
Стандартизация и сертификация

УДК 656.25:681.32

Д. С. Марков, канд. техн. наук
О. А. Наседкин, канд. техн. наук
Д. И. Ургансков, канд. техн. наук
М. А. Бутузов

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I, Санкт-Петербург

ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНОЛОГИЯ

Показана необходимость развития понятийного аппарата в области видов испытаний систем и устройств железнодорожной автоматики и телемеханики на работоспособность и безопасность в соответствии с требованиями стадий жизненного цикла разработки и доказательства безопасности. Это определяется тем, что в существующих нормативных документах отсутствует общая классификация видов испытаний сложных систем автоматики и управления, в том числе систем железнодорожной автоматики. В работе предложены три классификационных признака испытаний систем железнодорожной автоматики и телемеханики: этапы жизненного цикла, предметная область, технология испытаний. Указано, что виды испытаний автоматизированных систем управления по классификационному признаку «этапы жизненного цикла» в существующих нормативных документах достаточно формализованы и пригодны для применения в области железнодорожной автоматики и телемеханики. Виды испытаний по признакам «предметная область» и «технология» являются специфичными для различных систем, в частности для систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Определено, что основой понятийного аппарата по видам испытаний должно являться понятие *безопасность функционирования* и сопутствующие понятия, а именно: технологическая функция, технология, технологическая безопасность, безопасное поведение, защищенность от опасных отказов. На этой основе в работе предложена совокупность терминов и определений по видам испытаний по классификационным признакам «предметная область» и «технология», являющаяся методологической базой дальнейшего развития нормативных документов и понятийного аппарата в области разработки программ и методик испытаний для доказательства работоспособности и безопасности систем (устройств) железнодорожной автоматики и телемеханики.

системы железнодорожной автоматики и телемеханики, жизненный цикл, предметная область, технология испытаний, классификационные признаки, безопасность функционирования, виды испытаний по классификационным признакам.

DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-4-429-440

Введение

Специфика микроэлектронной и программируемой техники, которая на сегодняшний день составляет техническую основу современных устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) [1, 2], потребовала изменений в методологии подтверждения реализации требований безопасности и определила переход от оценки готовой продукции к ее оценке в процессе разработки. Это отражено в Техническом регламенте таможенного союза, в соответствии с положениями которого при подтверждении выполнения требований безопасности продукции в форме сертификации или декларирования соответствия органом по сертификации производится экспертиза доказательных материалов, формируемых заявителем (разработчиком) в процессе разработки и постановки продукции на производство.

В состав доказательных документов, как правило, входят результаты экспертиз, расчетов показателей безотказности и безопасности, различных видов испытаний, опытной эксплуатации.

Каждый из методов носит ограниченный характер и ориентирован на различные свойства систем и стадии их разработки. Наиболее полная оценка безопасности микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) может быть получена только на основании совместного анализа результатов всей совокупности применяемых методов.

В соответствии с этим развитие понятийного аппарата в области экспертизы и испытаний СЖАТ для стадии разработки и сопровождающих процессов доказательства безопасности ввиду сложности и многообразия организационных, методологических и технических задач представляет практический интерес. В последние годы этому вопросу посвящен ряд нормативных документов различного уровня [3, 4, 5, 6]. Однако этапы разработки и процесс доказательства безопасности с точки зрения экспертизы и испытаний в указанных нормативных документах недостаточно оснащены соответствующим понятийным аппаратом и требуют как комплексного системного подхода, так и более полной их детализации ввиду определяющей роли указанных стадий жизненного цикла (ЖЦ) в обеспечении безопасности функционирования ЖАТ.

В работах авторов [1, 2] предложен процессный подход и на его основе сформулирован комплекс взаимосвязанных понятий в области безопасности для стадий разработки и доказательства безопасности ЖАТ. Основными понятиями комплекса являются безопасность ЖАТ, безопасность функционирования (БФЖАТ) и функциональная безопасность ЖАТ. Предложенный в [7, 8] понятийный аппарат позволил определить требования и сформулировать термины и определения по инструментальным средствам [8] экспертизы и испытаний ЖАТ на работоспособность и безопас-

ность. Данная работа направлена на развитие понятийного аппарата по видам испытаний ЖАТ на работоспособность и безопасность на основе понятия БФЖАТ и сопутствующих понятий, вновь введенных в [7, 8].

1. Основные положения

Существующие нормативные документы [9, 10, 11] позволяют сформулировать следующее обобщенное определение понятия «испытания ЖАТ».

Определение 1. Испытание системы (устройства) железнодорожной автоматики и телемеханики: экспериментальное определение (подтверждение) и контроль количественных и качественных показателей системы (устройства) железнодорожной автоматики и телемеханики в соответствии с программой и методикой испытаний при функционировании или моделировании системы (устройства).

Это определение охватывает испытания характеристик и показателей всех свойств (работоспособности и безопасности, ремонтпригодности, качества реализации информационных и вспомогательных функций и т. п.) по всем стадиям жизненного цикла ЖАТ. Однако наибольший объем наиболее ответственных работ по различным видам испытаний выполняется на этапах разработки и доказательства безопасности ЖАТ.

В ГОСТ 16504–81 [9] виды испытаний определяются как «классификационная группировка испытаний по определенному признаку». Следует отметить, что единой классификации признаков, следовательно, и видов испытаний ЖАТ, как и подобных технических систем, не существует. Это связано со спецификой сложных автоматизированных систем управления в различных технических и технологических областях и с наличием множества возможных разнородных классификационных признаков.

На основе опыта работ испытательного центра ЦКЖТ ПГУПС по доказательству работоспособности и безопасности ряда различных устройств и систем ЖАТ, а также введенных в [7, 8] понятий предлагаются следующие классификационные признаки испытаний: стадии жизненного цикла ЖАТ, предметная область (объект и предмет испытаний), технология испытаний.

Стадии жизненного цикла ЖАТ (формулирование исходных требований, разработка концепций, разработка технических и программных решений, доказательство безопасности, сертификация на безопасность или подтверждение соответствия, проектирование, изготовление аппаратных и программных средств, монтаж и пусконаладочные работы, ввод в эксплуатацию, технологическая и техническая эксплуатация, прекращение тиражирования и утилизация на конкретных объектах) сопровождаются такими видами испытаний, как исследовательские, предварительные, предъяви-

тельские, эксплуатационные, приемочные, типовые, регрессионные, сертификационные и т. д. по ГОСТ 16504–81 [9]).

Предметная область характеризуется объектом и предметом испытаний, т. е. интересующими испытателей свойствами объекта. Объектами испытаний в данном контексте могут выступать аппаратные, программные, аппаратно-программные средства железнодорожной автоматики и телемеханики, средства защиты от внешних воздействий, увязка систем между собой. В [7] определено, что методологической основой испытаний систем (устройств) ЖАТ на работоспособность и безопасность является понятие БФЖАТ. Это позволило выделить следующие предметы испытаний:

- полнота и корректность технологии;
- соответствие технологической безопасности требованиям нормативной документации;
- соответствие технических решений принятой концепции безопасности;
- полнота и корректность функций и средств защиты аппаратных и программных средств от опасных отказов (это и есть функциональная безопасность);
- эффективность защиты от внешних воздействий, включая обеспечение электромагнитной и технической совместимости устройств.

Технология испытаний характеризуется способом, средствами и местом проведения испытаний (статические, динамические, натурные, стендовые, эксплуатационные, с использованием средств имитации, на моделях, моделях и т. п.).

2. Термины и определения

2.1. Термины по этапам жизненного цикла ЖАТ

Термины по видам испытаний, связанных с этапами жизненного цикла ЖАТ как сложных систем управления, являются достаточно общими и формализованными для класса систем автоматики и управления и полно изложены в существующих нормативных документах, таких как ГОСТ 16504–81 [9], СТО РЖД 08.021–2015 [10], ГОСТ 34.603–92 [11].

Отдельного рассмотрения требует понятие регрессионных испытаний программного обеспечения по ГОСТ Р 56920–2016. Часть 1 [12] и ГОСТ Р 54147–2010 [13].

Регрессионное тестирование: тестирование после изменений элемента тестирования или его рабочей среды для определения того, происходят ли регрессивные отказы.

Примечание. Достаточное количество регрессионных тестов зависит от тестируемого элемента и от изменений этого элемента или его рабочей среды (ГОСТ Р 56920–2016 [12]).

Регрессионное тестирование: испытания, позволяющие определить, что внесение изменений в компонент системы не оказывает неблагоприятного влияния на функциональность, надежность или эксплуатационные характеристики и не вводит дополнительных дефектов (ГОСТ Р 54147–2010 [13]).

Для микропроцессорных ЖАТ, например для микропроцессорных централизаций стрелок и сигналов, характерны довольно частые изменения программного обеспечения (ПО), связанные с изменениями технологии или путевого развития станции – технологического обеспечения. Этим определяется необходимость выполнения регрессионных испытаний ПО. Учитывая специфику ЖАТ и их испытаний на работоспособность и безопасность, введем откорректированное определение:

Определение 2. Регрессионные испытания программного обеспечения устройств (систем) железнодорожной автоматики и телемеханики: испытания, проводимые при изменении ПО в процессе эксплуатации устройств (систем) железнодорожной автоматики и телемеханики с целью оценки полноты и корректности дополнений и изменений и отсутствия вновь внесенных ошибок.

Объем регрессионных испытаний ПО является важной характеристикой для систем ЖАТ, работающих в реальных условиях эксплуатации. Предпочтительно было бы ограничить его проверкой правильности только внесенных изменений.

Однако в каждом конкретном случае такое решение должно быть обосновано анализом структуры ПО, взаимосвязей программных модулей между собой и с базами данных. Следует отметить, что требование частичного регрессионного тестирования в свою очередь определяет требования к разработке ПО, его структуре (модульность) и организации межмодульных связей (минимум связей алгоритмических и информационных).

2.2. Термины по предметной области

Определение 3. Испытание на безопасность системы (устройства) железнодорожной автоматики и телемеханики: испытание, проводимое с целью подтверждения показателей безопасности системы (устройства) железнодорожной автоматики и телемеханики [ГОСТ Р 53431–2009].

Примечание. Испытания на безопасность включают статические испытания технологии и концепции безопасности, статические и динамические испытания программных, аппаратных и аппаратно-программных средств ЖАТ при отказах аппаратуры, ошибках в программах и внешних воздействиях, включая ошибочные действия операторов.

Определение 4. Испытания на технологическую безопасность системы (устройства) железнодорожной автоматики и телемеханики: ис-

пытания, направленные на проверку полноты и корректности выполнения системой (устройством) железнодорожной автоматики и телемеханики всех технологических функций в соответствии с технологическими требованиями и условиями безопасности.

Определение 5. Испытание системы (устройства) автоматики и телемеханики на безопасность функционирования: испытания, проводимые с целью проверки технологии, технологической безопасности и безопасного поведения системы (устройства) железнодорожной автоматики и телемеханики при отказах аппаратуры, ошибках в программах и внешних воздействиях, включая ошибочные действия операторов.

Примечание. Испытания выполняются поэтапно:

- автономные испытания базового ПО;
- автономные испытания технологического ПО;
- автономные испытания аппаратных средств;
- комплексные испытания программных и аппаратно-программных средств ЖАТ.

Определение 6. Испытания базового прикладного программного обеспечения системы (устройства) железнодорожной автоматики и телемеханики на работоспособность и безопасность: испытания, направленные на проверку полноты и корректности выполнения функций управления и реализации информационных, программных и аппаратных интерфейсов, отсутствия недеklarированных возможностей (НДВ), организации межпроцессорного обмена в многоканальной структуре, диагностирования вычислительных каналов системы (устройства) ЖАТ с учетом отказов аппаратных средств, ошибок системного и технологического программного обеспечения, внешних воздействий, включая ошибочные действия операторов.

Примечание. Проводятся автономные испытания составляющих и комплексные испытания базового ПО в целом.

Определение 7. Испытания технологического программного обеспечения системы (устройства) железнодорожной автоматики и телемеханики: испытания, направленные на проверку отсутствия НДВ, полноты и корректности технологии и технологической безопасности функционирования системы (устройства) железнодорожной автоматики и телемеханики в соответствии с требованиями нормативной и (или) конструкторской документации.

Примечание. Проводятся автономные испытания составляющих и комплексные испытания технологического ПО в целом.

Определение 8. Испытания аппаратных средств системы (устройства) железнодорожной автоматики и телемеханики на работоспособность и безопасность: статические и динамические испытания аппаратных средств системы (устройства) железнодорожной автоматики и телеме-

ханики, проводимые с целью проверки работоспособности, правильности принятой и реализованной концепции безопасности, отсутствия ошибочных технических решений в соответствии с требованиями принятой концепции, нормативной и (или) конструкторской документации.

Определение 9. Испытания системы (устройства) железнодорожной автоматики и телемеханики на электромагнитную совместимость: испытания, проводимые с целью подтверждения соответствия системы (устройства) железнодорожной автоматики и телемеханики требованиям электромагнитной совместимости.

2.3. Термины по технологии испытаний

Определение 10. Статические испытания системы (устройства) железнодорожной автоматики и телемеханики: испытание системы (устройства) железнодорожной автоматики и телемеханики с целью определения правильности реализации концепции безопасности принятыми техническими решениями без выполнения предусмотренных функций.

Определение 11. Динамические испытания системы (устройства) железнодорожной автоматики и телемеханики: испытание системы (устройства) железнодорожной автоматики и телемеханики в процессе функционирования с целью демонстрации наличия требуемого поведения и отсутствия нежелательного поведения в соответствии с требованиями нормативной и (или) конструкторской документации.

Определение 12. Автономные испытания системы железнодорожной автоматики и телемеханики: испытания частей системы железнодорожной автоматики и телемеханики, проводимые отдельно от системы с целью предварительной оценки их соответствия требованиям нормативной и (или) конструкторской документации.

Определение 13. Определительные испытания системы (устройства) железнодорожной автоматики: испытания, проводимые для определения значений характеристик системы (устройства) железнодорожной автоматики и телемеханики с заданными значениями показателей точности и (или) достоверности.

Примечания:

1. Определительные испытания предназначены для оценки значений технических (измеряемых) характеристик ЖАТ.

2. Определительные испытания для оценки вероятностных показателей безопасности невозможны. В результате испытаний натуральных образцов или имитационных моделей могут быть выявлены опасные состояния ЖАТ, вероятность которых определяется расчетными или имитационными методами.

Определение 14. Комплексные испытания системы железнодорожной автоматики и телемеханики: испытания, проводимые в процессе интеграции частей системы железнодорожной автоматики и телемеханики для проверки их совместимости между собой и функционирования системы в целом.

Определение 15. Эксплуатационные испытания системы (устройства) железнодорожной автоматики и телемеханики: испытания опытного образца системы (устройства) железнодорожной автоматики и телемеханики, проводимые на опытных полигонах или в реальных условиях на объектах инфраструктуры в форме опытной эксплуатации.

Определение 16. Ускоренные испытания системы (устройства) железнодорожной автоматики и телемеханики: испытания системы (устройства) железнодорожной автоматики и телемеханики, методы и условия проведения которых обеспечивают получение необходимой информации о характеристиках системы (устройства) в более короткий срок, чем при нормальных испытаниях.

Примечание. Ускоренные испытания выполняются либо для моделей устройств ЖАТ, либо с использованием моделей внешней среды.

Определение 17. Испытания железнодорожной автоматики и телемеханики на имитационных моделях: испытание аппаратных, программных, аппаратно-программных средств системы железнодорожной автоматики и телемеханики и (или) их моделей на работоспособность и безопасность с использованием имитационных моделей для имитации внешней среды в качестве генераторов входных воздействий и ответных реакций.

Определение 18. Испытания имитационных моделей железнодорожной автоматики и телемеханики: испытания имитационных моделей систем (устройств) ЖАТ с целью оценки работоспособности и безопасности систем (устройств) железнодорожной автоматики и телемеханики.

Заключение

Очевидно, что испытания таких ответственных систем, как СЖАТ, выполняющих разнообразные функции по обеспечению безопасности движения поездов, являются в еще большей степени ответственными процессами. Испытания предполагают наличие инструментальных средств, программ и методик испытаний, а самое главное – специалистов различного профиля, способных разработать, грамотно использовать созданные средства, что возможно только при обеспечении их эффективного взаимодействия. Последняя задача может быть решена только на основе единого понятийного аппарата по предметной области, жизненному циклу, средствам и методам доказательства безопасности ЖАТ, основными из которых являются испытания различного вида.

Полученные результаты:

- определены классификационные признаки для видов испытаний ЖАТ на работоспособность и безопасность;
- показано, что терминология испытаний по классификационному признаку «этапы жизненного цикла ЖАТ» достаточно полно и строго определена в действующих нормативных документах;
- даны пояснения и откорректировано определение термина «регрессионные испытания» ПО в процессе модернизации эксплуатируемых ЖАТ;
- сформулированы термины и даны определения испытаний по классификационному признаку «предметная область» (объект и предмет испытаний);
- сформулированы термины и даны определения испытаний по классификационному признаку «технология испытаний».

Перспективы:

- разработка понятийного аппарата по программам и методикам испытаний в соответствии с предложенным понятийным аппаратом в работах [1, 2] и понятиям по видам испытаний ЖАТ, сформулированным в данной работе;
- разработка предложений по составу и функциям инструментальных средств [2] для выполнения всех указанных в данной работе видов испытаний.

Библиографический список

1. Наседкин О. А. Особенности испытания МПУ ЖАТ / О. А. Наседкин, Е. В. Ледаев // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 7. – С. 30–32.
2. Наседкин О. А. Методическое и техническое обеспечение испытаний микропроцессорных систем / О. А. Наседкин, Д. А. Васильев, А. М. Белоус // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 12. – С. 23–27.
3. ГОСТ Р МЭК 61508-4-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 4. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2014. – 20 с.
4. ГОСТ Р 54504-2011. Безопасность функциональная. Политика, программа обеспечения безопасности. Доказательство безопасности объектов железнодорожного транспорта. – М. : Стандартинформ, 2013. – 24 с.
5. ГОСТ Р МЭК 61511-1-2011. Безопасность функциональная. Системы безопасности приборные промышленных процессов. Часть 1. Термины, определения и технические требования. – М. : Стандартинформ, 2013. – 65 с.
6. ГОСТ Р 53431-2009. Автоматика и телемеханика железнодорожная. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2010. – 19 с.
7. Марков Д. С. Терминологические особенности этапов разработки и доказательства безопасности железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. С. Марков, О. А. Наседкин, Д. А. Васильев, М. А. Бутузов // Автоматика на транспорте. – 2017. – Том 3. – № 3. – С. 368–379.

8. Марков Д. С. Понятийный аппарат экспертизы и испытаний железнодорожной автоматики на безопасность / Д. С. Марков, О. А. Наседкин, Д. А. Васильев, М. А. Бутузов // Автоматика на транспорте. – 2018. – Том 4. – № 1. – С. 30–45.
9. ГОСТ 16504–81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. – М. : Издательство стандартов, 1981. – 21 с.
10. СТО РЖД 08.021–2015. Устройство железнодорожной автоматики и телемеханики. Порядок разработки, испытаний и постановки на производство. – М. : ОАО РЖД, 2015. – 104 с.
11. ГОСТ 34.603–92. Информационная технология. Виды испытаний автоматизированных систем. – М. : Стандартиформ, 1992. – 6 с.
12. ГОСТ Р 56920–2016. Системная и программная инженерия. Тестирование программного обеспечения. Часть 1. Понятия и определения. – М. : Стандартиформ, 2016. – 54 с.
13. ГОСТ Р 54174–2010. Стратегический и инновационный менеджмент. Термины и определения. – М. : Стандартиформ, 2010. – 22 с.

Dmitry S. Markov

Oleg A. Nasedkin

Dmitry. I. Urganskov

Maxim A. Butuzov

«Automation and remote control on railways» department
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg

Types of tests of railway automation and remote control systems for operability and safety. Basic concepts and terminology

The necessity of the development of the conceptual apparatus in the field of types of testing railway automation and remote control systems and devices for operability and safety in accordance with the requirements of the life cycle stages of development and safety proof is shown. This is determined by the fact that the existing regulatory documents lack a general classification of the types of tests for complex automation and control systems, including railway automation systems. The paper proposed three classification criteria for testing railway automation and remote control systems: life cycle stages, the subject area, test technology. It is indicated that the types of tests for automated control systems according to the classification criteria «life cycle stages» in the existing regulatory documents are sufficiently formalized and suitable for use in the field of railway automatics and remote control. The types of tests according to the attributes «subject area» and «technology» are specific for various systems and, in particular, for systems of railway automation and remote control. It was determined that the basis of the conceptual apparatus for the types of tests should be the concept of operational safety and related concepts, namely, technological function, technology, technological safety, safe behavior, protection from hazards. On this basis, the work proposed a set of terms and definitions for the types of tests according to classification criteria «subject area» and «technology», which is the methodological basis for the further development of regulatory documents and conceptual apparatus in the field of developing test programs and methods for proving the operability and safety of railway automation and remote control systems (devices).

systems of railway automation and remote control, life cycle, subject area, test technology, classification signs, operational safety, types of tests according to classification signs.

References

1. Nasedkin O. A., Lediaev E. V. Features of computer based railway automation and remote control devices tests // Automation, communication and Informatics. 2012. – No 7. – Pp. 30–32 [Osobennosti ispytaniia MPU ZHAT // Avtomatika, sviaz, informatika].
2. Nasedkin O. A., Vasil'ev D. A., Belous A. M. Metodological and technical support of computer based systems test // Automation, communication and Informatics. 2013. – No 12. – Pp. 23–27 [Metodicheskoe i tekhnicheskoe obespechenie ispy'tanii` mikroprotcessorny`kh sistem // Avtomatika, sviaz, informatika].
3. GOST R IEC 61508-4–2012. Functional safety of electrical, electronic programmable electronic safety-related systems. Part 4 Terms and Definitions.
4. GOST R 54504–2011. Safety functional. Policy, security program. Proof of safety of railway facilities.
5. GOST R IEC 61511-1–2011. Safety functional. Safety systems instrument industrial processes. Part 1. Terms, definitions and technical requirements.
6. GOST R 53431–2009. Railway Automatics and Remote Control. Terms and Definitions.
7. Markov D. S., Nasedkin O. A., Vasil'ev D. A., Butuzov M. A. Terminological features of the development stages and safety proof of railway automation and remote control systems // Automation on transport. – 2017. – Vol. 3. – No 3 [Terminologicheskie osobennosti e'tapov razrabotki i dokazatel'stva bezopasnosti zheleznodorozhnoi` avtomatiki i telemehaniki // Avtomatika na transporte].
8. Markov D. S., Nasedkin O. A., Vasil'ev D. A., Butuzov M. A. Conceptual apparatus for the examination and testing of railway automation for safety // Автоматика на транспорте. – 2018. – Vol 4. – No 1. – Pp. 30–45 [Poniatii`ny`i` apparat e`kspertizy` i ispy'tanii` zheleznodorozhnoi` avtomatiki na bezopasnost` // Avtomatika na transporte].
9. GOST 16504–81. System of state testing of products. Testing and quality control of products. Basic terms and definitions.
10. STO RZD 08.021–2015. The device of railway automation and telemechanics. The order of development, testing and production.
11. GOST 34.603–92. Information technology. Types of automated test systems.
12. GOST R 56920–2016. System and software engineering. Software Testing. Part 1. Concepts and definitions.
13. GOST R 54174–2010. Strategic and innovative management. Terms and Definitions.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии В. И. Шамановым.
Поступила в редакцию 25.04.2019, принята к публикации 29.05.2019.*

МАРКОВ Дмитрий Спиридонович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: MDS1945@yandex.ru

НАСЕДКИН Олег Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: nasedkin@crtc.spb.ru

УРГАНСКОВ Дмитрий Игоревич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Центра компьютерных железнодорожных технологий кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: dima_urg@crtc.spb.ru

БУТУЗОВ Максим Алексеевич – старший научный сотрудник Центра компьютерных железнодорожных технологий кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: max@crtc.spb.ru

© Марков Д. С., Наседкин О. А., 2019
© Ургансков Д. И., Бутузов М. А., 2019