

Автоматизация процесса устранения неисправностей электровозов в пути следования

Е.А. Третьяков✉, А.П. Шиялков, А.Н. Соловьев

Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, Российская Федерация

✉eugentr@mail.ru

Резюме

Одним из направлений совершенствования электрических подвижных составов является внедрение на них передовых цифровых, аппаратно-программных и интеллектуальных технологий, способных повысить их производительность, эксплуатационную надежность и обеспечить безопасность движения. Современные электровозы должны оснащаться информационно-управляющими бортовыми комплексами, поддерживающими подключение дополнительных управляющих и контрольно-измерительных систем и приборов. К числу таких интеллектуальных инструментов можно отнести системы поддержки принятия решений машинистом, обеспечивающие повышение оперативности действий работников локомотивной бригады в различных ситуациях, в том числе и в нестандартных. В статье представлены результаты исследования возможности автоматизации процесса устранения неисправностей электровозов в пути следования. На основании анализа инструктивных документов, устанавливающих порядок действий локомотивной бригады при возникновении поломки в пути следования и устранении ее последствий, определены основные виды наиболее вероятных повреждений. Разработана классификация методов устранения неисправностей, позволяющая систематизировать отдельные операции в процессе ликвидации неполадок по месту их возникновения, по виду применяемого оборудования, по целевому назначению. В соответствии с разработанной классификацией определена перспектива автоматизации разных операций, выполняемых в настоящее время локомотивной бригадой вручную, и установлено влияние ее на продолжительность восстановления работоспособности электровоза в пути следования. Предложены три уровня автоматизации систем поддержки принятия решений машиниста, для каждого из которых выработаны требования к техническому оснащению электровоза. Полная автоматизация процесса устранения неисправностей в пути следования требует внесения принципиальных изменений в конструкцию и систему управления электрическим, механическим и пневматическим оборудованием локомотива.

Ключевые слова

электрический подвижной состав, неисправность в пути следования, система поддержки принятия решений, автоматизация операций, информационно-управляющие бортовые комплексы

Для цитирования

Третьяков Е.А. Автоматизация процесса устранения неисправностей электровозов в пути следования / Е.А. Третьяков, А.П. Шиялков, А.Н. Соловьев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 2 (82). С. 98–110. DOI 10.26731/1813-9108.2024.2(82).98-110.

Информация о статье

поступила в редакцию: 15.04.2024 г.; поступила после рецензирования: 22.04.2024 г.; принята к публикации: 24.04.2024 г.

Automation of the troubleshooting process in electric locomotives in route by train

Е.А. Tret'yakov✉, А.Р. Shilyakov, А.Н. Solov'ev

Omsk State Transport University, Omsk, the Russian Federation

✉eugentr@mail.ru

Abstract

One of the areas for improving electric rolling stock is the introduction of advanced digital, hardware, software and intelligent technologies that can increase its productivity, operational reliability and ensure traffic safety. Modern electric locomotives must be equipped with on-board information and control systems that support the connection of additional control and instrumentation systems and instruments. Such intelligent systems include driver decision support systems, which ensure increased efficiency of actions of locomotive crew workers in various situations, including emergency ones. The paper presents the results of a study of the possibility of automating the process of troubleshooting electric locomotives along the route. Based on the analysis of instructional documents establishing the procedure for the locomotive crew to act in the event of a malfunction along the route and eliminating its consequences, the main types of possible equipment malfunctions were identified. A classification of troubleshooting methods has been developed, which makes it possible to systematize individual operations in the process of troubleshooting according to the place where they are performed, by the type of equipment used, and by their intended purpose. Based on the de-

veloped classification, the possibility of automating various operations currently performed manually by a locomotive crew has been determined, and its influence on the duration of troubleshooting an electric locomotive along the route has been established. Three levels of automation of driver decision support systems are proposed, with the requirements for the technical equipment of an electric locomotive determined for each. Full automation of the process of troubleshooting along the route requires fundamental changes in the design and control system of the electrical, mechanical and pneumatic equipment of the locomotive.

Keywords

electric rolling stock, fault along the route, decision making support system, automation of operations, on-board information and control systems

For citation

Tret'yakov E.A., Shilyakov A.P., Solov'ev A.N. Avtomatizatsiya protsessa ustraneniya neispravnosti elektrovozov v puti sledovaniya [Automation of the troubleshooting process in electric locomotives in route by train]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2024, no. 2(82), pp. 98–110. DOI: 10.26731/1813-9108.2024.2(82).98-110.

Article Info

Received: April 15, 2024; Revised: April 22, 2024; Accepted: April 24, 2024.

Введение

Современные тенденции совершенствования отечественного электроподвижного состава (ЭПС) во многом определяются задачами, сформулированными в соответствии с приоритетными направлениями научно-технологического развития ОАО «РЖД», в том числе определенными в рамках реализации проекта «Цифровая железная дорога ОАО «РЖД». Данный проект предполагает внедрение таких объектов, как «умная станция», «умный локомотив», «умная инфраструктура», использование технологии «Автоматизация», осуществление широкой автоматизации технологических процессов и применение интеллектуальных систем в различных сферах деятельности железнодорожного комплекса [1].

Одним из решений, реализуемых в рамках данного проекта, является использование малолюдных и безлюдных систем и средств управления, позволяющих минимизировать или исключить участие человека из целого ряда технологических процессов, включая использование технологий промышленного интернета вещей (Industrial Internet of Things, IIoT) и больших данных (Big Data).

Особое внимание в создаваемой структуре современного железнодорожного транспорта отводится внедрению средств автоматизации на тяговом подвижном составе, повышению его эксплуатационной надежности, производительности и энергоэффективности.

Одним из ключевых требований к инновационному электроподвижному составу является применение на нем современных информационно-управляющих бортовых комплексов, позволяющих осуществлять бортовую диагно-

стику тяговых и вспомогательных электрических машин, электрического, механического и пневматического оборудования. Подобные комплексы должны иметь возможность реализации функций автоматизированного прогнозирования наступления предотказного состояния оборудования на основе результатов обработки текущих значений и динамики изменения контролируемых параметров. В случае риска возникновения отказа конкретного узла или системы электровоза информационно-управляющий бортовой комплекс должен формировать тревожные сообщения для работников локомотивной бригады и передавать соответствующую информацию посредством оперативной связи в систему мониторинга состояния локомотива.

Подобный подход должен учитываться уже на стадии проектирования электроподвижного состава, поэтому исследования в области возможности автоматизации процессов, связанных с работой различных его систем, а также обеспечения их работоспособности в процессе эксплуатации имеют большую значимость. В [2–5] рассматриваются подходы к оптимизации ведения поезда, но не учитываются возможности автоматизированного устранения неисправностей электроподвижного состава в пути следования.

Уже сегодня на электровозах постоянного и переменного тока, произведенных в последние десятилетия, применяются микропроцессорные системы управления и диагностики. Хотя подобные системы пока не отвечают в полной мере указанным выше требованиям, но они могут служить основой для выработки ре-

шений, на которых будут реализованы информационно-управляющие бортовые комплексы локомотивов будущего [6].

В качестве одного из направлений развития подобных систем можно рассматривать системы поддержки принятия решений машинистом (СППРМ), которые за счет заложенных в них математических и эвристических моделей помогают сформировать наиболее приемлемые решения по управлению электровозом в различных ситуациях, в том числе в нештатных или аварийных, связанных с нарушением функционирования отдельного оборудования или целых систем электровоза [7–9].

Целью настоящего исследования является оценка возможности автоматизации процесса устранения неисправностей электровозов серии 2ЭС6 в пути на основе системы поддержки принятия решений машиниста.

Основные виды неисправностей электровозов в пути следования

В процессе эксплуатации ЭПС возникают отказы и неисправности в работе его систем и отдельного оборудования, которые могут приводить к остановкам и задержкам поездов на перегонах и, следовательно, к значительных финансовым издержкам для структурных подразделений ОАО «РЖД».

В настоящее время этой компанией установлена классификация подобных случаев в зависимости от наступивших последствий, предусматривающая три уровня событий:

– первая категория – отказы, приведшие к задержке пассажирского, пригородного или грузового поезда на перегоне (станции) на 1 ч. и более, либо приведшие к транспортным происшествиям или событиям, связанным с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта;

– вторая категория – отказы, приведшие к задержке на перегоне или станции пассажирского или пригородного поезда продолжительностью от 6 мин. до 1 ч., грузового поезда продолжительностью от 15 мин. до 1 ч.;

– третья категория – неисправности – случаи нарушения нормального функционирования технических средств, не имеющие последствий, относящихся к отказам первой и второй категории [10].

Все случаи, подпадающие под указанные категории событий, учитываются и расследуют-

ся в порядке, установленном Положением об учете, расследовании и анализе отказов в работе технических средств на инфраструктуре ОАО «РЖД» с использованием автоматизированной системы КАСАНТ. При этом рассматривается любая неисправность локомотива или отдельного его узла и оборудования, вызвавшая нарушение его работоспособности и потребовавшая восстановления или замены сборочных единиц и деталей, а также регулировку их характеристик в период между плановыми видами технического обслуживания и ремонта.

Очевидно, что возникновение неисправности или отказа ЭПС в пути следования негативно отражаются на его эксплуатационных показателях, поскольку могут приводить к длительным перебоям в движении поездов и нарушениям исполнения установленного графика движения.

Суммарное дополнительное время нахождения (задержки) поезда на перегоне, вызванное возникновением неисправности электровоза, складывается из следующих составляющих:

$$T_3 = T_T + T_{у.н.} + T_{в.л.} + T_c$$

где T_T – дополнительное время хода, обусловленное торможением поезда для внеграфиковой остановки поезда из-за возникшей неисправности; $T_{у.н.}$ – время, затрачиваемое на определение причины неисправности, ее устранение и приведение локомотива в работоспособное состояние; $T_{в.л.}$ – время, затрачиваемое на вызов вспомогательного локомотива в случае, если неисправность невозможно устранить силами локомотивной бригады; T_c – дополнительное время хода, обусловленное разгоном и следованием поезда до станции с допустимой (ограниченной) скоростью после устранения неисправности или с помощью вспомогательного локомотива.

Использование на ЭПС систем поддержки принятия решений машиниста может повлиять на продолжительность второй из составляющих дополнительных временных затрат – время $T_{у.н.}$. Причем уровень автоматизации СППРМ будет обуславливать степень и характер влияния на эту составляющую.

Для обеспечения оперативного обнаружения и устранения неисправностей оборудования электровозов в пути следования в ОАО «РЖД» разрабатываются и утверждаются нормативные документы, в которых приводится описание основных видов неисправностей, по-

рядок операций по определению их наиболее вероятных причин и устранению последствий. Основной целью подобных инструкций является приведение электровоза в работоспособное состояние и минимизация временных задержек, связанных с нарушениями графика движения поездов.

Анализ информации, содержащейся в рекомендациях по обнаружению и устранению неисправностей в пути следования, помогает определить возможность автоматизации данного процесса. Для примера были рассмотрены подобные рекомендации, разработанные применительно к грузовым электровозам постоянного тока серии 2ЭС6 производства ООО «Уральские локомотивы». Данные рекомендации утверждены распоряжением и устанавливают порядок действий локомотивной бригады в случаях возникновения неисправностей в пути следования [11].

Всего в данном документе устанавливаются методы устранения 69 видов неисправностей электровоза, которые разделены по основным видам оборудования на девять групп:

- высоковольтные цепи;
- повреждение линейных контакторов;
- повреждение силовых диодов;
- цепь питания ПСН-200;
- обрыв цепей управления или не включение аппаратов в них;
- короткое замыкание в цепи питания цепей управления и приводов аппаратов;
- неисправности пневмооборудования;
- неисправности тормозного оборудования;
- неисправности цепей ПСН-210-3 на электровозах № 015 и с № 027.

Анализ рекомендаций показывает, что на электровозах серии 2ЭС6 основными причинами возникающих нештатных ситуаций в пути следования являются следующие процессы:

- короткое замыкание в электрических цепях и оборудовании, возникающее в результате пробоя изоляции, механических повреждений или нарушения нормальной эксплуатации электрических аппаратов, тяговых электродвигателей, преобразователей собственных нужд и вспомогательных машин, аппаратуры управления, пробоя силовых переходных диодов и др.;
- обрывы в электрических цепях вследствие механических повреждений токоведущих частей и приводов тяговых электрических ап-

паратов, заедания элементов контактных соединений коммутационного оборудования;

- нарушения установленных алгоритмов в работе электрического оборудования, вызванные сбоями в программном обеспечении микропроцессорной системы управления и диагностики (МПСУиД) электровоза;

- нарушение нормальных условий эксплуатации электровоза (напряжение в контактной сети выше или ниже установленных значений, недостаточное давление в пневматических магистралях и т.п. [12, 13]);

- нарушение нормальной работы пневматических цепей, пневматического и тормозного оборудования (потеря целостности пневматических магистралей, засорение или перемерзание узлов пневматических аппаратов, неисправности тормозных приборов).

Анализ рекомендаций по обнаружению и устранению неисправностей, разработанных для других серий электровозов постоянного и переменного тока, показывает, что перечисленные процессы также могут описать большинство неисправностей, возникающих в пути следования поезда. Различия обусловлены в основном видом применяемого оборудования, его конструкцией и особенностями управления и связаны с особенностями каждой серии электровозов [14–17].

Классификация методов устранения неисправностей электровозов

Для определения возможности автоматизации процесса устранения отдельных неисправностей на электровозе в пути следования был произведен анализ отдельных операций, выполняемых работниками локомотивной бригады, согласно утвержденным рекомендациям.

Была установлена последовательность выполнения операций по выявлению наиболее вероятных причин каждой из неисправностей и ее устранению. При этом учитывались следующие характеристики (признаки) операций:

- место выполнения операции с привязкой к конкретной части (зоне) локомотива (кабина управления, тамбур, кузов (машинное отделение), пространство под кузовом, крыша электровоза и др.);
- вид оборудования или устройства, используемого для выполнения операции (кнопочный выключатель, рукоятка джойстика, тумблер и т.д.);

– назначение операции (основная цель ее выполнения).

Также для каждого вида неисправности были рассмотрены возможные сценарии дальнейшей работы электровоза после их устранения.

В результате проведенного анализа операций по указанным признакам была составлена классификация методов устранения неисправностей и отдельных операций по следующим характеристикам:

1. По месту выполнения операций.

При устранении неисправностей на электровозе четко прослеживается определенная локализация выполнения операций в различных частях (зонах) локомотива. На рис. 1 показаны основные такие зоны применительно к электровозу серии 2ЭС6.

Так, при устранении неисправностей в электрических цепях высоковольтного оборудования (повреждение токоприемников, линейных и реостатных контакторов, нарушение целостности изоляции проводов и токоведущих частей аппаратов, пробой силовых переходных диодов, короткие замыкания в тяговых электродвигателях и др.) большая часть операций (более 2/3 от общего количества) выполняется в кабине управления.

При устранении неисправностей в цепях питания преобразователей собственных нужд (ПСН) часть операций выполняется в машинном отделении, а другая часть – в кабине управления.

В случае устранения последствий короткого замыкания или обрыва в цепях управления,

а также при несрабатывании силового электрооборудования по другим причинам, большинство операций по устранению неисправностей выполняется в машинном отделении.

При устранении неисправностей пневматического оборудования наряду с операциями в кабине управления и машинном отделении предполагаются переключения положений кранов на пневматических магистралях под кузовом электровоза и в местах межсекционных соединений. В ряде случаев предусматривается перенос управления из неисправной секции и приведение ее в «холодное» состояние.

Операции по устранению неисправностей тормозного оборудования электровоза серии 2ЭС6 выполняются в основном с унифицированным комплексом тормозного оборудования (УКТОЛ) в кабине управления, где на панелях пульта установлены органы управления этим комплексом, или в тамбуре, где в отдельном шкафу размещается его исполнительная часть.

Кроме перечисленных мест, в которых производится выполнение операций по устранению неисправностей оборудования в пути следования, в случае излома токоприемника производится увязка его элементов, что предполагает выполнение определенных операций на крыше электровоза.

2. По виду используемого оборудования.

Основная часть операций, выполняемых в кабине управления, связана с переключениями силового электрооборудования, проверкой срабатывания защиты и отключением участков электрических и пневматических цепей, содер-

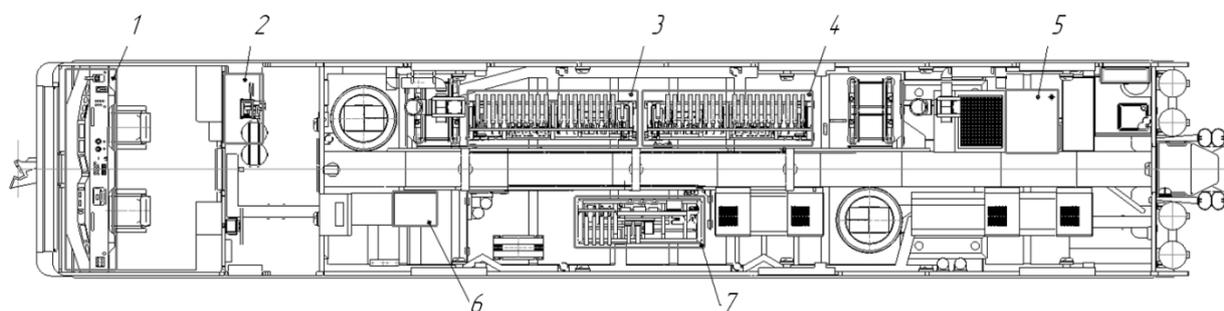


Рис. 1. Основные зоны на электровозе серии 2ЭС6, в которых выполняются операции по устранению неисправностей:

- 1 – пульт управления; 2 – шкаф унифицированного комплекса тормозного пневматического и электропневматического оборудования локомотивов; 3 – блок аппаратов № 1; 4 – блок аппаратов № 2; 5 – компрессорная установка; 6 – шкаф микропроцессорной системы управления и диагностики; 7 – блок аппаратов № 3

Fig. 1. The main areas on the 2ES6 series electric locomotive in which troubleshooting operations are performed: 1 – control panel; 2 – cabinet of the unified complex of pneumatic and electropneumatic brake equipment of locomotives;

жащих неисправное оборудование. При этом операции должны производиться непосредственно машинистом электровоза посредством органов управления, размещенных на панелях пульта управления ПУ-Эл электровоза.

Операции, выполняемые в машинном отделении (кузове) локомотива, как правило заключаются в переключении выключателей в шкафу МПСУиД, осмотре силовых аппаратов в соответствующих блоках на наличие следов повреждений, перекрытия пневматических магистралей, питающих электрические аппараты сжатым воздухом.

При возникновении неисправностей, связанных с работой ПСН, операции, выполняемые в машинном отделении, заключаются в поиске неисправного блока ПСН путем пере-

ключения ножевых контактов соответствующих переключателей из одного положения в другое. При этом в кабине управления производят восстановление защиты с целью установления места короткого замыкания, выключение цепей с неисправными блоками ПСН, перевод тяговых электродвигателей в режим последовательного возбуждения и т.д.

При устранении неисправностей в цепях управления оборудованием производят переключение их питания от аккумуляторных батарей, выполняют ручной перевод контактных систем силовых аппаратов из одного положения в другое, отключают питание сжатым воздухом неисправных устройств, проверяют состояние автоматических выключателей в шкафу МПСУиД и др. В кабине управления при

	Управление оборудованием	Контроль за работой оборудования	Устранения простых неисправностей
В кабине управления	<ul style="list-style-type: none"> – переключение органов управления на пульте управления; – запуск / перезапуск систем электровоза; – переключение приборов управления тормозами 	<ul style="list-style-type: none"> контроль информации на пульте управления по мониторам МПСУиД, стрелочным приборам, световым индикаторам 	<ul style="list-style-type: none"> замена элементов системы управления оборудованием (с исправной секции)
В машинном отделении	<ul style="list-style-type: none"> – переключение тумблеров в шкафу МПСУиД; – перевод ножей разъединителей и отключателей оборудования; – принудительное переключение контактных систем аппаратов; – переключение органов управления компрессорной установкой; – перекрытие кранов в пневматических цепях 	<ul style="list-style-type: none"> – проверка срабатывания защиты; – осмотр состояния оборудования; – проверка порядка включения аппаратов; – контроль контактных систем; – проверка подключения разъемов; – контроль замыкания защитных блокировок; – контроль давления сжатого воздуха в пневматических цепях; – проверка работы компрессора 	<ul style="list-style-type: none"> – наложение изоляции на провода; – обогрев пневматических приборов и трубопроводов; – механическое удаление наледи и засоров в пневматических цепях; – регулировка узлов оборудования
Снаружи локомотива	<ul style="list-style-type: none"> – перекрытие кранов в пневматических магистралях; – продувка или выпуск сжатого воздуха из пневматических магистралей 	<ul style="list-style-type: none"> – контроль поднятия токоприемника; – проверка целостности воздухопроводов 	<ul style="list-style-type: none"> – увязка элементов конструкции токоприемника; – замена межсекционных рукавов пневматических магистралей

Рис. 2. Основные виды операций при устранении неисправностей электровоза серии 2ЭС6 в пути следования

Fig. 2. The main types of operations when troubleshooting an electric locomotive of the 2ES6 series along the route

подобных неисправностях обычно выполняются операции, связанные с контролем состояния оборудования электровоза (наличие и уровень напряжения в бортовой сети, величина давления в магистрали цепей управления, сигнализация о текущем положении контактов аппаратов), производится запуск (перезапуск) систем (МСУЛ, ПСН), а также переключение органов управления на пульте ПУ-Эл.

При восстановлении работоспособного состояния пневматического оборудования в кабине управления производят контроль уровня давления сжатого воздуха в пневматических сетях и выполняют отключение оборудования с неисправной пневматической частью. В машинном отделении осуществляется контроль за работой компрессорной установки, перекрытие воздухопроводов внутри кузова и т.д.

3. По назначению выполняемых операций.

Отдельные операции по устранению неисправностей различаются между собой по назначению и выполняемым действиям. Причем обе эти характеристики каждой операции взаимосвязаны и зависят от места ее выполнения на электровозе.

Анализ методов устранения неисправностей позволяет разделить операции на несколько групп по их назначению (рис. 2).

1. Операции, выполняемые с целью управления оборудованием локомотива.

В кабине управления: переключение органов управления на панелях пульта ПУ-Эл (переключателей, тумблеров, рукояток джойстиков); запуск или перезапуск отдельных систем электровоза (МСУЛ, ПСН); переключение приборов управления тормозами локомотива и поезда (контроллера крана машиниста (ККМ) и крана вспомогательного тормоза с дистанционным управлением (КВТ)).

В машинном отделении: переключение тумблеров переключателей в шкафу МПСУиД; перевод ножей разъединителей и отключателей оборудования; принудительное переключение контактных систем высоковольтных аппаратов (посредством изоляционных рукояток, воздействия на электропневматические вентили); переключение органов управления компрессорной установкой (блок управления); перекрытие кранов в пневматических цепях (цепи управления электрооборудованием, цепи тормозного оборудования).

Снаружи локомотива: перекрытие кранов в пневматических магистралях; продувка или выпуск сжатого воздуха из пневматических магистралей.

2. Операции, выполняемые с целью контроля за работой оборудования локомотива.

В кабине управления: контроль информации на пульте управления по мониторам МПСУиД, стрелочным приборам, световым индикаторам.

В машинном отделении: проверка срабатывания защитных аппаратов; осмотр состояния силового оборудования в блоках аппаратов; контроль порядка включения оборудования (секвенции); контроль положения контактных систем электрических аппаратов; проверка подключения проводов к разъемам блоков с оборудованием; проверка замыкания защитных блокировок (крышовой люк, высоковольтная камера, жалюзи); контроль давления сжатого воздуха в пневматических цепях (магистраль компрессора, цепи управления); проверка направления вращения компрессора; осмотр узлов компрессора на предмет поиска следов нагара; контроль температуры масла в системе охлаждения компрессора; проверка уровня масла в компрессоре; проверка цвета масла компрессора.

Снаружи локомотива: контроль поднятия токоприемника; проверка целостности воздухопроводов.

3. Операции, выполняемые с целью устранения отдельных простых неисправностей оборудования локомотива.

В кабине управления: замена элементов системы управления оборудованием (с исправной секции).

В машинном отделении и тамбуре: перевод электрических аппаратов с дистанционного на ручное управление; наложение изоляции на провода; обогрев пневматических приборов и трубопроводов; механическое удаление наледи и засоров в пневматических цепях; регулировка узлов оборудования (например, закручивание или выкручивание регулировочных винтов в тормозных аппаратах).

Снаружи локомотива: увязка элементов конструкции токоприемника; замена межсекционных рукавов пневматических магистралей.

С учетом основных разновидностей выполняемых операций затрачиваемое на устранение неисправностей время может быть найдено из выражения:

$$T_{y.n} = \sum_1^{n_1} t_{y.np.i} + \sum_1^{n_2} t_{k.i} + \sum_1^{n_3} t_{n.i} + \sum_1^{n_4} t_{y.n.ni}, \quad (1)$$

где $\sum_1^{n_1} t_{y.np.i}$ – суммарное время операций по управлению оборудованием локомотива; $\sum_1^{n_2} t_{k.i}$ – суммарное время операций по контролю за работой оборудования; $\sum_1^{n_3} t_{n.i}$ – суммарное время, затрачиваемое на перемещение из одной зоны локомотива в другую в процессе устранения неисправности; $\sum_1^{n_4} t_{y.n.ni}$ – время на устранение отдельных простых неисправностей; i – номер операции; n_1, n_2, n_3, n_4 – число операций соответствующего вида.

Очевидно, что автоматизация СППРМ может повлиять на время, необходимое для устранения неисправности электровоза. При этом степень такого влияния будет зависеть от возможностей автоматизации конкретных операций.

Возможность автоматизации операций по устранению неисправностей электровоза

Различные виды операций по устранению неисправностей электровоза будут характеризоваться разной сложностью их автоматизации. Здесь значимую роль играет способ выполнения данной операции (выполняется она человеком непосредственно или дистанционно) и степень участия человека (требуется ли непосредственное его участие в выполнении операции или ее можно реализовать при помощи технических устройств).

На основании проведенного анализа все операции можно разделить на три группы:

1. Операции, которые могут быть автоматизированы без внесения кардинальных изменений в структуру системы управления.

Легче всего автоматизировать операции, связанные с контролем состояния или параметров работы оборудования электровоза. Так, информация, получаемая локомотивной бригадой в кабине управления по мониторам МПСУиД, измерительным приборам и световым индикаторам, уже может быть использована для автоматизации процессов по-

иска вероятных причин неисправностей и определения путей их устранения.

Большую часть операций по контролю состояния или параметров оборудования, выполняемых в машинном отделении или тамбуре (шкаф УКТОЛ), также можно автоматизировать без внесения значительных изменений в структуру системы управления. В этом случае электрические и пневматические цепи, оборудование в шкафах и блоках, подлежащие контролю, необходимо дополнительно оснастить соответствующими типами датчиков (тока, напряжения, давления, температуры, положения) и средствами контроля сопротивления изоляции. Возможно также применение элементов системы технического зрения.

Такое решение позволяет исключить в большинстве случаев необходимость работникам локомотивной бригады покидать кабину управления и обеспечивает их информацией о техническом состоянии оборудования электровоза непосредственно на рабочем месте. За счет этого можно сократить время поиска причины возникновения неисправности и ее устранения.

Кроме этого, применение средств объективного контроля для выявления причин неисправностей позволит перейти от субъективной оценки отказа к объективной информации о техническом состоянии оборудования. Это ускоряет процесс определения причин неисправности и виновников ее возникновения и упрощает порядок расследования в случае, если неисправность приведет к транспортному происшествию.

Особую эффективность такой подход может иметь при поиске мест возникновения короткого замыкания в силовых цепях ЭПС, часто сопровождающего образованием вспышек, искр, появлением дыма. Локомотивная бригада не может фиксировать эти явления в момент их возникновения, поскольку находится в кабине управления, и вынуждена позднее выявлять аварийное оборудование либо по оставленным электрической дугой следам, либо путем последовательных проверок, отбрасывая несостоятельные варианты. Обнаружение, фиксация и распознавание различного рода явлений, сопровождающих аварийные процессы, позволит значительно ускорить процесс устранения неисправностей.

Автоматизация операций контроля состояния оборудования снаружи локомотива также

может быть решена за счет установки соответствующих датчиков и видеокамер на крыше и в подкузовном пространстве с передачей данных в СППРМ. В результате исключаются затраты времени на операции, связанные с выходом работников локомотивной бригады на пути, что повышает уровень безопасности их работы. Кроме того, это улучшит условия работы машиниста и его помощника (в особенности в ночное или в зимнее время года, в условиях плохой погоды).

2. Операции, для автоматизации которых потребуется изменение принципов работы системы управления электровозом.

Сложнее всего обстоит дело с автоматизацией операций, связанных с управлением отдельным оборудованием или целыми системами электровоза. В общем случае автоматизация большей части таких операций возможна, но требует значительных изменений в системе управления локомотива.

Во-первых, необходимо оснастить все переключающие устройства в электрических и пневматических цепях дистанционным приводом с возможностью управления от МПСУиД. Это потребует замены значительной части устройств управления, что возможно выполнить только при разработке нового электроподвижного состава или глубокой модернизации существующего.

Во-вторых, потребуется пересмотреть подходы к управлению локомотивом и изменить принципы, на которых сегодня создаются и функционируют органы управления оборудованием и режимами его работы. В настоящее время для управления многими аппаратами электровоза (например, токоприемниками, быстродействующими выключателями и др.) применяются двух- или многопозиционные переключатели с фиксированными рабочими положениями, которые должны соответствовать ряду требований, устанавливаемым государственными стандартами [18–20]. В принцип работы электрических цепей управления на современных электровозах также изначально заложено применение именно таких переключателей.

Для автоматизации операций управления таким оборудованием возникает вероятность несоответствия положения органа управления (например, тумблера или поворотного переключателя) реальному рабочему состоянию аппарата. Таким образом, потребуется замена

подобных задающих устройств на переключатели без фиксации переключенного состояния (кнопочные выключатели без фиксации, сенсорные панели и т.п.).

Аналогичным образом требуется решить вопрос с дистанционным восстановлением включенного состояния некоторых защитных аппаратов, например, автоматических защитных выключателей.

В-третьих, потребуется изменение конфигурации цепей управления оборудованием для возможности их переключения как машинистом, так и системой поддержки принятия решений через МПСУиД электровоза. Потребуется прокладка большого числа каналов управления к приводам аппаратов, которые до этого переключались исключительно вручную (значительная часть разъединителей и отключателей оборудования, разобщительные или концевые краны на пневматических магистралях и т.д.).

Такая глубокая переработка системы управления у существующих в настоящее время серий локомотивов потребует значительных затрат и вряд ли может быть признана рациональной, поэтому полную автоматизацию операций управления оборудованием целесообразно внедрять только на вновь разрабатываемых электровозах. Здесь можно на этапе проектирования системы управления заложить такие принципы ее функционирования и структуру, которые обеспечили бы при необходимости автоматическое выполнение всех операций, связанных с управлением электровозом.

Автоматизацию операций, связанных с устранением отдельных простых неисправностей оборудования, возможно выполнить лишь частично. Среди этих операций есть такие, из процесса выполнения которых можно исключить человека. Например, можно предусмотреть подогрев трубопроводов и аппаратов в пневматических цепях, подверженных замерзанию и образованию наледи в зимнее время года. Также можно исключить операции, связанные с заменой неисправного оборудования на головной секции на исправное, снимаемое с прицепной секции, путем резервирования узлов в соответствующих системах электровоза.

3. Операции, которые нельзя полностью автоматизировать. К ним относятся операции, связанные с устранением простых неисправностей. Так, невозможно автоматизировать опе-

рации по зачистке и изолированию проводов, регулировке оборудования, замене рукавов пневматических магистралей, устранения нарушения габарита подвижного состава и др. В этих случаях в выполнении операций должны участвовать работники локомотивной бригады.

Уровни автоматизации процесса устранения неисправностей электровозов в пути следования

Проведенный анализ характеристик отдельных операций, выполняемых в процессе устранения неисправности электровоза в пути следования, позволяет определить степень возможной автоматизации систем поддержки принятия решений машиниста.

Первый уровень – неавтоматизированные СППРМ. Такие системы по запросу машиниста выдают в виде текстовых сообщений информацию с рекомендациями по устранению неисправности. При этом СППРМ способна фиксировать только те рабочие параметры оборудования, которые измеряются штатными устройствами электровоза. Все операции по управлению оборудованием локомотива в процессе устранения неисправностей выполняются вручную работниками локомотивной бригады.

Время, затрачиваемое на поиск причин неисправности и ее устранения ее последствий, определяется его составляющими по выражению (1) и зависит от вида вышедшего из строя оборудования и тяжести последствий аварийной ситуации.

Второй уровень – автоматизированные СППРМ. Эти системы позволяют реализовать без участия человека операции по устранению неисправностей, которые можно автоматизировать за счет постановки дополнительного оборудования без внесения значительных изменений в существующую структуру системы управления электровоза. К ним относятся операции контроля параметров и состояния оборудования электровоза, а также частично операции, обеспечивающие управление оборудованием и устранение отдельных простых неисправностей.

На электровозе, оснащенный такой системой, автоматически происходит фиксация неисправности, вычисление ее наиболее вероятной причины, выдается в наиболее удобной форме (текст, изображение, анимация) информация по выполнению операций, которые про-

изводятся вручную работниками локомотивной бригады. Такая СППРМ может выполнять часть операций, связанных с управлением оборудованием локомотива (например, произвести переключения контакторов в блоках аппаратов с целью проверки правильной очередности их срабатывания, произвести набор позиций и т.д.). При этом машинист всегда может вмешаться в работу этой системы и перевести процесс управления в ручной режим.

За счет использования возможностей автоматизированной СППРМ можно существенно сократить время, затрачиваемое на операции

управления $\sum_1^{n_1} t_{упр.}$ и контроля $\sum_1^{n_2} t_k$, а также

свести к минимуму перемещения из одной зоны электровоза в другую в процессе устранения

неисправности (время $\sum_1^{n_3} t_{п.}$).

Использование подобных систем представляется наиболее рациональным решением для уже существующих серий ЭПС, в том числе грузовых электровозов серии 2ЭС6.

Третий уровень – автоматические СППРМ. Подобные системы предполагают полную автоматизацию операций по контролю параметров и управлению оборудованием электровоза, резервирование узлов в различных системах (блоках) электровоза. В случае возникновения какой-либо неисправности на электровозе система сама ее фиксирует и определяет причину, производит выбор операций по устранению и приведению локомотива в работоспособное состояние, реализует эти операции, представляет результаты машинисту по установленному протоколу и обеспечивает автоматическую передачу информации о происшествии в комплексную автоматизированную систему учета, контроля устранения отказов технических средств ОАО «РЖД» и анализа их надежности (КАСАНТ).

Заключение

Одной из основных задач любой системы поддержки принятия решений машиниста является исключение отказов локомотивов в пути следования, а в случае возникновения неисправностей их оперативное устранение. При этом система в зависимости от степени ее автоматизации может выступать в качестве «со-

ветчика» для машиниста, подсказывая ему порядок выполняемых операций для устранения неисправности, а может и взять на себя выполнение определенного набора операций, связанных с приведением локомотива в работоспособное состояние.

Полная автоматизация процесса устранения неисправностей электровоза в пути следования позволит максимально сократить время выполнения операций, связанных с управлением оборудованием и контролем за его состоянием, и практически исключить необходимость переме-

щения работников локомотивной бригады по электровозу в процессе приведения его в работоспособное состояние.

При использовании СППРМ третьего уровня машинисту в подавляющем большинстве случаев отводится роль наблюдателя, имеющего возможность перевести в случае необходимости процесс на ручное управление. Такие системы могут быть использованы и при дистанционном или полностью автоматическом управлении ЭПС, в том числе с применением технологии «Автомашинист».

Список литературы

1. Об утверждении стратегии научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 г. и на перспективу до 2030 года (Белая книга) : распоряжение ОАО «РЖД» № 769/р от 17.04.2018 г. Доступ из справ.-прав. системы «АСПИЖТ» в локал. сети.
2. Semmens P. High Speed in Japan: Shinkansen the World's Busiest High Speed Railway. Sheffield : Platform 5 Publ., 1997. 108 p.
3. Töpfer C. Optimierung Kompetenz des Zugs anhand Bordscomputers // Eisenbahningenieur. 1998. Iss. 2. S. 68–70.
4. Horstmann D., Wagner R., Weigel W.-D. 100 Jahre Entwicklung der Antriebsstechnik für elektrische Bahnen. Teil 2 // Elektrische Bahnen. 2003. Iss. 7. P. 338–345.
5. Скалозуб В.В. Ресурсозберігаючі методи управління тягою поїздів і удосконалення конструкцій рухомого складу : дис. ... д-ра техн. наук. Днепропетровск, 2003. 533 с.
6. Повышение надежности и перспективы развития микропроцессорных систем управления и обеспечения безопасности движения поездов / В.М. Абрамов, Л.А. Мугинштейн, Б.Д. Никифоров и др. // Вестник ВНИИЖТ. 2002. № 5. С. 9–14.
7. Кузнецов М.А., Пономарев С.С. Современная классификация систем поддержки принятия решений // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2009. № 3 (7). С. 52–58.
8. Моргунов Е.П. Система поддержки принятия решений при исследовании эффективности сложных систем: принципы разработки, требования и архитектура // Вестн. Сибир. гос. аэрокосм. ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева. 2007. № 3 (16). С. 59–63.
9. Соловьев А.Н., Третьяков Е.А. К вопросу о совершенствовании эксплуатации электроподвижного состава на основе системы поддержки принятия решений машиниста // Молодежь и системная модернизация страны : сб. науч. ст. VII Междунар. науч. конф. студентов и молодых ученых. Курск, 2022. Т. 5. С. 93–97.
10. Об утверждении документов ОАО «РЖД» по вопросам учета отказов в работе технических средств и технологических нарушений на инфраструктуре ОАО «РЖД» : распоряжение ОАО «РЖД» № 1915/р от 06.09.2021 (ред. 07.11.2023). Доступ из справ.-прав. системы АСПИЖТ в локал. сети.
11. Об утверждении перечня действий локомотивных бригад по выявлению и устранению неисправностей на локомотивах при поездной и маневровой работе : распоряжение ОАО «РЖД» № 996/р от 12.04.2022 (ред. 05.03.2024). Доступ из справ.-прав. системы АСПИЖТ в локал. сети.
12. Об утверждении Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : приказ Минтранса России № 250 от 23.06.2022. Доступ из справ.-прав. системы АСПИЖТ в локал. сети.
13. ГОСТ 9219-88 Аппараты электрические тяговые. Общие технические требования. Введ. 1990–01–01. М. : Изд-во стандартов, 1988. 36 с.
14. Электровоз 2ЭС4К. Руководство по эксплуатации. Кн. 7. Использование по назначению. Новочеркасск : Новочеркасский электровозостроительный завод, 2006. 79 с.
15. Электровоз ЭП2К. Руководство по эксплуатации. Кн. 2. Инструкция по эксплуатации. Коломна : Коломенский завод, 2004. 172 с.
16. Электровоз магистральный 2ЭС5К (3ЭС5К). Руководство по эксплуатации. Кн. 7. Использование по назначению. Новочеркасск : Новочеркасский электровозостроительный завод, 2005. 167 с.
17. Электровоз ЭП1. Руководство по эксплуатации. Кн. 2. Описание и работа. Компоновка оборудования. Монтаж электрический. Система вентиляции. Новочеркасск : Новочеркасский электровозостроительный завод, 2006. 576 с.
18. ГОСТ 12.2.056-81 ССБТ. Электровозы и тепловозы колеи 1520 мм. Требования безопасности (ред. 10.03.2016). Введ. 1983–01–01. М. : Изд-во стандартов, 1981. 38 с.
19. ГОСТ 22613-77 Система «Человек – машина». Выключатели и переключатели поворотные. Общие эргономические требования. Введ. 1978–07–01. М. : Изд-во стандартов, 1988. 6 с.
20. ГОСТ 22615-77 Система «Человек – машина». Выключатели и переключатели типа «Тумблер». Общие эргономические требования. Введ. 1978–07–01. М. : Изд-во стандартов, 1977. 5 с.

References

1. Rasporyazhenie OAO «RZhD» № 769/r ot 17.04.2018 g «Ob utverzhdenii strategii nauchno-tehnologicheskogo razvitiya kholdinga «RZhD» na period do 2025 g. i na perspektivu do 2030 goda (Belaya kniga)» [Order of JSC Russian Railways No 769/r dated April 17, 2018 «On approval of the strategy of scientific and technological development of the Russian Railways Holding for the period up to 2025 and for the future up to 2030 (White Book)»].
2. Semmens P. High Speed in Japan: Shinkansen the World's Busiest High Speed Railway. Sheffield: Platform 5 Publ., 1997. 108 p.
3. Töpfer C. Optimierung Kompetenz des Zugs anhand Bordscomputers. *Eisenbahningenieur*, 1998, iss. 2, pp. 68–70.
4. Horstmann D., Wagner R., Weigel W.-D. 100 Jahre Entwicklung der Antriebs-technik für elektrische Bahnen. Teil 2. *Elektrische Bahnen*, 2003, iss. 7, pp. 338–345.
5. Skalozub V.V. Resursosberegayushchie metody upravleniya tyagoi poezdov i sovershenstvovanie konstruktivnykh podvizhnogo sostava [Resource-saving methods of train traction control and improving the design of rolling stock]. Doctor's theses. Dnepropetrovsk, 2003. 533 p.
6. Abramov V.M., Muginshtein L.A., Nikiforov B.D., Rabinovich M.D. Povyshenie nadezhnosti i perspektivy razvitiya mikroprotsessornykh sistem upravleniya i obespecheniya bezopasnosti dvizheniya poezdov [Improving reliability and prospects for the development of microprocessor control systems and ensuring the safety of train traffic]. *Vestnik VNIIZHT* [Bulletin of the Scientific and Research Institute of Railway Transport], 2002, no. 5, pp. 9–14.
7. Kuznetsov M.A., Ponomarev S.S. Sovremennaya klassifikatsiya sistem podderzhki prinyatiya reshenii [Modern classification of decision support systems]. *Prikaspiyskii zhurnal: upravleniye i vysokie tekhnologii* [Caspian journal: Control and High Technologies], 2009, no. 3 (7), pp. 52–58.
8. Morgunov E.P. Sistema podderzhki prinyatiya reshenii pri issledovanii effektivnosti slozhnykh sistem: printsipy razrabotki, trebovaniya i arkhitektura [Decision support system for studying the effectiveness of complex systems: design principles, requirements and architecture]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta imeni akademika M.F. Reshetneva* [Bulletin of the Siberian State Aerospace University named after Academician M.F. Reshetnev], 2007, no. 3 (16), pp. 59–63.
9. Solov'ev A.N., Tretyakov E.A. K voprosu o sovershenstvovanii ekspluatatsii elektropodvizhnogo sostava na osnove sistema podderzhki prinyatiya reshenii mashinista [On the issue of improving the operation of electric rolling stock based on the driver's decision support system]. *Sbornik nauchnykh statei VII Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh «Molodezh' i sistemnaya modernizatsiya strany»* [Proceedings of the VII International Scientific Conference of Students and Young Scientists «Youth and systemic modernization of the country»]. Kursk, 2022, vol. 5, pp. 93–97.
10. Rasporyazhenie OAO «RZhD» № 1915/r ot 06.09.2021 «Ob utverzhdenii dokumentov OAO «RZhD» po voprosam ucheta otkazov v rabote tekhnicheskikh sredstv i tekhnologicheskikh narushenii na infrastrukture OAO «RZhD» (red. 07.11.2023) [Order of JSC «Russian Railways» No 1915/r dated September 6, 2021 «On approval of documents of JSC «Russian Railways» on accounting for failures in the operation of technical means and technological violations on the infrastructure of JSC «Russian Railways» (ed. November 7, 2023)].
11. Rasporyazhenie OAO «RZhD» № 996/r ot 12.04.2022 «Ob utverzhdenii perechnya deistvii lokomotivnykh brigad po vyyavleniyu i ustraneniyu neispravnostei na lokomotivakh pri poezdnoi i manevrovoi rabote» (red. 05.03.2024) [Order of JSC «Russian Railways» No 996/r dated April 12, 2022 «On approval of the list of actions of locomotive crews to identify and eliminate malfunctions on locomotives during train and shunting work» (ed. March 5, 2024)].
12. Prikaz Mintransa Rossii № 250 ot 23.06.2022 «Ob utverzhdenii Pravil tekhnicheskoi ekspluatatsii zheleznykh dorog Rossiiskoi Federatsii» [Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation No 250 dated June 23, 2022 «On approval of the Rules of Technical Operation of Railways of the Russian Federation»].
13. GOST 9219-88. Apparaty elektricheskoy tyagovoye. Obshchie tekhnicheskoye trebovaniya [State Standard 9219-88. Tractive electrical apparatus. General technical requirements]. Moscow: Izdatel'stvo standartov Publ., 1988. 36 p.
14. Elektrovoz 2ES4K. Rukovodstvo po ekspluatatsii. Kn. 7. Ispol'zovanie po naznacheniyu [Electric locomotive 2ES4K. User manual. Book 7. Intended use]. Novocherkassk: Novocherkasskii elektrozostroitel'nyi zavod Publ., 2006. 79 p.
15. Elektrovoz EP2K. Rukovodstvo po ekspluatatsii. Kn. 2. Instruksiya po ekspluatatsii [The EP2C electric locomotive. User manual. Book 2. Operating instructions]. Kolonna: Kolomenskii zavod Publ., 2004. 172 p.
16. Elektrovoz magistral'nyi 2ES5K (3ES5K). Rukovodstvo po ekspluatatsii. Kn. 7. Ispol'zovanie po naznacheniyu [Main-line electric locomotive 2ES5K (3ES5K). User manual. Book 7. Intended use]. Novocherkassk: Novocherkasskii elektrozostroitel'nyi zavod, 2005. 167 p.
17. Elektrovoz EP1. Rukovodstvo po ekspluatatsii. Kn. 2. Opisanie i rabota. Komponovka oborudovaniya. Montazh elektricheskoy. Sistema ventilyatsii [Electric locomotive EP1M. User manual. Book 2. Description and work. The layout of the equipment. The installation is electric. Ventilation system]. Novocherkassk: Novocherkasskii elektrozostroitel'nyi zavod Publ., 2006. 576 p.
18. GOST 12.2.056-81 SSBT. Elektrovozy i teplovozy kolei 1520 mm. Trebovaniya bezopasnosti (red. 10.03.2016) [State Standard 12.2.056-81 The system of occupational safety standards. Occupational safety standards system. Electric and diesel locomotives for 1520 mm gauge. Safety requirements (ed. March 10, 2016)]. Moscow: Izdatel'stvo standartov Publ., 1981. 38 p.
19. GOST 22613-77 Sistema «Chelovek–mashina». Vyklyuchateli i pereklyuchateli povorotnye. Obshchie ergonomicheskoye trebovaniya [State Standard 22613-77. «Man–machine» system. Rotary switches and commutators. General ergonomic requirements]. Moscow: Izdatel'stvo standartov Publ., 1988. 6 p.

20. GOST 22615-77 Sistema «Chelovek–mashina». Vyklyuchateli i pereklyuchateli tipa «Tumbler». Obshchie ergonomicheskie trebovaniya [State Standard 22613-77 «Man–machine» system. Funibler switches and commutators. General ergonomic requirements]. Moscow: Izdatel'stvo standartov Publ., 1977. 5 p.

Информация об авторах

Третьяков Евгений Александрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры подвижного состава электрических железных дорог, Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск; e-mail: eugentr@mail.ru.

Шильяков Андрей Петрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой подвижного состава электрических железных дорог, Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск; e-mail: ShilyakovAP@omgups.ru.

Соловьев Антон Николаевич, аспирант кафедры подвижного состава электрических железных дорог, Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск; e-mail: Solovev.anton@mail.ru.

Information about the authors

Evgenii A. Tret'yakov, Doctor of Engineering Science, Associate Professor, Professor of the Department of Rolling Stock of Electric Railways, Omsk State Transport University, Omsk; e-mail: eugentr@mail.ru.

Andrei P. Shilyakov, Ph. D. in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Department of Rolling Stock of Electric Railways, Omsk State Transport University, Omsk; e-mail: ShilyakovAP@omgups.ru.

Anton N. Solov'ev, Ph.D. Student of the Department of Rolling Stock of Electric Railways, Omsk State Transport University, Omsk; e-mail: Solovev.anton@mail.ru.