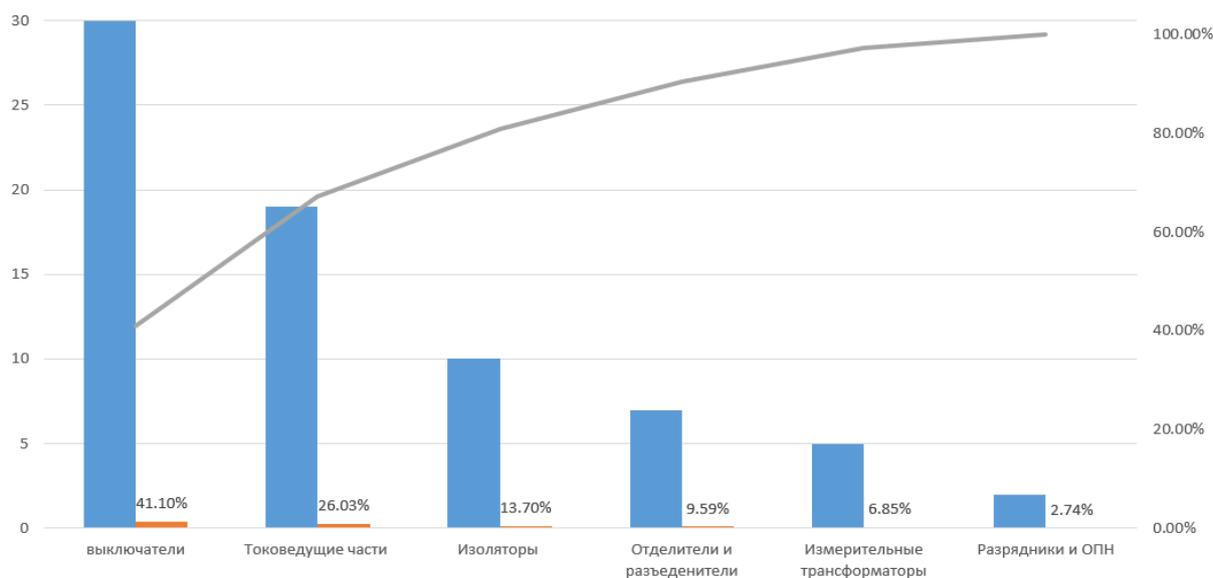


Рис. 1. Диаграмма Парето

По данной диаграмме можно сделать вывод, что 80% повреждений приходится на такие виды оборудования как: выключатели, токоведущие части и изоляторы.

Далее представлена классификация причин отказов оборудования (рис. 2). Видим, что наибольшее количество отказов приходится на деградационную причину – 50,68%.



Рис. 2. Причины отказов

Анализ отказов выключателей

Далее выполнен анализ причин отказов наиболее повреждаемого оборудования, а именно выключателей. Рассмотрены наиболее частые причины отказов, характерные для каждого вида выключателей, ими являются:

- ложное или неправильное срабатывание устройств релейной защиты и автоматики, приведшее к неселективному отключению выключателей, повреждениям в цепях управления и сигнализации выключателей;
- собственные повреждения выключателей, в том числе, приводов, механизмов, вводов;
- повреждения другого оборудования – нагревы болтовых соединений, обрывы, искрения на трансформаторах тока, высокочастотных заградителях, конденсаторах связи, повреждения, короткие замыкания на секции или системе шин;
- ошибочные действия обслуживающего персонала;
- неудовлетворительное состояние дугогасящей среды – снижение уровня изоляции или течь масла;
- также определенное количество повреждений приходится на неустановленные причины.

Указанные причины классифицированы по общепринятой методике. Результаты представлены на диаграмме (рис. 3). Видим, что 47% причин отказов носят деградационный характер.

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать вывод о значительном старении оборудования тяговых подстанций на ВСЖД и необходимости их масштабной реконструкции. Однако, очевидно, что масштабная реконструкция одномоментно невозможна по причине необходимых столь же масштабных финансовых вложений. Поэтому выполнен анализ информации по рационализаторским предложениям, которые внесены работниками дистанций электроснабжения российских железных дорог применительно к высоковольтным выключателям за последние пять лет. Рассмотрим в качестве примера две интересные разработки, направленные на повышение надежности работы масляных и вакуумных выключателей, марки которых находятся в эксплуатации на ВСЖД.



Рис. 3. Причины отказов выключателей

1. Восстановление поводковой тяги к масляному выключателю.

На ЭЧ-7 «Шилка» Забайкальской железной дороги, при выявлении причины не включения масляного выключателя, выяснилось что, данная неисправность возникла из-за срыва тяги с резьбы при выходе подвижного контакта из розетки - при срабатывании (включении, отключении) выключателя постепенно происходит износ резьбового соединения стеклопластиковой тяги, что приводит к разрушению данного узла. Для устранения неисправности предлагается просверлить тягу с механизмом переключения привода и установить заклепки (рис. 4). Данная модернизация позволяет продлить срок службы выключателей, без замены основных деталей привода и соответственно без серьезных финансовых затрат.

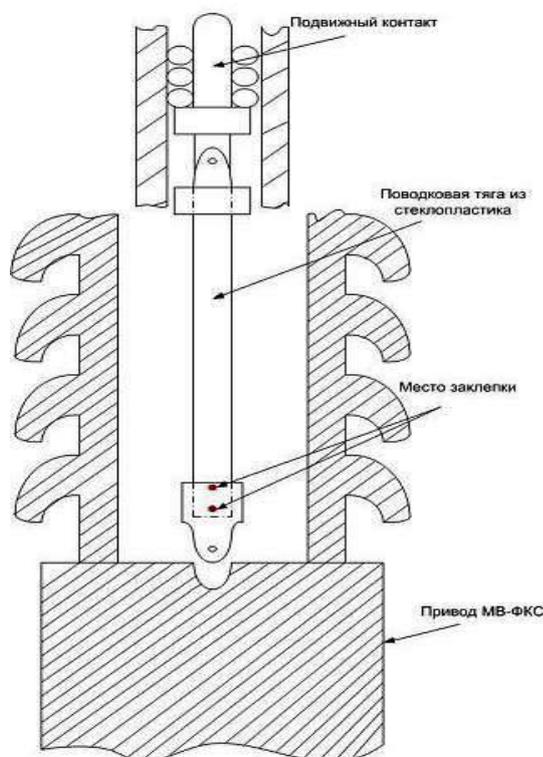


Рис.4. Установка заклепок

2. Устранение течи масла по валу привода ВВК-27,5 с применением изделий из модифицированного полиэтилена (полиолефина):

Данная разработка предложена ЭЧ-4 «Свободный» Забайкальской железной дороги в связи с тем, что в процессе эксплуатации выключателей ВВК-27,5 часто возникает необходимость в межремонтные сроки устранять течи масла по валу привода путем замены уплотнительной резиновой манжеты.

В результате осмотров определили, что некоторые валы приводов имеют низкую чистоту обработки (которая проявляется в виде шероховатой поверхности, дорожки от режущего инструмента), возможен низкий предел допуска от номинального размера вала, что приводит к быстрому износу резиновой манжеты в зоне контакта с валом, либо недостаточному натягу, приводящим к возникновению течи масла и последующим непроизводительным затратам на их устранение, повышению пожарной опасности и нарушениям экологической обстановки.

Рационализаторами ЭЧ Свободный предложено для устранения причин, приводящих к течи масла по валам приводов, применять гибкие, химически стойкие термоусаживаемые трубки (ТУТ), способные работать при повышенных температурах (до $+150^{\circ}\text{C}$), не теряющие своей гибкости и прочности под воздействием механических нагрузок, не трескающиеся при воздействии низких температур (-50°C и ниже), имеющие высокую сопротивляемость к истиранию и механическим воздействиям.

Для устранения течи по валу привода ЗВ-27,5 применена ТУТ 40/20 с коэффициентом усадки 2:1, с минимальной толщиной стенки до усадки 0,5 мм, маслостойкий силиконовый герметик, для герметизации границы перехода в масляной среде, также возможно использование бандажа из маслостойкой ТУТ с клеевым слоем (рис. 5).

Термоусадка выполняется посредством строительного фена газовой горелкой в соответствии с требованиями производителя ТУТ.

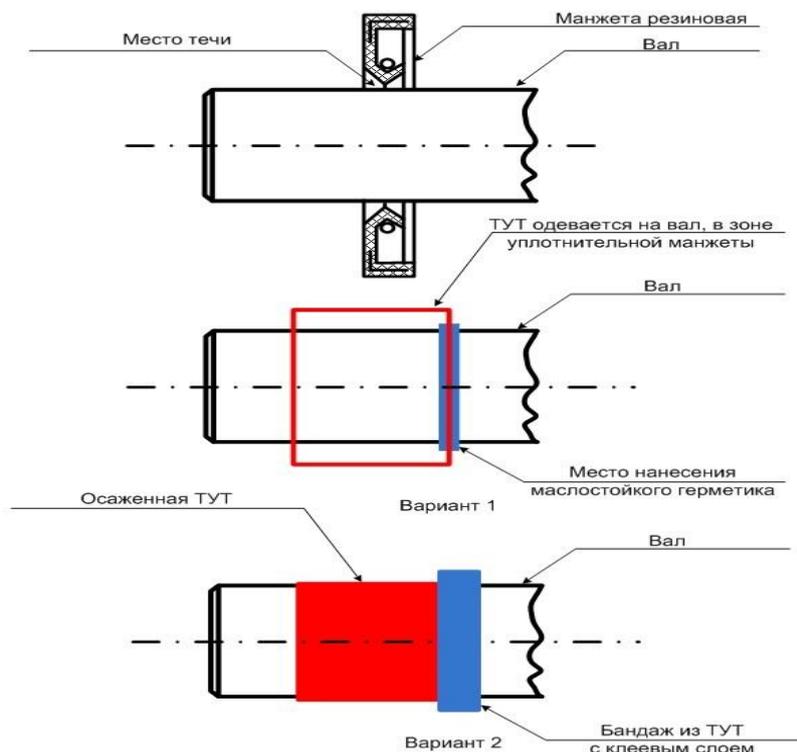


Рис.5. Применение ТУТ

Заключение

Выполненный в данной работе статистический анализ повреждений оборудования тяговых подстанций свидетельствует о значительном износе многих видов оборудования. Это снижает надежность работы всей системы тягового электроснабжения, особенно при существенно возрастающих нагрузках, вызванных включением в график движения все большего количества тяжеловесных поездов, включая сдвоенные по 14200 т [13-15]. Такая ситуация

требует значительных финансовых вложений по замене изношенного оборудования на большом числе тяговых подстанций и других железнодорожных устройств.

Частично проблема может быть решена путем все более широкого применения разработанных специалистами дистанций электроснабжения рационализаторских предложений, направленных на повышение надежности работы оборудования тяговых подстанций. В процессе проведенного исследования выполнен анализ подобных рационализаторских предложений. Выбраны наиболее интересные и полезные из них для применения на ВСЖД.

Таким образом, внедрение данных разработок для марок выключателей, применяемых на тяговых подстанциях ВСЖД, позволят снизить их общее количество отказов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пузина Е.Ю. Оценка остаточного ресурса тяговых трансформаторов Северного хода ВСЖД. Транспорт-2013: труды международной научно-практической конференции.–Ростов-на-Дону: Изд-во РГУПС, 2013.–С. 173-175.
2. N. Kalathiripi and S. Karmakar, "Fault analysis of oil-filled power transformers using spectroscopy techniques," 2017 IEEE 19th International Conference on Dielectric Liquids (ICDL), Manchester, pp. 1–5, 2017.
3. Туйгунова А.Г., Худоногов И.А. Применение систем мониторинга на силовых трансформаторах тяговых подстанций ВСЖД. Инновационные технологии на железнодорожном транспорте. Труды XXI Межвузовской научно-практической конференции. КриЖТ ИрГУПС. 2017. С 7-12.
4. Раздобреева А.А., Востриков В.М., Тихомиров В.А. Способ комплексной оценки текущего состояния и мониторинга остаточного ресурса тяговых трансформаторов на Забайкальской железной дороге с использованием современных технических подходов. Молодая наука Сибири. 2022. № 2 (16). С. 118-130.
5. Лундалин А.А., Пузина Е.Ю., Худоногов И.А., Кашковский В.В. Анализ надежности электроснабжения транспортных систем в зависимости от состояния устройств релейной защиты и автоматики. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 3 (63). С. 127-135.
6. Волчков Ю.Д., Махиянова Н.В. Надежность длительно эксплуатируемых распределительных электрических сетей. Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов. Сборник трудов седьмой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Амурский государственный университет. 2013. С. 307-309.
7. Туйгунова А.Г., Худоногов И.А., Пузина Е.Ю. О переводе питания СЦБ с 27,5 кВ на нетяговую обмотку на тяговой подстанции переменного тока// Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. № 4 (60). С. 93-98.
8. Барыкина Ю.Н., Пузина Е.Ю. Интеллектуальные системы потребителей. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Под общ. ред. В.В. Федчишина. 2015.- С.80-85.
9. Есауленко А.С., Ступицкий В.П., Тихомиров В.А., Лобанов О.В. К повышению надежности устройств контактной сети. Молодая наука Сибири. 2021. № 2 (12). С. 200-205.
10. Боброва Ю.М., Пузина Е.Ю. Необходимость активизации энергосбережения в России. Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Иркутск, 19-22 апреля, 2016 г.): в 2 т/ под общ. ред. В.В. Федчишина.-Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2016.-Т.2.- С.142-147.
11. Пашина Ю.С., Буньковский В.И. Актуальные проблемы устойчивого развития в современном менеджменте. Проблемы управления производственными и инновационными системами. Материалы статей Всероссийской научно-практической конференции. 2021. С. 69-71.

12. Нечаев А.С., Берегова Г.М., Вязников В.Е., Антипина О.В., Барыкина Ю.Н. Сравнительный анализ влияния инновационных технологий и цифровой трансформации в развитии мирового хозяйства. Экономический альманах. Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции. 2021. С. 229-232.
13. Воронина Е.В., Куцый А.П. Модернизация пути и повышение пропускной способности однопутного электрифицированного участка железной дороги Якурим-Киренга. Молодая наука Сибири. 2021. № 3 (13). С. 196-204.
14. Шевердин И.Н., Шаманов В.И., Трофимов Ю.А. Влияние тяжеловесных поездов на рельсовые цепи и АЛС. Автоматика, связь, информатика. 2004. № 8. С.24.
15. Куцый А.П., Овечкин И.С., Галков А.А. Повышение пропускной способности участка Якурим-Киренга для обеспечения тяги сдвоенных электроподвижных составов массой 14200 т. Молодая наука Сибири. 2022. № 2 (16). С. 137-149.

REFERENCES

1. Puzina E.Yu. Assessment of the residual resource of traction transformers of the Northern course of the VSZHD. Transport-2013: Proceedings of the International scientific and practical conference.– Rostov-on-Don: Publishing House of RSUPS, 2013.–pp. 173-175.
2. H. Kalathiripi and S. Karmakar, "Fault analysis of oil-filled power transformers using spectroscopy techniques," 2017 IEEE 19th International Conference on Dielectric Liquids (ICDL), Manchester, pp. 1-5, 2017.
3. Tuigunova A.G., Khudonogov I.A. Application of monitoring systems on power transformers of traction substations of VSZHD. Innovative technologies in railway transport. Proceedings of the XXI Interuniversity Scientific and Practical Conference. Krizht IrGUPS. 2017. From 7-12.
4. Razdobreeva A.A., Vostrikov V.M., Tikhomirov V.A. A method for a comprehensive assessment of the current state and monitoring of the residual life of traction transformers on the Trans-Baikal Railway using modern technical approaches. The young science of Siberia. 2022. No. 2 (16). pp. 118-130.
5. Lundalin A.A., Puzina E.Yu., Khudonogov I.A., Kashkovsky V.V. Analysis of the reliability of power supply of transport systems depending on the state of relay protection and automation devices. Modern technologies. System analysis. Modeling. 2019. No. 3 (63). pp. 127-135.
6. Volchkov Yu.D., Makhyanova N.V. Reliability of long-term operated distribution electric networks. Energy: management, quality and efficiency of energy resources use. Proceedings of the Seventh All-Russian Scientific and Technical Conference with international participation. Amur State University. 2013. pp. 307-309.
7. Tuigunova A.G., Khudonogov I.A., Puzina E.Yu. About the transfer of the power supply of the SCB from 27.5 kV to a non-traction winding at an alternating current traction substation// Modern technologies. System analysis. Modeling. 2018. No. 4 (60). pp. 93-98.
8. Barykina Yu.N., Puzina E.Yu. Intelligent consumer systems. Materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation. Under the general editorship of V.V. Fedchishin. 2015.- pp.80-85.
9. Esaulenko A.S., Stupitsky V.P., Tikhomirov V.A., Lobanov O.V. To increase the reliability of contact network devices. The young science of Siberia. 2021. No. 2 (12). pp. 200-205.
10. Bobrova Yu.M., Puzina E.Yu. The need to activate energy saving in Russia. Improving the efficiency of energy production and use in Siberia: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation (Irkutsk, April 19-22, 2016): in 2 t/ under the general editorship of V.V. Fedchishin.-Irkutsk: IRNITU Publishing House, 2016.-Vol.2.- pp.142-147.
11. Pashina Yu.S., Bunkovsky V.I. Actual problems of sustainable development in modern management. Problems of management of production and innovation systems. Materials of articles of the All-Russian scientific and practical conference. 2021. pp. 69-71.
12. Nechaev A.S., Bereгова G.M., Vyaznikov V.E., Antipina O.V., Barykina Yu.N. Comparative analysis of the impact of innovative technologies and digital transformation in the development of

the world economy. Economic almanac. Materials of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference. 2021. pp. 229-232.

13. Voronina E.V., Kutsy A.P. Modernization of the track and increasing the capacity of the single-track electrified section of the Yakurim-Kirenga railway. The young science of Siberia. 2021. No. 3 (13). pp. 196-204.

14. Sheverdin I.N., Shamanov V.I., Trofimov Yu.A. The influence of heavy trains on rail chains and ALS. Automation, communications, computer science. 2004. No. 8. p.24.

15. Kutsy A.P., Ovechkin I.S., Galkov A.A. Increasing the throughput capacity of the Yakurim-Kirenga section to provide traction for twin electric rolling stock weighing 14200 tons. The young science of Siberia. 2022. No. 2 (16). pp. 137-149.

Информация об авторах

Урланов Сергей Сергеевич – студент гр. СОД.1-20-2, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск. e-mail: worden472754@gmail.com

Крапивин Михаил Иванович – студент гр. СОД.1-20-2, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: mihail.krapivin03@gmail.com

Authors

Urlapov Sergey Sergeevich – student g. SOD.1-20-2, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: worden472754@gmail.com

Krapivin Mikhail Ivanovich – student g. SOD.1-20-2, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: mihail.krapivin03@gmail.com