



Автоматика на транспорте

Automation on Transport

№ 4

Том 5

Декабрь, 2019

December, 2019



Учредитель

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС)
Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»

Главный редактор

Вал. В. Сапожников,
доктор техн. наук, профессор,
академик Академии транспорта РФ
и Международной академии наук высшей школы, заслуженный деятель науки РФ

Свидетельство о регистрации средства массовой информации

ПИ № ФС77-61375 от 10.04.2015,
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий 18 декабря 2017 года

ISSN 2412-9186
Индекс Роспечати 80525

Адрес редакции

190031, РФ, Санкт-Петербург,
Московский пр., 9, кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»,
+7(812) 457-8579
at.pgups@gmail.com

Редакция журнала

Перевод на английский язык
А. А. Блюдова
Литературное редактирование и корректура *Н. В. Фроловой*
Верстка *М. С. Савастеевой*

Электронное сопровождение
Д. В. Пивоварова

© ФГБОУ ВО ПГУПС, 2019

Founder

Federal Railway Transport Agency
Federal State Budget
Educational Institution
for Higher Education
«Emperor Alexander I St. Petersburg
State Transport University» (PSTU)
«Automation and Remote Control
on Railways» department

Editor-in-chief

Valeriy V. Sapozhnikov,
D. Sc., Professor, Member of Academy
of Transport of Russia and International
Higher Education Academy of Sciences,
Honored Science Worker of Russia

Mass media registration certificate number

PI № FS77-61375 dd. 10.04.2015 issued
by the Federal service for the monitoring
of communications, information
technologies and mass communications

The Journal is included in the Bulletin
of leading peer-reviewed scientific journals
and publications

ISSN 2412-9186
Rospechat Index 80525

Address

190031, Russia, St. Petersburg,
Moskovskiy ave., 9, «Automation and Remote
Control on Railways» department,
+7(812) 457-8579
at.pgups@gmail.com

Journal staff

English translation
Anton A. Blyudov
Editing and proofreading
Natalia V. Frolova
Layout *Maria S. Savasteeva*

Electronic maintenance
Dmitry V. Pivovarov

© PSTU, 2019

Международный редакционный совет

Валерий Сапожников
доктор техн. наук, профессор, ПГУПС,
главный редактор журнала
«Автоматика на транспорте»,
Санкт-Петербург, Россия

Константин Бочков
доктор техн. наук, профессор,
Белорусский государственный
университет транспорта,
Гомель, Белоруссия

Сергей Власенко
кандидат техн. наук, доцент,
Сименс, Брауншвейг, Германия

Александр Дундуа
доктор наук, профессор,
Грузинский технический университет,
Тбилиси, Грузия

Марек Мезитис
доктор наук, доцент,
Рижский технический университет,
Рига, Латвия

Йохен Тринкауф
доктор наук, профессор,
Технический университет Дрездена,
Дрезден, Германия

Раймунд Убар
доктор техн. наук, академик
Эстонской академии наук,
Таллинский технический университет,
Таллин, Эстония

Владимир Хаханов
доктор технических наук, профессор,
Харьковский национальный
университет радиоэлектроники,
Харьков, Украина

Фуниан Ху
доктор наук, профессор,
Школа электротехники педагогического
университета Цзянсу,
Сюйчжоу, Китай

Христо Христов
доктор техн. наук, профессор,
Технический университет,
София, Болгария

Редакционная коллегия

Никитин Александр Борисович
доктор техн. наук, профессор, заместитель
главного редактора журнала «Автоматика
на транспорте»,
ПГУПС, Санкт-Петербург

Соколов Вадим Борисович
кандидат техн. наук, доцент, научный редактор
журнала «Автоматика на транспорте»,
ПГУПС, Санкт-Петербург

Баранов Леонид Аврамович
доктор техн. наук, профессор,
РУТ, Москва

Бестемьянов Петр Филимонович
доктор техн. наук, профессор,
РУТ, Москва

Бушуев Сергей Валентинович
кандидат техн. наук, доцент,
УрГУПС, Екатеринбург

Василенко Михаил Николаевич
доктор техн. наук, профессор,
ПГУПС, Санкт-Петербург

Долгий Игорь Давидович
доктор техн. наук, профессор,
РГУПС, Ростов-на-Дону

Ефанов Дмитрий Викторович
доктор техн. наук, доцент,
ООО «ЛокоТех-Сигнал», Москва

Кокурин Иосиф Михайлович
доктор техн. наук, профессор,
ИПТ РАН, Санкт-Петербург

Марков Дмитрий Спиридонович
кандидат техн. наук, доцент,
ПГУПС, Санкт-Петербург

Наседкин Олег Андреевич
кандидат техн. наук, доцент,
ПГУПС, Санкт-Петербург

Никищенок Сергей Алексеевич
доктор техн. наук, профессор,
СамГУПС, Самара

Пыркин Антон Александрович
доктор техн. наук, профессор,
Университет ИТМО, Санкт-Петербург

Розенберг Ефим Наумович
доктор техн. наук, профессор,
НИИАС, Москва

Сапожников Владимир Владимирович
доктор техн. наук, профессор,
ПГУПС, Санкт-Петербург

Шаманов Виктор Иннокентьевич
доктор техн. наук, профессор,
РУТ, Москва

Ходаковский Валентин Аветикович
доктор техн. наук, профессор,
ПГУПС, Санкт-Петербург

International editorial council

Valery Sapozhnikov

D. Sc., Professor, Emperor Alexander I
St. Petersburg State Transport University,
Editor-in-chief
of «Automation on Transport»,
St. Petersburg, Russia

Konstantin Bochkov

D. Sc., Professor, Belarusian State
University
of Transport, Gomel, Belarus

Sergey Vlasenko

Ph. D., Associate Professor,
Siemens AG, Braunschweig, Germany

Alexander Dundua

D. Sc., Professor,
Georgian Technical University,
Tbilisi, Georgia

Marek Mezitis

Ph. D., Associate Professor,
Riga Technical University,
Riga, Latvia

Johann Trinckauf

Ph. D., Professor,
Dresden Technical University,
Dresden, Germany

Raimund Ubar

D. Sc., Member of Estonian
Academy of Sciences,
Tallinn Technical University,
Tallinn, Estonia

Vladimir Hahanov

D. Sc., Professor,
Kharkov National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine

Funian Hu

Ph. D., Professor,
School of Electrical Engineering
of Jiangsu Normal University,
Xuzhou City, China

Khristo Khristov

D. Sc., Professor, Technical University,
Sofia, Bulgaria

Editorial board

Alexander B. Nikitin

D. Sc., Professor, deputy editor-in-chief
of «Automation on Transport», Emperor
Alexander I St. Petersburg State Transport
University, St. Petersburg

Vadim B. Sokolov

Ph. D., Associate professor, executive editor
of «Automation on Transport»,
Emperor Alexander I St. Petersburg State
Transport University, St. Petersburg

Leonid A. Baranov

D. Sc., Professor, Russian University
of Transport, Moscow

Peter F. Bestemiyanov

D. Sc., Professor, Russian University
of Transport, Moscow

Sergey V. Bushuev

Ph. D., Associate Professor, Ural State
University of Railway Transport,
Ekaterinburg

Michael N. Vasilenko

D. Sc., Professor, Emperor Alexander I
St. Petersburg State Transport University,
St. Petersburg

Igor D. Dolgiy

D. Sc., Professor, Rostov State Transport
University, Rostov-on-Don

Dmitry V. Efanov

D. Sc., Associate Professor,
«LocoTech-Signal» LLC, Moscow

Iosif M. Kokurin

D. Sc., Professor, Institute of Transport
Problems of the Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg

Dmitry S. Markov

Ph. D., Associate professor, Emperor
Alexander I St. Petersburg State Transport
University, St. Petersburg

Oleg A. Nasedkin

Ph. D., Associate Professor, Emperor Alexander
I St. Petersburg State Transport University,
St. Petersburg

Sergey A. Nikischenkov

D. Sc., Professor, Samara State Transport
University, Samara

Anton A. Pyrkin,

D. Sc., Professor, IFMO University,
St. Petersburg

Efim N. Rozenberg

D. Sc., Professor, Scientific Research Institute
of Automation and Communication, Moscow

Vladimir Vl. Sapozhnikov

D. Sc., Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg
State Transport University, St. Petersburg

Victor I. Shamanov

D. Sc., Professor, Russian University
of Transport, Moscow

Valentin A. Khodakovsky

D. Sc., Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg
State Transport University, St. Petersburg

Содержание

Стандартизация и сертификация

- Марков Д. С., Наседкин О. А., Ургансков Д. И., Бутузов М. А.*
 Виды испытаний систем железнодорожной автоматики и телемеханики
 на работоспособность и безопасность. Основные понятия и терминология 429

Системы управления на транспорте

- Баранов Л. А.*
 Беспилотная система управления движением поездов как составляющая
 цифровизации городского транспорта 441
- Ковкин А. Н.*
 Централизованный контроль исправности выключенных светофорных ламп
 путем импульсного воздействия 450

Методы мониторинга в транспортных системах

- Костроминов А. М., Тюляндин О. Н.*
 Динамическая диагностика средств радиочастотной идентификации системы
 бесконтактной привязки пути метрополитена 467

Электронное моделирование

- Булавский П. Е., Ваисов О. К., Быстров И. Н.*
 Моделирование и оценка времени поиска и устранения отказов систем
 железнодорожной автоматики и телемеханики с помощью сетей Петри 478

В порядке дискуссии

- Герасименко П. В.*
 Моделирование показателей результатов творческой деятельности ученого
 по его публикациям и их цитированиям 493
- Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В.*
 Новый подход к расчету показателей деятельности ученых 505

Contents

Standardization and certification

- Markov D. S., Nasedkin O. A., Urganskov D. I., Butuzov M. A.*
Types of tests of railway automation and remote control systems for operability and safety. Basic concepts and terminology 429

Transport control systems

- Baranov L. A.*
Unmanned train traffic control system as a component of urban transport digitalization 441
- Kovkin A. N.*
Centralized health monitoring of switched off traffic lights by impulse action..... 450

Monitoring methods in transportation systems

- Kostrominov A. M., Tyulyandin O. N.*
The dynamic diagnostics of radio frequency identification systems of non-contact binding to the underground track 467

Electronic simulation

- Bulavsky P. E., Vaisov O. K., Bystrov I. N.*
Modeling and evaluating the time of search and elimination of failures of railway automation systems and telemechanics by means of Petri nets 478

In discuss

- Gerasimenko P. V.*
Simulation of indicators of the scientist's creative activity results based on publications and their quotes 493
- Sapozhnikov V. V., Sapozhnikov Vl. V., Efanov D. V.*
The new approach for the scientists research index 505

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

Системы управления на транспорте

УДК 629.4.053.3:625.42

Л. А. Баранов, д-р техн. наук

Кафедра «Управление и защита информации»
Российский университет транспорта, Москва

БЕСПИЛОТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

Рассматриваются принципы построения и эффективность централизованных систем автоматического управления движением поездов городских железных дорог, их роль в процессе цифровизации городского транспорта.

Дополнение этих систем бортовыми подсистемами диагностики, сбора эксплуатационной информации, центром сбора данных позволяет реализовать процесс цифровизации городских железных дорог.

Рассмотрены алгоритмы управления линий при компенсируемых возмущениях, сбоях и после ликвидации причин сбоя. Приведены функции бортовых беспилотных подсистем, подсистем планирования перевозок, обеспечивающих автоматическое построение планового графика движения поездов, графика оборота составов, функции центра обработки информации, используемой различными службами для анализа и выработки управленческих решений при эксплуатации городских железных дорог.

беспилотные системы, автоведение, алгоритмы управления, диагностика, сбор и обработка информации, цифровизация городских железных дорог, функции подсистем, центр обработки информации, автоматическое планирование перевозок, график движения, график оборота составов.

DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-4-441-449

Введение

Автомашинист, автоведение, беспилотное управление движением поездов – эволюция терминологии в определении систем автоматизированного и автоматического управления движением поездов, предназначенных для качественного выполнения заданного объема перевозок под контролем систем обеспечения безопасности [1, 2].

Накопленный опыт автоматизации технологических процессов, базирующийся на использовании микропроцессорной техники, современных каналов передачи информации наряду с дальнейшим развитием IT-технологий,

созданием надежной аппаратуры, реализующей передачу, переработку и хранение большого объема данных и знаний, дал возможность решения проблемы интеграции функций управления движением, безопасностью, эксплуатацией технических средств, интеллектуальным анализом показателей эффективности функционирования городского железнодорожного транспорта. С учетом определяющей роли в этом процессе интеграции IT-технологий, технических средств вычислительной техники и систем передачи цифровой информации современное направление развития транспорта названо его цифровизацией.

Качественное выполнение заданного объема перевозок трансформируется в требования точного выполнения графика движения поездов при компенсируемых возмущениях, автоматического перестроения графика движения и его выполнения при некомпенсируемых возмущениях. Подсистемы обеспечения безопасности движения функционируют либо совместно с системами автоведения, либо самостоятельно при «ручном» управлении поездов. С точки зрения автоматизации управления движением системы обеспечения безопасности накладывают ограничения на управление. Их команды пользуются высшим приоритетом.

Эффективность системы автоматического управления движением поездов определяется [3, 4]:

- повышением использования пропускной способности и увеличением провозной способности за счет более точного выполнения графика движения;
- повышением безопасности движения за счет уменьшения вероятности опасного сближения поездов;
- уменьшением затрат энергии на тягу поезда за счет выбора энергооптимальных режимов управления поездом и оптимального по критерию минимума энергозатрат распределения времени хода по линии на время хода по перегонам.

Существенной составляющей цифровизации в условиях метрополитенов, городских железных дорог является использование централизованной интеллектуальной системы автоматического управления движением поездов, состоящей из подсистем:

- планирования перевозок;
- централизованного управления на линии;
- обеспечения безопасности движения;
- беспилотных поездных устройств управления;
- центра сбора данных;
- центра диспетчерского управления.

Подсистема планирования перевозок обеспечивает автоматическое построение планового графика движения [5], графика оборота состава [6, 7],

графика работы бригад обслуживания, передачу этой информации другим подсистемам и службам в удобном для дальнейшего использования виде.

Подсистема централизованного управления поездами линии [1] получает информацию о моментах прибытия и отправления всех поездов по всем станциям и вырабатывает команды управления каждому поезду.

Централизованная система содержит два взаимосвязанных функциональных уровня управления. Верхний уровень определяет рассогласование между плановым и исполненным графиками движения, при компенсируемых возмущениях вырабатывает данные управления (длительность стоянок и время хода) для каждого поезда линии. В случае некомпенсируемых возмущений верхний уровень рассчитывает новый график движения и осуществляет управление в соответствии с этим графиком. Нижний уровень реализует управление, задаваемое верхним уровнем. Аппаратно роль нижнего уровня играют поездные устройства. В соответствии с таким способом построения системы автоматического управления ее разработка и внедрение имеют два этапа. На первом этапе отрабатываются поездные устройства в автономном режиме, на втором – алгоритмическое, программное, аппаратное обеспечение верхнего уровня и совместное функционирование обоих уровней.

Международный союз общественного транспорта с точки зрения эксплуатации систем рассматривает пять уровней автоматизации управления движением поездов (от G0A0 до G0A4) [8]. Уровень G0A4 реализует автоматическое управление движением поездов при отсутствии на подвижном составе эксплуатационного персонала. Этому уровню в большей степени соответствует термин «беспилотное управление».

Наличие на борту современных вычислительных средств позволяет интегрировать функции систем управления, обеспечения безопасности движения и систем диагностики поездного оборудования [9].

Вместе с тем целесообразно накапливать на борту, кроме диагностической информации, ряд эксплуатационных показателей. Например, фиксировать пробег, длительность непрерывной работы между техническими осмотрами (ТО), виды и длительность ТО и т. д. Эти данные, передаваемые в соответствующий центр по каналам связи поезд – станция – центр, являются исходной информацией для создания «электронных паспортов» подвижного состава, позволяют после обработки анализировать эксплуатационные показатели работы линии (направления). Реализация такого подхода соответствует парадигме развития «цифрового транспорта».

Центр сбора данных обеспечивает сбор и обработку диагностической информации с каждого поезда, формирует исполненный график движения, получает и обрабатывает эксплуатационную информацию с каждого поезда и других объектов линии.

Наблюдение за работой линии, согласие на принятие автоматически формируемых решений в сбойных ситуациях, управление линией в условиях отказов технических средств реализуется диспетчерским аппаратом, команды которого пользуются высшим приоритетом.

1. Алгоритмы централизованного управления

Алгоритмы управления, используемые при компенсируемых возмущениях, называются графико-интервальными с первоочередным использованием ресурса стоянок [1]. В графической части алгоритма выбор управления осуществляется для минимизации рассогласования планового и исполненного графиков движения, в интервальной части – минимизируется рассогласование между заданными и исполненными интервалами по прибытию и отправлению поездов. В качестве критериев качества управления выбраны максимальные, средние и среднеквадратические погрешности рассогласования, число остановок и подтормаживаний по сигналам систем обеспечения безопасности движения. Особенности алгоритмов являются:

- выбор управляющих величин с учетом ограничений на управление, зависящих от состояния системы;

- принятие решений в условиях неопределенности, когда команда на отправление поезда принимается при неизвестном отклонении длительности стоянки впередиидущего поезда от плановой.

В первом случае необходимая информация получается из регулировочной характеристики перегона, во втором – прогнозирование возмущений на основе предыстории, реализующее методы искусственного интеллекта, что позволило использовать в названии системы термин «интеллектуальная».

Регулировочные характеристики i -го перегона [10, 11] определены следующей зависимостью:

$$T_{uminj}[n+1] = \varphi\{T_{xj}[n], T_{xj}[n+1]\} + T_{c(j+1)}[n],$$

где $T_{uminj}[n+1]$ – минимальный интервал попутного следования $(n+1)$ -го поезда по j -му перегону при движении по «зеленым» сигналам системы обеспечения безопасности движения; $T_{xj}[n]$ – время хода n -го (предыдущего) поезда по j -му перегону; $T_{xj}[n+1]$ – время хода $(T_{c(j+1)}[n])$ поезда по j -му перегону; $T_{c(j+1)}[n]$ – длительность стоянки n -го поезда на $(j+1)$ -й станции.

Минимальный интервал попутного следования по j -му перегону является ограничением при принятии решения об отправлении $(n+1)$ -го поезда с j -й станции, и этот интервал линейно зависит от длительности стоянки

n -го поезда на $(j+1)$ -й станции. В условиях интенсивного движения к моменту принятия решения об отправлении $(n+1)$ -го поезда n -й поезд еще не прибыл на $(j+1)$ -ю станцию, длительность его стоянки на этой станции из-за имеющихся возмущений может отличаться от плановой, заданной графиком движения. Для расчета ограничения на управление величиной $T_{uminj} [n+1]$ в реальном времени разработана модель стоянки, позволяющая прогнозировать эту величину по предыстории процесса [12].

В случае сбоев движения, требующих снятия составов с линии, закрытия перегонов, работают алгоритмы управления во время сбоя движения, а затем алгоритмы, управляющие движением после ликвидации причин сбоя. Это управление реализуется под контролем диспетчерского аппарата.

Изучены и классифицированы типы сбоев движения, опыт управления диспетчеров. Разработаны эвристические алгоритмы управления для всех типов сбоя. Их эффективность подтверждена на имитационных моделях [13].

Разработаны алгоритмы управления после ликвидации причин сбоя [14, 15]:

- оптимальное управление по критерию максимального быстродействия;
- квазиоптимальное управление, учитывающее практически все имеющиеся рекомендации;
- модифицированное квазиоптимальное управление, выбирающее дополнительно варианты с минимальным расходом энергии.

В качестве критерия оптимальности принята длительность отрезка времени от конца ликвидации причин сбоя до момента занятия всеми поездами своих «ниток» планового графика движения. Это необходимо для корректной ночной расстановки составов на линии [7].

Оптимальный алгоритм, полученный методом полного перебора, не может, быть использован в реальном времени. Вместе с тем он позволяет оценить качество квазиоптимального и модифицированного квазиоптимального алгоритмов, быстродействие которых удовлетворяет требованиям системы.

2. Бортовые системы

Поезда с беспилотным управлением осуществляют регулирование времени хода (погрешность $\pm 2,5$ с) с выбором энергооптимальных режимов управления, прицельное торможение (погрешность до 30 см) с замедлением $\approx 0,8$ м/с², так как увеличение времени торможения на 1 с при заданном времени хода приводит к увеличению расхода энергии на тягу почти на 1 %. Бортовые системы обеспечивают безопасность движения, позиционирование поезда, измерение параметров движения, управление

дверьми, радиоинформацию, диагностику поездного оборудования, сбор эксплуатационной информации, реализуют обмен информации с центром управления. Дополнительно бортовые устройства должны обеспечить торможение поезда по команде диспетчера.

3. Центр сбора данных

Центр сбора данных является составной частью цифрового транспорта. Кратко перечислим важные функции центра:

- построение и хранение исполненных графиков движения при компенсируемых возмущениях, при сбоях, при восстановлении графика движения;
- сбор и обработка данных по результатам диагностики;
- сбор данных по пробегам, осмотрам, ремонтам, создание «электронных двойников» подвижного состава;
- хранение информации о параметрах перегонов;
- настройки для каждого перегона регуляторов времени хода и прицельного торможения, загружаемых в память бортовых систем при появлении новых составов на линии для реализаций функции «включи и используй» (plug-and-play);
- хранение протоколов действий диспетчерского аппарата;
- обеспечение связи с базами данных различных служб.

Заключение

Централизованные системы автоматического управления движением поездов, дополненные бортовыми подсистемами диагностики, сбора эксплуатационной информации, центром сбора данных, являются важнейшей составляющей процесса цифровизации городского железнодорожного транспорта.

Имеющийся опыт разработок и эксплуатации автоматической системы управления, результаты научно-исследовательских, конструкторских работ и испытаний позволяют эффективно решать задачу цифровизации городских железных дорог.

Библиографический список

1. Баранов Л. А. Микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава / Л. А. Баранов, Я. М. Головичер, Е. В. Ерофеев, В. М. Максимов ; под ред. Л. А. Баранова. – М. : Транспорт, 1990. – 272 с.
2. Никульчиков П. М. История, состояние и перспектива развития систем автоматического управления поездами метрополитена / П. М. Никульчиков // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 3. – С. 456–473.

3. Баранов Л. А. Оптимизация управления движением поездов / Л. А. Баранов, И. С. Мелешин, Л. М. Чинь ; под ред. Л. А. Баранова. – М. : МИИТ, 2011. – 164 с.
4. Баранов Л. А. Энергооптимальное управление движением поезда с рекуперативным тормозом при учете ограничений на фазовую координату / Л. А. Баранов, И. С. Мелешин, Л. М. Чинь // Наука и техника транспорта. – 2010. – № 4. – С. 107–114.
5. Сидоренко В. Г. Применение современных технологий программирования к автоматизации планирования движения поездов метрополитена / В. Г. Сидоренко, А. И. Сафронов, К. М. Филипченко, М. А. Чжо // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 3. – С. 331–347.
6. Сидоренко В. Г. Исследование возможности применения генетических алгоритмов к решению задач планирования работы электроподвижного состава метрополитена / В. Г. Сидоренко, М. А. Чжо // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2017. – № 6. – С. 37–40.
7. Сидоренко В. Г. Влияние ночной расстановки составов на режим работы электроподвижного состава метрополитена / В. Г. Сидоренко, К. М. Филипченко, М. А. Чжо // Электротехника. – 2016. – № 9. – С. 19–25.
8. IEC 62290-1: 2014 Railway applications urban guided transport management and command / control systems. Part 1: system principles and fundamental concepts, MOD [Электронный ресурс]. – <https://webstore.iec.ch/publication/6777>.
9. Медуницин Н. Б. Автоматизированные системы управления, диагностики и безопасности движения вагонов метро нового поколения / Н. Б. Медуницин, О. В. Малинин // Наукоемкие технологии. – 2005. – № 6. – С. 8–11.
10. Баранов Л. А. Алгоритмы для поездов метрополитена / Л. А. Баранов, Е. П. Балакина, Л. Н. Воробьева // Мир транспорта. – 2007. – № 2. – С. 104–113.
11. Баранов Л. А. Ограничения на управление в автоматизированных системах планирования и управления движением поездов метрополитена / Л. А. Баранов // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 3. – С. 319–330.
12. Баранов Л. А. Адаптивная модель длительности стоянки поезда / Л. А. Баранов, П. Ю. Воробьев // Модернизация процессов перевозок, систем автоматизации и телекоммуникаций на транспорте : материалы межрегиональной научно-практической конференции с международным участием, Т. 2. – Хабаровск, 9–10 декабря 2010 г. – Хабаровск, 2010. – С. 59–63.
13. Балакина Е. П. Принципы построения алгоритмов системы поддержки принятия решений поездному диспетчеру / Е. П. Балакина // Наука и техника транспорта. – 2008. – № 2. – С. 23–26.
14. Балакина Е. П. Автоматизированная система организации движения поездов с учетом экономии энергии на линиях метрополитена после сбоев / Е. П. Балакина, Е. В. Ерофеев, М. И. Щеглов // Наука и техника транспорта. – 2012. – № 1. – С. 47–50.
15. Балакина Е. П. Автоматизация оценки вариантов организации движения поездов на линии метрополитена / Е. П. Балакина, Е. В. Ерофеев, М. И. Щеглов // Наука и техника транспорта. – 2012. – № 2. – С. 37–39.

Leonid A. Baranov

«Information Management and Protection» department,
Russian University of Transport, Moscow

Unmanned train traffic control system as a component of urban transport digitalization

The principles of construction and the effectiveness of centralized systems for automatic control of trains of urban railways, their role in the digitalization of urban transport are considered.

The addition of these systems by the on-board subsystems of diagnostics, the collection of operational information, and the data collection center allows the digitalization of urban railways to be implemented.

Line control algorithms are considered for compensated disturbances, failures and after eliminating the causes of failure. The functions of onboard unmanned subsystems, transportation planning subsystems that automatically build a planned train schedule, train turnover schedule, and a data processing center function used by various services to analyze and develop managerial decisions in the operation of urban railways are presented.

unmanned systems, auto-driving, control algorithms, diagnostics, data collection and processing, digitalization of city railways, subsystem functions, information processing center, automatic transportation planning, traffic schedule, train turnover schedule.

References

1. Baranov L. A., Golovicher Ia. M., Erofeev E. V., Maksimov V. M. Computer based auto driving systems of electric rolling stock [Mikroprotcessorny`e sistemy` avtovedeniia e`lektropodvizhnogo sostava] // Ed. by. L. A. Baranov. – M. : Transport, 1990. – 272 p.
2. Nikulchikov P. M. // History, condition and future development of automatic control systems of subway trains [Istoriia, sostoianie i perspektiva razvitiia sistem avtomaticheskogo upravleniia poezdami metropolitena] // Automation on transport. – 2016. – No 3. – Vol. 2. – Pp. 456–473.
3. Baranov L. A., Meleshin I. S., Chin` L. M. Optimization of train traffic control [Optimizatsiia upravleniia dvizheniem poezdov] // Ed. by. L. A. Baranov. – M. : MIIT, 2011. – 164 p.
4. Baranov L. A., Meleshin I. S., Chin` L. M. Energy-optimal control of the movement of a train with a regenerative brake, taking into account restrictions on the phase coordinate [E`nergooptimal`noe upravlenie dvizheniem poezda s rekuperativny`m tormozom pri uchete ogranichenii` na fazovuiu koordinatu] // Science and technology in transport. – 2010. – No 4. – Pp. 107–114.
5. Sidorenko V. G., Safronov A. I., Philipchenko K. M., Chzho M. A. Application of modern programming technologies to the automation of subway train traffic planning [Primenenie sovremenny`kh tekhnologii` programmirovaniia k avtomatizatsii planirovaniia dvizheniia poezdov metropolitena] // Automation on transport. – 2016. – No 3. – Vol. 2 – Pp. 331–347.

6. Sidorenko V. G., Chzho M.A. // Investigation of the possibility of applying genetic algorithms to solving the problems of planning the work of the electric rolling stock of the subway [Issledovanie vozmozhnosti primeneniia geneticheskikh algoritmov k resheniiu zadach planirovaniia raboty` e`lektropodvizhnogo sostava metropolitena] // Electronics and electrical equipment of transport. – 2017. – No 6. – Pp. 37–40.
7. Sidorenko V. G., Philipchenko K. M., Chzho M. A. Influence of night arrangement of trains on the operating mode of the electric rolling stock of the subway [Vliianie nochnoi` rasstanovki sostavov na rezhim raboty` e`lektropodvizhnogo sostava metropolitena] // Russian Electrical Engineering – 2016. – No 9. – Pp. 19–25.
8. IEC 62290-1: 2014 Railway applications urban guided transport management and command / control systems. Part 1: system principles and fundamental concepts, MOD [electronic resource] <https://webstore.iec.ch/publication/6777>.
9. Medunitcin N. B., Malinin O. V. Automated control systems, diagnostics and traffic safety of new generation subway cars [Avtomatizirovanny`e sistemy` upravleniia, diagnostiki i bezopasnosti dvizheniia vagonov metro novogo pokoleniia] // Science Intensive Technologies. – 2005. – No 6. – Pp. 8–11.
10. Baranov L. A., Balakina E. P., Vorob`eva L. N. Algorithms for Metro Trains [Algoritmy` dlia poezdov metropolitena] // Transport world. – 2007. – No 2. – Pp. 104–113.
11. Baranov L. A. // Limitations of control in centralized automated traffic control systems of subway trains [Ogranicheniia na upravlenie v avtomatizirovanny`kh sistemakh planirovaniia i upravleniia dvizheniem poezdov metropolitena] // Automation on transport – 2016. – No 3. – Vol. 2 – Pp. 319–330.
12. Baranov L. A., Vorob`ev P. Iu. Adaptive Train Duration Model [Adaptivnaia model` dlitel`nosti stoianki poezda] // Proceedings of the interregional scientific-practical conference with international participation. Habarovsk. – 2010. – Vol. 2 – Pp. 9–10.
13. Balakina E. P. Principles of constructing algorithms for a decision support system for a train dispatcher [Printsipy` postroeniia algoritmov sistemy` podderzhki priniatiia reshenii` poezdnomu dispatcheru] // Science and technology in transport. – 2008. – No 2. – Pp. 23–26.
14. Balakina E. P., Erofeev E. V., Shcheglov M. I. Automated system for organizing train traffic, taking into account energy savings on subway lines after failures [Avtomatizirovannaia sistema organizatscii dvizheniia poezdov s uchetom e`konomii e`nergii na liniakh metropolitena posle sboev] // Science and technology in transport. – 2012. – No 1. – Pp. 47–50.
15. Balakina E. P., Erofeev E. V., Shcheglov M. I. Automation of the assessment of options for organizing the movement of trains on the subway line [Avtomatizatsiia ocenki variantov organizatscii dvizheniia poezdov na linii metropolitena] // Science and technology in transport. – 2012. – No 2. – Pp. 37–39.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Вал. В. Сапожниковым.
Поступила в редакцию 03.09.2019, принята к публикации 15.10.2019.*

БАРАНОВ Леонид Аврамович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление и защита информации» Российского университета транспорта.
e-mail: baranov.miit@gmail.com

© Баранов Л. А., 2019

УДК 681.518.5:004.052.32

А. Н. Ковкин, канд. техн. наук

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

ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ ИСПРАВНОСТИ ВЫКЛЮЧЕННЫХ СВЕТОФОРНЫХ ЛАМП ПУТЕМ ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Рассмотрен принцип контроля исправности выключенных светофорных ламп путем реализации импульсного тестового воздействия, определены параметры основных элементов схемы контроля, а также временные параметры тестирующих импульсов. В ходе изложения материала расчетным путем подтверждена возможность различения состояния нити выключенной лампы в условиях протяженных кабельных линий, предложены варианты практической реализации схем контроля.

контроль холодных нитей, различение состояний нити, мощность тестирующего воздействия, импульсное тестовое воздействие, генератор тестирующих сигналов, энергия тестирующего импульса, длительность тестирующего импульса, сопротивление зарядной цепи.

DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-4-450-466

Введение

Конкурентоспособность современной системы железнодорожной автоматики в значительной степени определяется наличием новых функций, способствующих улучшению эффективности управления перевозочным процессом. Ведущая роль в расширении функциональных возможностей, безусловно, принадлежит вычислительным средствам. Однако появление новых возможностей на уровне программного обеспечения зачастую сдерживается недостаточным уровнем развития силовой аппаратуры управления исполнительными объектами. Одним из основных ориентиров при разработке аппаратных средств управления светофорами в микропроцессорных системах централизации является обеспечение непрерывного мониторинга оборудования, а также наличие функций самодиагностики, позволяющих осуществлять локализацию возникающих отказов. Решение указанных задач предполагает реализацию контроля исправности светофорных ламп и линейных цепей в схемах управления светофорами при выключенном состоянии сигнальных показаний или, как принято говорить, контроля холодных нитей (КХН).

Технические решения, обеспечивающие реализацию КХН в релейных системах железнодорожной автоматики, основаны на использовании реле с обмотками, имеющими высокое сопротивление [1–3]. При исправных све-

тофорных лампах и отсутствии обрывов в цепях ламп через высокоомную обмотку реле протекает ток малой величины, обеспечивающий срабатывание реле, но не приводящий к разогреву нитей выключенных ламп. Существенным недостатком такого решения является сложность централизованного контроля нитей в условиях протяженных кабельных линий, поскольку работа реле в этом случае подвержена влиянию токов, протекающих через емкость кабеля и индуктивность намагничивания сигнального трансформатора. Поэтому данный принцип контроля холодных нитей предусматривает размещение огневого реле в непосредственной близости от светофора. Это объясняет ограниченную реализацию функции КХН в релейных системах и определяет необходимость поиска иных решений, обеспечивающих устойчивое различение состояний нити лампы при значительной длине кабельной линии.

Ослабить влияние паразитных параметров контролируемой цепи на процесс обнаружения обрывов можно путем повышения мощности тестирующего воздействия. Однако увеличение мощности непрерывного воздействия до приемлемого уровня неизбежно приведет к значительному разогреву нитей выключенных ламп, что создает угрозу безопасности. Разрешить данное противоречие можно за счет тепловой инерции нитей светофорных ламп путем реализации импульсного воздействия на контролируемую цепь. Мгновенное значение мощности импульсов должно обеспечивать устойчивое различение состояния выключенной светофорной лампы при значительном удалении светофора. Среднее значение мощности импульсного воздействия и энергия импульса должны иметь достаточно малую величину, чтобы не происходил существенный разогрев холодной нити. Если функция КХН реализуется в целях диагностики, опасность представляет не факт получения ложного контроля, а возможность подсветки выключенных светофорных ламп. Поэтому аппаратные средства, реализующие функцию КХН, должны исключать возможность критичного изменения параметров тестирующих импульсов при возникновении отказов элементов.

1. Принцип выявления отказов в цепях выключенных ламп накаливания с помощью импульсного тестового воздействия и выбор параметров элементов схемы контроля холодных нитей

Контроль холодной нити путем импульсного воздействия основан на подаче в кабельную линию светофора коротких импульсов напряжения, следующих через значительные интервалы времени, и контроле электрических параметров (напряжения или тока) в цепи во время воздействия каждого импульса. Для исключения опасного воздействия на контролируемые объекты энергия тестирующего импульса должна быть ограничена значе-

нием, при котором температура нити лампы во время действия импульса не будет повышаться до величин, соответствующих появлению видимого свечения. В промежутках между импульсами происходит снижение температуры нити, и период следования импульсов должен быть достаточно большим, чтобы значение температуры по окончании действия каждого импульса находилось в безопасных пределах. Для предотвращения опасного воздействия на выключенную светофорную лампу устройства КХН должны исключать возможность увеличения энергии импульсов при возникновении отказов. Уменьшение периода следования тестовых импульсов приводит к увеличению среднего значения мощности воздействия. Поэтому, если невозможно предотвратить изменение временных параметров, уменьшение периода должно компенсироваться соответствующим снижением энергии импульса.

Эффективным способом реализации указанных требований является формирование импульсов путем периодического подключения к контролируемой цепи конденсатора, предварительно заряжаемого по цепи с высоким сопротивлением [4]. В этом случае энергия импульса будет ограничена емкостью конденсатора и величиной напряжения в конце заряда. Если частота сигнала, управляющего работой схемы, по какой-либо причине возрастет, период следования импульсов сократится, но одновременно снизится и напряжение, до которого будет успевать заряжаться конденсатор, значит уменьшится энергия, накопленная в нем на момент окончания заряда.

Схема, отражающая данный принцип контроля холодной нити, показана на рис. 1. В этой схеме конденсатор C заряжается от источника питания $U_{пит}$ через резистор $R_{зар}$. Разряд конденсатора на контролируемую линию реализуется путем открытия полупроводникового коммутационного элемента VT , переключающегося под воздействием генератора тестирующих сигналов ГТС. Предполагается, что цепь управления светофорной лампой разомкнута со стороны устройств управления светофором и не влияет на процесс разряда конденсатора. Продолжительность разряда конденсатора ограничена и определяется параметрами сигнала на выходе ГТС. Ток разряда, а значит и величина изменения напряжения на конденсаторе за определенный промежуток времени зависят от состояния нити лампы. Если нить исправна – ток разряда достигает больших значений и конденсатор разряжается почти полностью. При обрыве нити ток разряда ограничен индуктивностью сигнального трансформатора и напряжение на конденсаторе в процессе разряда изменяется незначительно.

В рассматриваемом техническом решении состояние нити определяется по величине напряжения на конденсаторе в конце разряда, для чего в схеме предусмотрен компаратор K . Если нить исправна, происходит переключение компаратора и формируется импульсный сигнал, обрабаты-

мый вычислительными средствами системы автоматики. При обрыве нити изменение напряжения на конденсаторе недостаточно для переключения компаратора и импульсы на выходе схемы отсутствуют. Определять состояние нити можно и путем измерения тока разряда, но контроль напряжения на конденсаторе является предпочтительным вариантом, поскольку конденсатор создает эффект, аналогичный интегрирующей цепи, в результате чего обеспечивается высокая защищенность схемы от мешающего воздействия импульсных помех без использования дополнительных фильтрующих цепей.

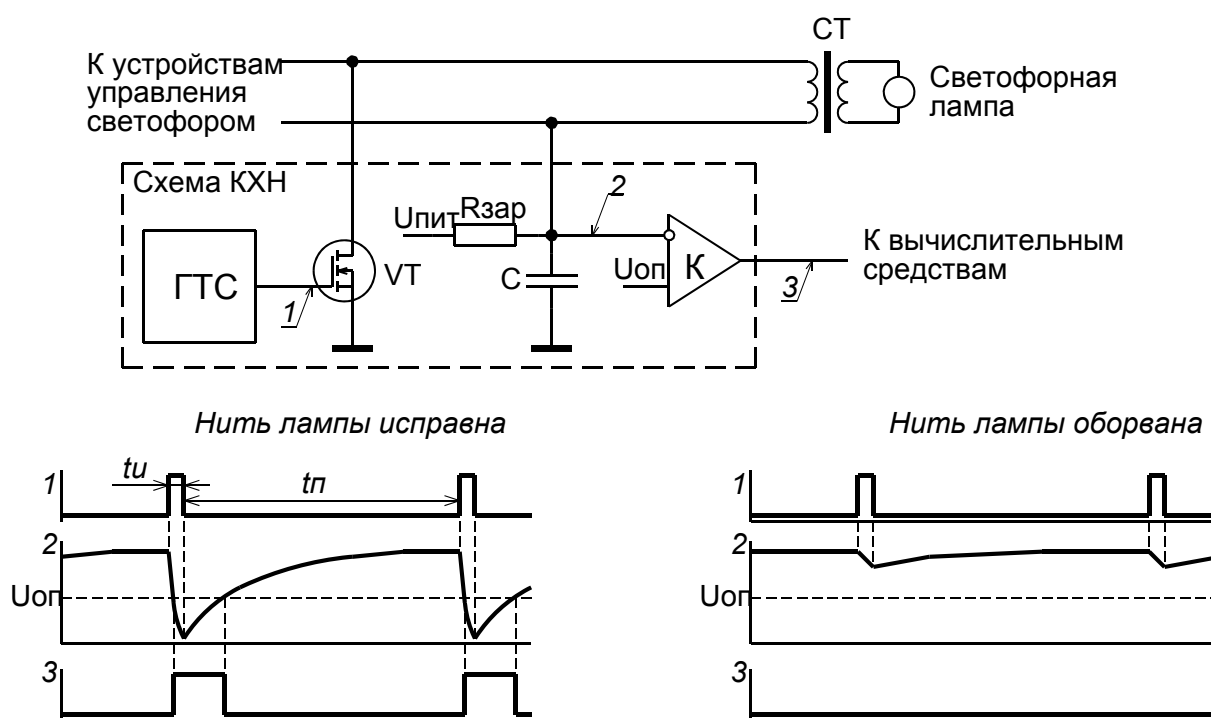


Рис. 1. Принцип импульсного тестирования холодных нитей

Ключевым вопросом при построении импульсной схемы КХН является выбор величины емкости конденсатора. В первую очередь необходимо ограничить энергию, накапливаемую в конденсаторе, на безопасном уровне, исключающем разогрев нити лампы до температуры красного каления во время воздействия тестирующего импульса. Энергия W , накопленная в конденсаторе при заряде, имеет прямую зависимость от величины емкости C и напряжения U . Количественно оценить энергию можно с помощью известной формулы [5]:

$$W = \frac{CU^2}{2}.$$

Величину энергии, обеспечивающую разогрев нити до появления видимого свечения, можно определить экспериментальным путем, подключая предварительно заряженный конденсатор к нити лампы и наблюдая за состоянием нити в затемненном помещении. В ходе экспериментов, проведенных автором, установлено, что видимое свечение нити возникает при величине энергии около 0,45 Дж. Таким образом, при напряжении источника питания схемы КХН, не превышающем 30 В, и отсутствии иных факторов, вызывающих повышение температуры нити, емкость конденсатора менее 1000 мкФ обеспечивает отсутствие опасного влияния на светофорную лампу. Однако необходимо учитывать, что при управлении удаленными светофорами лампы подвержены опасному влиянию со стороны соседних цепей линии через емкость кабеля [6], т. е. нить может быть изначально нагрета до величины, значительно превышающей температуру окружающей среды, вследствие чего нагрев нити до температуры свечения может произойти при меньшей энергии тестирующего импульса. Поэтому при выборе максимально допустимой величины емкости целесообразно предусматривать многократный запас.

Минимальное значение емкости конденсатора должно выбираться из условия устойчивой работы схемы на протяженных кабельных линиях. Если емкость конденсатора будет соизмерима с рабочей емкостью контролируемой цепи, величина изменения напряжения на конденсаторе при разряде существенно возрастет, что осложнит выявление обрыва нити. С учетом этого минимальная емкость конденсатора должна многократно превышать максимально возможное значение рабочей емкости кабельной линии. Если критерием правильного выбора величины емкости в схеме КХН считать равенство коэффициентов запаса по максимальному и минимальному значениям, то при максимальной рабочей емкости цепи 0,5 мкФ оптимальная величина емкости конденсатора в схеме КХН будет находиться в диапазоне от 20 до 25 мкФ. При этом будет обеспечен запас в 40...50 раз как по условиям безопасности, так и по условиям работоспособности схемы на длинных линиях.

Не менее важным вопросом с точки зрения безопасности является выбор сопротивления зарядной цепи. Опасная ситуация может возникнуть в том случае, если в результате отказа ГТС увеличится частота следования тестирующих импульсов. В этом случае в результате динамической работы коммутационного элемента схема КХН будет функционировать как преобразователь напряжения и интенсивность опасного воздействия на выключенную лампу будет определяться уже не энергией, накапливаемой в конденсаторе, а средним значением мощности, передаваемой на лампу от источника питания. Если не рассматривать потери мощности в полупроводниковом ключе и сигнальном трансформаторе, единственным элементом, способным ограничить передаваемую мощность, является зарядный рези-

стор. Поэтому необходимо определить минимальное значение сопротивления зарядного резистора, обеспечивающее отсутствие опасного воздействия на светофорную лампу при некорректном управлении коммутационным элементом схемы. Для этого можно воспользоваться моделью, приведенной на рис. 2.

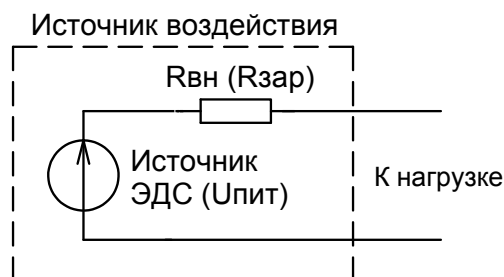


Рис. 2. Модель источника воздействия при некорректном функционировании схемы КХН

Величина ЭДС в рассматриваемой модели равна напряжению источника питания схемы КХН ($U_{\text{пит}}$). Внутреннее сопротивление представлено сопротивлением зарядного резистора. Нагрузкой является остальная часть схемы КХН и контролируемая цепь. Известно, что наибольшая величина мощности, передаваемой от источника воздействия в нагрузку, обеспечивается при согласованном режиме, когда внутреннее сопротивление источника равно сопротивлению нагрузки [5]. Максимальное значение мощности, передаваемой в нагрузку при согласованном режиме, можно однозначно связать с внутренним сопротивлением источника (сопротивлением зарядного резистора $R_{\text{зар}}$) следующим выражением:

$$P = \frac{U_{\text{пит}}^2}{4R_{\text{зар}}}$$

При известном значении мощности сопротивление резистора будет определяться следующим образом:

$$R_{\text{зар}} = \frac{U_{\text{пит}}^2}{4P}$$

Исходя из экспериментальных данных пороговое значение напряжения для светофорной лампы составляет 0,8 В [7]. При указанном напряжении ток через лампу мощностью 15 Вт имеет величину 0,4 А, что соответствует мощности 0,32 Вт. Согласно приведенному выражению, указанная мощность достигается при сопротивлении зарядного резистора 703 Ом. Для того чтобы исключить возникновение опасной ситуации при одновре-

менном действии нескольких неблагоприятных факторов, целесообразно предусмотреть десятикратный запас и принять минимальную величину зарядного сопротивления равной 7 кОм. Следует отметить, что чрезмерное увеличение сопротивления нежелательно, поскольку увеличивается время заряда конденсатора и соответственно возрастает необходимый интервал между тестирующими импульсами. Поэтому величину зарядного сопротивления целесообразно выбирать в диапазоне от 7 до 8 кОм.

2. Выбор временных параметров тестирующих импульсов и доказательство работоспособности схемы КХН

Следующей задачей является определение временных параметров сигнала на выходе ГТС, обеспечивающего эффективное различие исправного и неисправного состояния нити при величинах емкости конденсатора и сопротивления зарядного резистора, выбранных в соответствии с приведенными выше рекомендациями.

Для обеспечения устойчивой работы схемы продолжительность паузы между тестирующими импульсами $t_{\text{п}}$ должна обеспечивать практически полный заряд конденсатора. Известно, что достижение электрической величиной 99 % от установившегося значения обеспечивается за промежуток времени, равный пяти постоянным времени электрической цепи [5]. Таким образом, требуемая продолжительность паузы $t_{\text{п}}$ будет определяться следующим выражением:

$$t_{\text{п}} = 5CR_{\text{зар}}$$

Согласно данному выражению, для емкости 22 мкФ и сопротивления 7,5 кОм необходимая продолжительность паузы будет равна 0,83 с.

Необходимая длительность импульса определяется из условия обеспечения достаточного различия между напряжениями на конденсаторе в конце разряда при исправной и при оборванной нити. Для этого следует провести анализ переходного процесса, воспользовавшись упрощенными схемами, представленными на рис. 3. Нить контролируемой лампы представлена на схеме активным сопротивлением $R'_{\text{х.н}}$, приведенным к первичной цепи сигнального трансформатора с учетом используемого коэффициента трансформации. В целях упрощения расчетов коммутационный элемент можно отобразить переключающим контактом, поскольку сопротивление зарядного резистора $R_{\text{зар}}$ велико и не оказывает существенного влияния на процесс разряда конденсатора C . В силу того, что величина емкости конденсатора в схеме КХН многократно превышает емкость кабельной линии, последняя на схемах представлена только активными сопротивлениями кабельных жил $R_{\text{лин}}$.

Сигнальный трансформатор отображается схемами замещения, в состав которых входит активное сопротивление обмоточного провода первичной обмотки $R_{п1}$ и приведенное к первичной цепи сопротивление провода вторичной обмотки $R'_{п2}$. При надлежащем функционировании схемы ток, протекающий через холодную нить лампы, многократно превышает ток через индуктивность намагничения трансформатора. Поэтому на схеме, соответствующей исправной нити, сигнальный трансформатор представлен без индуктивности намагничения. На схеме для оборванной нити индуктивность трансформатора отражается элементом L_0 .

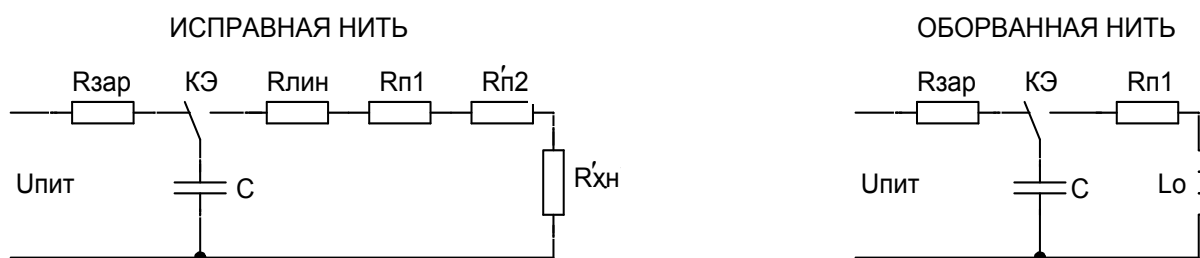


Рис. 3. Упрощенные эквивалентные схемы для расчета устройства КХН

Приведенные значения параметров вторичной цепи $R'_{п2}$ и $R'_{х.н}$ определяются с помощью формул:

$$R_{п2} = k_2 R_{п2};$$

$$R'_{х.н} = k^2 R_{х.н},$$

где k – коэффициент трансформации сигнального трансформатора.

Неблагоприятной ситуацией с точки зрения контроля исправной нити является наибольшее значение постоянной времени RC-цепи, которое имеет место при максимальной протяженности кабельной линии. Наихудшими условиями для обнаружения обрыва являются минимальное значение индуктивности намагничения и минимальное сопротивление цепи, имеющее место при нулевом значении сопротивления линии.

Напряжение на конденсаторе в конце разряда на контролируемую цепь с исправной нитью $u_{и.н}$ при заданной длительности можно определить с помощью известного выражения для RC-цепи [5]:

$$u_{и.н} = U_{нач} e^{-t/\tau_{ин}},$$

где $U_{нач}$ – напряжение на конденсаторе в начальный момент времени (при нормальной работе схемы это напряжение можно считать равным напряжению питания), В; t – длительность процесса разряда (равна длительно-

сти импульса $t_{и}$), с; $\tau_{и.н}$ – постоянная времени цепи разряда при исправной нити.

Обратная задача, состоящая в определении необходимой длительности импульса при заданной величине напряжения, решается следующим образом:

$$t_{и} = -\tau \ln \frac{u_{и.н}}{U_{нач}}.$$

Постоянная времени зависит от сопротивления холодной нити, параметров сигнального трансформатора, длины линии и определяется следующим выражением:

$$\tau_{и.н} = C(R_{лин} + R_{п1} + R'_{п2} + R'_{х.н}).$$

В случае обрыва нити конденсатор разряжается на индуктивность намагничения сигнального трансформатора и характер процесса определяется дифференциальным уравнением [8]:

$$L_0 C \frac{d^2 u}{dt^2} + R_{п1} C \frac{du}{dt} + u = 0,$$

где u – мгновенное значение напряжения на конденсаторе.

Корни $s_{1,2}$ соответствующего характеристического уравнения определяются выражением:

$$s_{1,2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2},$$

где δ – показатель затухания колебаний; ω_0 – угловая частота незатухающих колебаний, рад/с, определяемые следующим образом:

$$\delta = \frac{R_{п1}}{2L_0};$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_0 C}}.$$

Если $\delta > \omega_0$, переходной процесс имеет аperiodический характер и напряжение на конденсаторе в конце разряда при оборванной нити $u_{о.н}$ определяется следующей формулой:

$$u_{o.n} = \frac{U_{пит}}{2\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}} (s_1 e^{s_2 t_n} + s_2 e^{s_1 t_n}).$$

Если $\delta < \omega_0$, процесс имеет характер затухающих колебаний и напряжение на конденсаторе можно вычислить следующим образом:

$$u_{o.n} = U_{пит} e^{-\delta t} \left(\cos \omega_{cb} t + \frac{\delta}{\omega_{cb}} \sin \omega_{cb} t \right),$$

где ω_{cb} – угловая частота затухающих колебаний, определяемая выражением, рад/с:

$$\omega_{cb} = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}.$$

С использованием приведенных выше формул вычисляется необходимая длительность тестирующего импульса, обеспечивающая получение заданного напряжения на конденсаторе при исправной нити лампы. После этого определяется напряжение в конце действия импульса при оборванной нити, в результате чего проверяется возможность различения исправного и неисправного состояния контролируемой цепи.

Далее приведен расчет длительности тестирующего импульса и подтверждение работоспособности схемы КХН для светофорных ламп накаливания мощностью 15 Вт, работающих в кабельной сети с удельным сопротивлением жилы 28,8 Ом/км, максимальной протяженностью линии 3 км и номинальным напряжением на выходе аппаратуры управления светофорами, равным 220 и 110 В. Опорное напряжение $U_{оп}$ в схеме на рис. 1 принято равным половине напряжения питания схемы. Критерием устойчивого различения состояний цепи считается выполнение следующих неравенств:

$$u_{и.н} \leq \frac{1}{3} U_{пит};$$

$$u_{o.n} \geq \frac{2}{3} U_{пит}.$$

Исходные данные для расчета приведены в таблице 1.

Результаты расчета, представленные в таблице 2, показывают, что при емкости конденсатора 22 мкФ необходимая длительность тестирующего импульса имеет величину около 23 мс для напряжения 220 В и около 8 мс для напряжения 110 В. Работоспособность схемы обеспечивается для обоих номинальных напряжений в кабельной сети. В то же время при напря-

жении 220 В разность между $U_{o.n}$ и $U_{и.н}$ получается меньше, что означает несколько худшую устойчивость схемы к воздействию дестабилизирующих факторов (отклонению параметров элементов, изменению величины напряжения питания, влиянию помех и т. п.).

Таблица 1

Параметр	Единица измерения	Значение для 220 В	Значение для 110 В
C	мкФ	22	
$U_{пит}$	В	24	
$U_{и.н}$	В	8	
$U_{o.n}$, не менее	В	16	
$R_{лин}$	Ом	173	
$R_{п1}$	Ом	80	20
k для короткой линии		17,9	9,0
k для длинной линии		16,1	7,3
$R_{п2}$	Ом	0,7	
$R_{х.н}$	Ом	2	
L_o	Гн	39	9,8

Таблица 2

Параметр	Единица измерения	Значение для 220 В	Значение для 110 В	Примечание
$U_{и.н}$	мс	21,0	7,41	Для обоих номинальных напряжений на выходе аппаратуры управления $\delta < \omega_0$, следовательно, процесс разряда конденсатора при оборванной нити имеет характер затухающих колебаний
$t_{и}$	мс	23,1	8,15	
δ	–	1,03	1,08	
ω_0	рад/с	34,1	66,7	
$U_{o.n}$	В	17,1	20,5	

3. Варианты практической реализации схем КХН

Основными задачами, которые возникают в процессе разработки схемотехнических решений для контроля холодных нитей, являются исключение возможности сообщения между цепями различных светофоров через схемы КХН, а также предотвращение взаимных влияний схемы КХН и устройств управления светофором. Наиболее простой способ решения указанных задач состоит в использовании переключающих реле и разделительных трансформаторов для каждой схемы КХН (рис. 4).

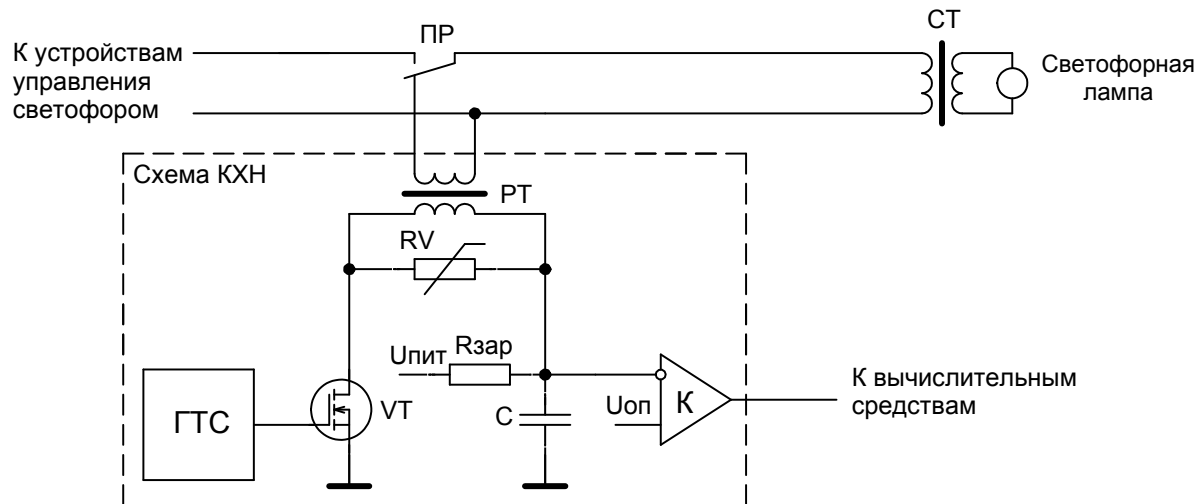


Рис. 4. Схема КХН с релейным переключением

При разряде конденсатора на контролируемую цепь в индуктивности трансформаторов накапливается энергия, и в момент закрытия полупроводникового ключа возникает ЭДС самоиндукции, способная привести к повреждению элементов схемы. Поэтому в любой схеме КХН должны предусматриваться защитные элементы, обеспечивающие ограничение напряжения на ключе. В рассматриваемом примере защитная цепь реализована в виде варистора R_V , включенного параллельно обмотке разделительного трансформатора P_T . Переключающее реле обеспечивает отсутствие взаимных влияний между схемой КХН и аппаратурой управления светофором, однако наличие релейного контакта может быть нежелательным, поскольку плохо сочетается с концепцией бесконтактного управления исполнительными объектами. Поэтому представляет интерес схема с бесконтактным отключением схемы КХН от контролируемой цепи, показанная на рис. 5.

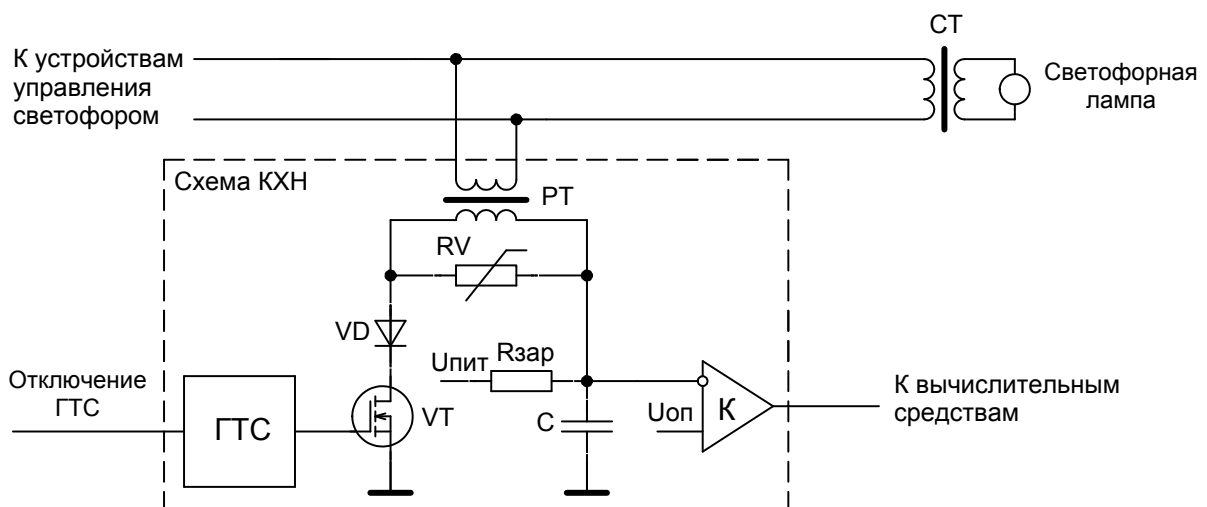


Рис. 5. Схема КХН с бесконтактным отключением разрядной цепи

В данной схеме предусмотрена подача сигнала, осуществляющего выключение ГТС во время работы контролируемой светофорной лампы. При выключении ГТС транзистор VT находится в закрытом состоянии и препятствует шунтированию схемой КХН цепи работающей лампы. Диод, включенный последовательно с транзистором, предотвращает протекание тока через паразитный диод в полупроводниковой структуре МДП-транзистора [9] при воздействии полуволны переменного напряжения, создающей отрицательный потенциал на левом выводе обмотки разделительного трансформатора.

Общим недостатком всех схем КХН, содержащих разделительный трансформатор, является заметное влияние последнего на процесс разряда конденсатора. При исправной нити сопротивление обмоток трансформатора суммируется с общим сопротивлением цепи, увеличивая напряжение на конденсаторе в конце действия тестирующего импульса. При оборванной нити индуктивность намагничения разделительного трансформатора способствует более глубокому разряду конденсатора, в результате чего напряжение в конце разряда становится меньше. Указанные факторы затрудняют различение состояний контролируемой нити и не позволяют обеспечить устойчивое функционирование схемы КХН на кабельных линиях значительной протяженности, вынуждая разработчиков прибегать к использованию усложненных алгоритмов обработки сигналов на выходе схемы КХН [10].

Решить данную проблему можно путем отказа от использования разделительного трансформатора (рис. 6). В этом случае необходимо осуществлять питание каждой схемы КХН через преобразователь напряжения (ПН) с гальванической развязкой, а в цепях передачи управляющих и контрольных сигналов использовать оптроны (VU1, VU3).

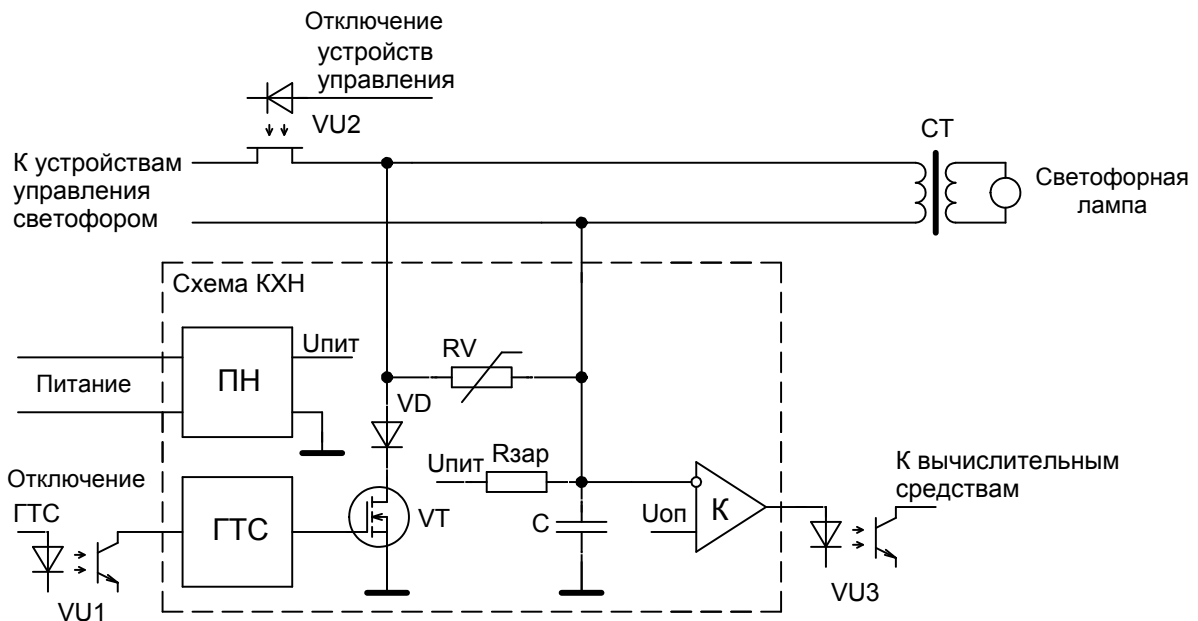


Рис. 6. Бестрансформаторная схема КХН

Если аппаратура управления светофором может оказывать влияние на процесс разряда конденсатора (например, в составе аппаратуры имеются трансформаторы), следует реализовать возможность отключения аппаратуры управления от контролируемой цепи на время работы схемы КХН. В приведенном примере это реализуется с помощью оптоэлектронного реле VU2.

Заключение

Раннее выявление отказов светофорных ламп накаливания достигается за счет контроля холодных нитей. Эффективно реализовать данную функцию на протяженных кабельных линиях можно путем осуществления импульсных тестовых воздействий. Для гарантированного исключения подсветки выключенной лампы необходимо ограничивать энергию тестирующих импульсов. В предложенном техническом решении это достигается реализацией тестового воздействия подключением к контролируемой цепи на определенный промежуток времени предварительно заряженного конденсатора. Состояние холодной нити определяется по величине напряжения на конденсаторе в конце разряда на контролируемую цепь.

Для устойчивого определения состояния нитей ламп удаленных светофоров емкость конденсатора должна многократно превышать рабочую емкость кабельной линии. В то же время энергия, накапливаемая в конденсаторе, при наихудших условиях не должна разогревать нить до температуры красного каления. Удачным решением с точки зрения работоспособности схемы КХН на протяженных кабельных линиях и отсутствия опасного воздействия на выключенную лампу следует считать выбор емкости конденсатора в пределах 20...25 мкФ при номинальном напряжении источника питания зарядной цепи 24 В.

Сопротивление резистора в зарядной цепи должно ограничивать максимальное значение мощности, передаваемой в контролируемую цепь при некорректной работе схем, управляющих силовым ключом. Расчеты показывают, что минимальная величина зарядного сопротивления, приемлемая с точки зрения безопасности в условиях наличия взаимных влияний между цепями, составляет 7...8 кОм.

Для стабильной работы схемы конденсатор должен полностью заряжаться в интервалах между импульсами при указанном сопротивлении зарядной цепи. Данное требование выполняется, если период следования импульсов имеет величину около одной секунды.

Принципиальная возможность различения состояний холодной нити, а также необходимая длительность подключения конденсатора (длительность тестирующего импульса) определены путем анализа переходных процессов, возникающих при подключении конденсатора к контролируе-

мой цепи. По результатам анализа установлено, что устойчивая работа схемы КХН обеспечивается при длительности тестирующих импульсов в пределах от 8 до 24 мс в зависимости от рабочего напряжения контролируемой цепи.

Практическая реализация схемы КХН требует обеспечения гальванической развязки между цепями различных светофоров и исключения взаимовлияния между схемой КХН и устройствами управления светофором. Данные условия могут обеспечиваться путем использования реле и разделительных трансформаторов. Однако перспективным направлением является разработка бесконтактных схем КХН. При этом наилучших характеристик можно ожидать от схемных решений, в которых вместо разделительного трансформатора использованы индивидуальные источники питания с гальванической развязкой. Основные результаты, приведенные в данной публикации, использованы при разработке схем КХН в составе силовых модулей управления светофорами микропроцессорной централизации МПЦ-МПК [11], эксплуатируемой на объектах железнодорожного транспорта и метрополитена.

Библиографический список

1. Кононов В. А. Основы проектирования электрической централизации промежуточных станций : учебное пособие / В. А. Кононов, А. А. Лыков, А. Б. Никитин ; под ред. А. Б. Никитина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. – 348 с.
2. Электрическая централизация промежуточных станций с маневровой работой ЭЦ-12-03 : типовые материалы для проектирования 410305-ТМП / Институт «Гипротрансигналсвязь», филиал ОАО «РЖД», 2006.
3. Патент на полезную модель № 125955 МПК В61L. Устройство переключения и контроля двухнитевых ламп выходных светофоров / Никитин А. Б., Наседкин О. А., Прокофьев А. А. Начало действия патента 29.10.2012. Дата публикации 20.03.2013.
4. Патент на полезную модель № 139451 МПК В61L. Устройство контроля холодных нитей светофорных ламп / Никитин А. Б., Ковкин А. Н., Абрамов О. А. Начало действия патента 15.11.2013. Дата публикации 20.04.2014.
5. Борисов Ю. М. Электротехника : учебник для вузов / Ю. М. Борисов, Д. Н. Липатов, Ю. Н. Зорин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 552 с.
6. Ковкин А. Н. Влияние кабельных сетей на безопасность функционирования бесконтактных устройств сопряжения / А. Н. Ковкин // Разработка и эксплуатация новых устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. трудов. – СПб. : ПГУПС, 2004. – С. 51–55.
7. Ковкин А. Н. Безопасное управление удаленными светофорами в условиях использования несинусоидальных напряжений / А. Н. Ковкин // Транспорт Урала. – 2019. – № 2. – С. 38–44.
8. Прянишников В. А. Теоретические основы электротехники : курс лекций / В. А. Прянишников. – СПб. : КОРОНА-принт, 2016. – 68 с.
9. Воронин П. А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / П. А. Воронин. – М. : Изд. дом «Додэка-XXI», 2001. – 384 с.

10. Никитин А. Б. Контроль целостности нитей выключенных светофорных ламп / А. Б. Никитин, А. Н. Ковкин // Актуальные вопросы развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. научных трудов. – СПб. : ПГУПС, 2013. – С. 80–86.
11. Сапожников В. В. Микропроцессорная система электрической централизации МПЦ-МПК / В. В. Сапожников, А. Б. Никитин // Наука и транспорт. – 2009. – № 1. – С. 18–21.

Alexey N. Kovkin

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

Centralized health monitoring of switched off traffic lights by impulse action

This article discusses the principle of monitoring the health of switched off traffic lights by implementing a pulsed test action, defines the parameters of the main elements of the test circuit, as well as the time parameters of the testing pulses. During the presentation of the material, the possibility of distinguishing the state of the thread of the turned-off lamp in the conditions of extended cable lines was confirmed by calculation, and options for the practical implementation of test circuits were proposed.

test of the cold filaments, the distinction between the states of the filament, power test exposure, test pulse impact, a generator of test signals, test pulse energy, the duration of the test pulse, the resistance of the charging circuit.

References

1. Kononov V. A., Lykov A. A., Nikitin A. B. Bases of design of interlocking system of intermediate stations: proc. manual [Osnovy` proektirovaniia elektricheskoi centralizatscii promezhutochny`kh stantsii`] / ed. A. B. Nikitin. 2nd ed., Rev. and extra – M. : FGBOU «Training center on education on railway transport», 2013. – 348 p.
2. Interlocking of intermediate stations with shunting operation EC-12-03: standard materials for design 410305-TMP [E`lektricheskaiia centralizatsiia promezhutochny`kh stantsii` s manevrovoi` rabotoi` E`TC-12-03] / OAO «RZD», branch Institute «Giprotranssignalsvyaz», 2006.
3. The patent for useful model No 125955 IPC B61L. device for switching and controlling two- filaments lamps of output traffic lights [Ustroi`stvo perecliucheniia i kontroliia dvukhnitevy`kh lamp vy`hodny`kh svetoforov]. Nikitin A. B., Nasedkin O. A., Prokofiev A. A. Onset of action patent on 29.10.2012. Publication date 20.03.2013.
4. The patent for useful model No 139451 MPK B61L. Control device cold filaments traffic lights [Ustroi`stvo kontroliia holodny`kh nitei` svetoforny`kh lamp]. Nikitin A. B., Kovkin A. N., Abramov O. A. Onset of action patent on 15.11.2013. Publication date 20.04.2014.
5. Yu. M. Borisov, D. N. Lipatov, Yu. Zorin. Electrical engineering: Textbook for universities [Elektrotekhnika]. 2nd ed., Rev. and extra – M. : Energoatomizdat, 1985. – 552 p.

6. Kovkin A. N. The impact of cable networks on the safety of the functioning of the contactless interface device [Vliianie kabel'nykh setei' na bezopasnost' funkcionirovaniia beskontaktnykh ustroystv sopriazheniia] // Collection of scientific works. – St. Petersburg : PGUPS, 2004. – Pp. 51–55.
7. Kovkin A. N. Safe control of remote traffic lights in the terms of non-sinusoidal voltages use [Bezopasnoe upravlenie udalennyimi svetoforami v usloviakh ispol'zovaniia nesinusoidal'nykh napriazhenii']: Transport Of The Urals. – 2019. – No 2. – Pp. 38–44.
8. Pryanishnikov V. A. Theoretical foundations of electrical engineering [Teoreticheskie osnovy elektrotehniki]: lectures. – SPb. : KORONA-print, 2016. – 68 p.
9. Voronin P. A. Power semiconductor switches: families, characteristics, application [Silovy'e poluprovodnikovye cliuchi: semeystva, harakteristiki, primenenie] Moscow, Publishing house «Dodeka-XXI», 2001. – 384 p.
10. Nikitin B., Kovkin A. N. Operability check of filaments of switched-off traffic lights [Kontrol' tselostnosti nitei' vycliuchennykh svetofornykh lamp]. Topical issues of railway automation and telemechanics systems development. Collection of proceedings. – St. Petersburg : PGUPS, 2013. – Pp. 80–86.
11. Sapozhnikov V. V., Nikitin A. B. Computer based interlocking system MPC-MPK [Mikroprocessornaya sistema elektricheskoi' centralizatsii MPTC-MPK] // Science and transport. – 2009. – No 1. – Pp. 18–21.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии А. Б. Никитиным.
Поступила в редакцию 15.07.2019, принята к публикации 20.09.2019.*

КОВКИН Алексей Николаевич – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: akovkin@yandex.ru

© Ковкин А. Н., 2019

Методы мониторинга в транспортных системах

УДК 625.421

А. М. Костроминов, д-р техн. наук
О. Н. Тюляндин

Кафедра «Электрическая связь»
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I, Санкт-Петербург

ДИНАМИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА СРЕДСТВ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ СИСТЕМЫ БЕСКОНТАКТНОЙ ПРИВЯЗКИ ПУТИ МЕТРОПОЛИТЕНА

Для успешного развития подземной RFID-навигации требуется высокая надежность средств радиочастотной идентификации. Однако при эксплуатации системы бесконтактной привязки к координатам пути поездов метрополитена были замечены случаи пропуска считывания радиочастотных меток. Одной из причин пропуска меток является влияние дрейфа затухания в высокочастотном тракте между ридером и антенной головного вагона. Разработанный авторами метод контроля высокочастотного тракта в условиях электродепо не годится для такого контроля при работе поезда на линии метрополитена. Поэтому в настоящей статье предлагается метод, использующий уровень мощности сигналов, принятых от радиочастотных меток при работе поезда на линии, и с помощью этого параметра позволяющий контролировать текущее состояние высокочастотного тракта системы бесконтактной привязки пути и чувствительности радиочастотных меток.

СБПП, RFID, RFID-навигация, контроль высокочастотного тракта, динамическая диагностика.

DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-4-467-477

Введение

В процессе эксплуатации системы бесконтактной привязки к пути (СБПП), базовой частью которой являются средства радиочастотной идентификации, имели место случаи увеличения затухания сигналов в высокочастотном тракте между ридером и антенной [1–6]. Увеличение затухания в тракте между приемопередатчиком головного вагона и радиочастотными метками происходит вследствие отклонения уровня питающего напряжения приемопередатчика из-за попадания влаги в разъемы кабеля, соединяющего ридер с антенной, в результате нарушения герметизации разъемов при вибрации либо неосторожном выполнении плановых ремонтов головных вагонов, а также других причин. Отсюда возникает актуальная задача

разработки метода контроля высокочастотного тракта между ридером и антенной СБПП в процессе рабочего движения поездов метрополитена на линии, позволяющего убедиться в его работоспособности и спрогнозировать ожидаемое время перехода в неработоспособное состояние, чтобы эксплуатационный персонал получил возможность предупредить отказ СБПП и облегчить проведение ее диагностики.

1. Исследование функциональных особенностей средств радиочастотной идентификации

Средства радиочастотной идентификации системы бесконтактной привязки пути включают в себя ридеры (считывающие устройства) и антенны, смонтированные на головных вагонах поездов метрополитена и соединенные между собой высокочастотным кабелем посредством разъемных соединений, а также пассивные радиочастотные метки, установленные на стенах тоннелей метрополитена.

Взаимодействие между ридером и метками осуществляется согласно протоколу EPC Gen2 [7] (рис. 1).

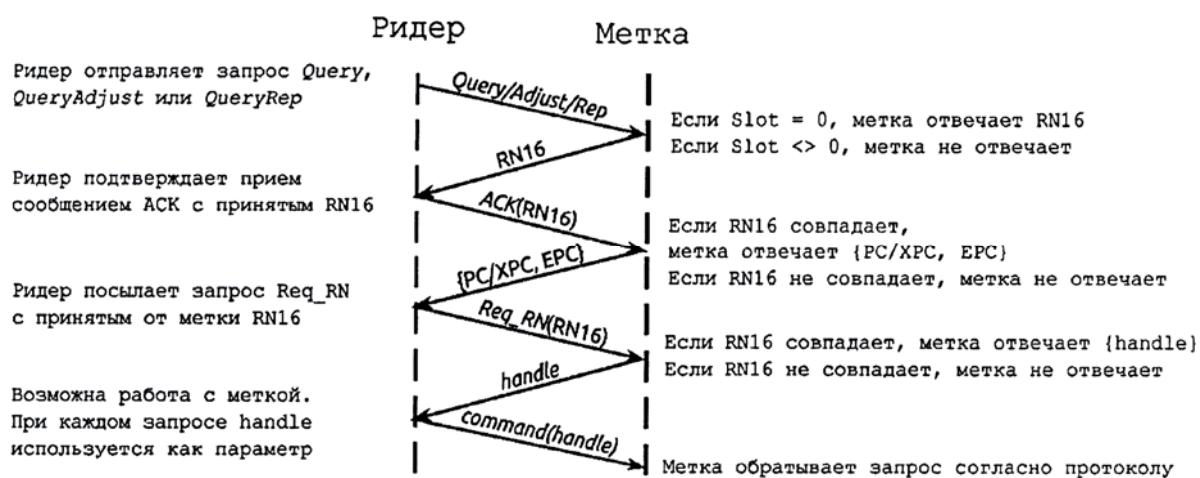


Рис. 1. Процесс считывания метки согласно протоколу Gen2

Инициатором обмена выступает ридер, который передает метке протокольное сообщение; из этого сигнала радиометка получает энергию, необходимую для ее работы, и выделяет запрос для последующей обработки.

Непосредственно после отправки запроса ридер в течение некоторого интервала времени излучает немодулированный радиочастотный сигнал. В это время метка, управляя коэффициентом отражения своей антенны (меняя параметры контура), отвечает ридеру модулированным сигналом [4, 7]. При этом в ридерах, используемых в СБПП, имеется возможность фиксировать уровень мощности принятого от метки сигнала – RSSI (eng.: Received Signal Strength Indication). Очевидно, что с увеличением затухания в

высокочастотном тракте между ридером и антенной уменьшается уровень этой мощности: ослабевает и сигнал, излучаемый антенной, и сигнал, получаемый ридером от метки. Поэтому указанная величина может быть использована как основополагающая при решении поставленной задачи.

2. Разработка метода контроля высокочастотного тракта системы бесконтактной привязки пути

Проведенные авторами экспериментальные исследования показали, что уровень мощности принятого от метки сигнала зависит от взаимного мгновенного расположения метки и антенны. Считывание меток занимает некоторое время, поэтому на высоких скоростях из-за малого числа считываний возможна только статистическая оценка состояния тракта.

Однако на каждой станции в зоне остановки первого вагона (ОПВ) установлена группа радиочастотных меток, где в штатном режиме скорости движения поездов не превышают 2 км/ч. На данном участке линейное перемещение поезда между двумя последующими считываниями метки не превышает 10 сантиметров, поэтому в условиях решаемой задачи ошибкой центрирования антенны ридера относительно метки в момент определения пика уровня мощности принятого от метки сигнала можно пренебречь.

С учетом указанных обстоятельств для контроля высокочастотного тракта СБПП предлагается метод, реализующий следующий алгоритм.

1. При заезде поезда на контрольную станцию (например, последнюю на линии перед тупиком) фиксируется и сохраняется в памяти контроллера головного вагона поезда максимальный уровень мощности принятого сигнала от радиочастотной метки в зоне ОПВ, соответствующий центру зоны ее радиовидимости.

2. Полученное значение сравнивается с контрольными уровнями отраженной мощности. Если это значение меньше *порогового*, то посредством радиоканала, организованного вагонной и станционной частями СБПП, через центральный пункт управления движением поездов передается информация о начале дрейфа уровня мощности принятого сигнала от радиочастотной метки в электродепо, обслуживающее данный поезд.

3. Для определения контрольного (в том числе порогового) уровня собирается статистика уровней мощности принятых сигналов от радиочастотных меток для множества поездов, не имеющих пропусков линейных меток при контрольном проезде пути линии, и отдельно – с пропусками. На основании полученной информации методом экспертных оценок принимается норматив допустимых значений уровня мощности принятого сигнала от радиочастотной метки, при котором возможна эксплуатация СБПП. Затем диапазон допустимых значений разбивается на две части: первая – с областью случайных колебаний затухания в высокочастотном тракте в стационарном диапазоне, вторая – с приемлемым отклонением от

стационарного диапазона, при котором сохраняется работоспособность СБПП.

При попадании текущего значения уровня мощности принятого сигнала от радиочастотной метки в первый поддиапазон (поддиапазон с нормальным затуханием) высокочастотный тракт считается не вызывающим опасений (нижнее значение диапазона примем *пороговым* $RSSI_{lim}$). В остальных случаях высылается уведомление обслуживающему персоналу в соответствующее электродепо с предысторией для этого комплекта оборудования.

Работниками электродепо оценивается динамика изменений и принимается решение о возможности дальнейшей эксплуатации поезда на линии. В случае обнаружения быстрой динамики дрейфа высокочастотного тракта СБПП машинисту предлагается переход на временное ручное управление поездом.

3. Метод оценки динамики изменения состояния RFID-тракта

Примем, что динамика изменения (тренд) уровня мощности, принятой от меток, при эксплуатации СБПП линейна. При этом допущении для оценки момента выхода параметров оборудования СБПП за границы нормативных значений может быть использован метод экспоненциального сглаживания Хольта [8, 9].

Метод является расширением стандартного экспоненциального сглаживания, позволяющим прогнозировать последующие значения тренда, для чего вводятся уравнение прогноза и два уравнения сглаживания:

$$\hat{y}_{t+h|t} = l_t + hb_t; \quad (1)$$

для текущего значения

$$l_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)(l_{t-1} + b_{t-1}); \quad (2)$$

для тренда (линейного коэффициента)

$$b_t = \beta(l_t - l_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1}, \quad (3)$$

где y_t – наблюдаемое значение на шаге t ; $\hat{y}_{t+h|t}$ – прогноз значения параметра стохастического процесса на h -м шаге после момента t ; l_t – взвешенная оценка значения выбранного параметра стохастического процесса в момент t ; b_t – взвешенная оценка линейного коэффициента тренда изменения параметра стохастического процесса значения в момент t ; α – коэффициент значимости мгновенного значения (коэффициент сглаживания ряда), $0 \leq \alpha \leq 1$; β – коэффициент значимости мгновенного линейного коэффи-

циента тренда (коэффициент сглаживания линейного коэффициента тренда), $0 \leq \beta \leq 1$.

Согласно уравнению (2), оценка l_t параметра стохастического процесса в момент t есть взвешенная сумма наблюдаемого значения и предыдущей оценки параметра. Уравнение (3) имеет тот же смысл, но для линейного коэффициента тренда.

Прогноз на последующие шаги относительно последнего измерения осуществляется по уравнению (1), где h – шаг прогноза.

Для определения параметров сглаживания α и β может быть использован метод наименьших квадратов, однако для известной системы допускается применение экспертных оценок [10–12].

Как показали исследования, проведенные авторами, для прогноза тренда и последующих значений RSSI приемлемы следующие значения коэффициентов: $\alpha = \beta = 0,25$.

В таблице приведен пример расчета ожидаемых значений RSSI на h -м проезде линии после пересечения *порогового* значения с визуализацией результата на рис. 2. В стационарной части данных за базовый уровень принята величина -18 dBm, соответствующая экспериментальным данным на некоторых поездах 4-й линии ГУП «Петербургский метрополитен». Значения уровней сигналов, принятых от меток, смоделированы в программной среде R*.

Таблица. Пример прогноза уровня мощности сигнала, принятого от контрольной метки, $\hat{y}_{t+h|t}$ на h -м проезде линии после последнего измерения в момент $t = 50$

Номер измерения (t)	RSSI (y_t)	l_t	b_t	$\hat{y}_{t+h t}$
1	2	3	4	5
22	-18,08	-18,08	0,00	
23	-17,31	-17,89	0,05	
24	-18,10	-17,90	0,03	
25	-17,67	-17,82	0,04	
26	-17,83	-17,79	0,04	
27	-18,41	-17,91	0,00	
28	-17,54	-17,82	0,02	
29	-18,23	-17,73	0,04	
30	-17,49	-17,83	0,01	
31	-18,40	-17,74	0,03	
32	-18,22	-17,88	-0,02	
33	-18,83	-17,98	-0,04	
34	-17,99	-18,22	-0,09	
35	-19,68	-18,23	-0,07	

* <https://www.r-project.org>.

Окончание таблицы

1	2	3	4	5
36	-20,19	-18,64	-0,15	
37	-18,77	-19,14	-0,24	
38	-19,61	-19,23	-0,20	
39	-20,10	-19,48	-0,21	
40	-20,08	-19,79	-0,24	
41	-20,39	-20,04	-0,24	
42	-20,56	-20,31	-0,25	
43	-19,98	-20,56	-0,25	
44	-21,24	-20,60	-0,20	
45	-20,58	-20,91	-0,22	
46	-21,37	-21,00	-0,19	
47	-21,56	-21,23	-0,20	
48	-21,10	-21,47	-0,21	
49	-22,34	-21,53	-0,17	
50	-21,80	-21,86	-0,21	
$h = 1$				-22,07
$h = 2$				-22,28
$h = 3$				-22,49

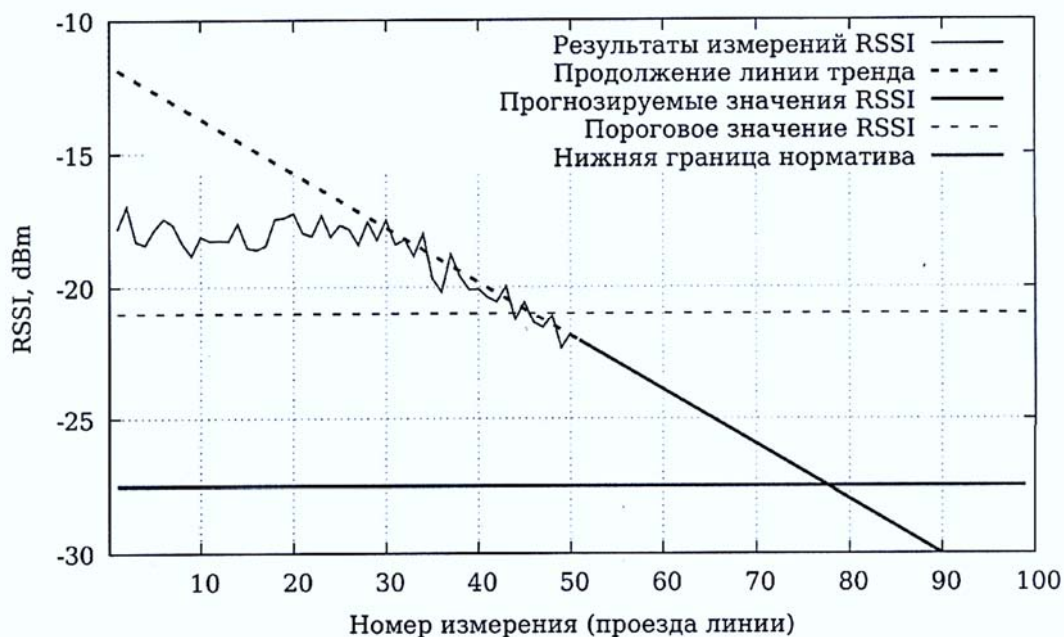


Рис. 2. Пример построения линии тренда для прогноза момента пересечения нижней границы норматива. Пороговое значение и нижняя граница норматива выбраны условно для иллюстративных целей

Вычисление значений l_t и b_t произведено по формулам (2) и (3). Пример расчета для строки с номером измерения $t = 25$:

$$l_{t=25} = \alpha y_{t=25} + (1 - \alpha)(l_{t=24} + b_{t=24}) = \\ = 0,25 \cdot (-17,67) + (1 - 0,25) \cdot (-17,9 + 0,03) = -17,82;$$

$$b_{t=25} = \beta(l_{t=25} - l_{t=24}) + (1 - \beta)b_{t=24} = \\ = 0,25 \cdot (-17,82 + 17,9) + (1 - 0,25) \cdot 0,03 = 0,0425.$$

Вычисление $\hat{y}_{t+h|t}$ произведено по формуле (1). Пример расчета для шага прогноза $h = 2$:

$$\hat{y}_{t+h|t} = l_t + hb_t = -21,86 + 3 \cdot (-0,21) = -22,49.$$

Данный метод позволяет оценить тренд и ожидаемое время (число оборотов поезда) h до выхода параметра RSSI за нижнюю границу норматива после пересечения *порогового* значения уровня мощности сигнала, принятого от контрольной метки:

$$h = \frac{RSSI_n - l_t}{b_t}, \quad (4)$$

где $RSSI_n$ – нижняя граница норматива уровня мощности сигнала, принятого от контрольной метки.

Согласно формуле (4), в приведенном ранее примере ожидаемое число оборотов поезда до пересечения нижней границы норматива

$$h = \frac{-28 + 21,86}{-0,21} \approx 29.$$

Для удобства работников электродепо предлагается создать специальное программное обеспечение, позволяющие автоматизировать решение задачи прогноза.

Отметим, что предложенный метод контроля высокочастотного тракта вагонной части СБПП может быть применен для контроля радиочастотных меток.

4. Контроль чувствительности радиочастотных меток

Во время эксплуатации СБПП пассивные радиочастотные метки, установленные в тоннелях метрополитена, показали очень высокую надежность: за 10 лет при общем количестве меток около 1000 отказов не было. Однако наблюдались случаи внешнего воздействия на их параметры (например, временное экранирование). Поэтому существует актуальность контроля чувствительности меток.

Динамический контроль чувствительности радиочастотных меток может быть реализован следующим образом. Для множества поездов на основании результатов измерения мощности от меток определяется тренд изменения чувствительности каждой метки с последующим усреднением результата. Результат усреднения и есть фактический тренд. Однако для меток требуется большая статистическая база, так как на высоких скоростях метки могут считываться при различном взаимном расположении антенны ридера и метки.

Для устранения влияния возможного дрейфа затухания в радиочастотном тракте при контроле меток требуется пересчет результатов измерений мощности с учетом результатов измерений на контрольной метке:

$$RSSI' = RSSI_M + RSSI_{НОМ} - RSSI_{КОНТР},$$

где $RSSI_M$ – уровень сигнала, полученного от метки; $RSSI_{НОМ}$ – номинальный уровень сигнала от контрольной метки; $RSSI_{КОНТР}$ – фактический уровень сигнала от контрольной метки.

Заключение

Предложенный метод позволит полнее использовать диагностический потенциал системы бесконтактной привязки к пути и, как следствие, уменьшить вероятность пропуска радиочастотных меток путем эксплуатационной диагностики увеличения затухания в высокочастотном тракте.

Таким образом, по максимуму сигнала от метки в сочетании с показаниями датчика меры пройденного пути дополнительно к диагностике открывается возможность повысить точность прицельного торможения на закрытых станциях метрополитенов/железных дорог и реализовать на базе СБПП надежную высокоточную навигацию подвижного состава на линиях, которая позволит перейти от рельсовых цепей в системах интервального регулирования движения поездов к координатному способу (актуальность такого решения растет по мере расширения внедрения асинхронных электродвигателей на подвижном составе).

Библиографический список

1. Костроминов А. М. Применение RFID-технологий в системе автоведения поездов метрополитена / А. М. Костроминов, М. Ю. Королев, В. В. Гаврилов, Т. В. Крючкова // Известия ПГУПС. – 2009. – Вып. 3. – С. 91–97.
2. Костроминов А. М. Анализ и повышение точности RFID-навигации в условиях метрополитена / А. М. Костроминов, Е. А. Стрекаловский, О. Н. Тюлядин // Транспорт Урала. – 2018. – № 4 (59). – С. 23–27.

3. Патент № 104133. Система управления движением электроподвижного состава / В. В. Гаврилов, М. Ю. Королев, А. М. Костроминов, Т. В. Крючкова. Оpubл. 10.05.2011. Бюл. № 13.
4. Дшхунян В. Л. Электронная идентификация. Бесконтактные электронные идентификаторы и смарт-карты / В. Л. Дшхунян, В. Ф. Шаньгин. – М. : ООО «Изд-во АСТ» ; Изд-во «НТ Пресс», 2004. – 695 с.
5. Костроминов А. М. Контроль состояния ридер-антенного тракта аппаратуры СБПП в условиях электродепо метрополитена / А. М. Костроминов, С. А. Рахманин, Б. О. Смирнов, О. Н. Тюляндин // Известия Петербургского ун-та путей сообщения. – 2016. – Т. 13. – Вып. 2. – С. 180–186.
6. Костроминов А. М. Оценка вероятности пропуска считывания информации с радиочастотных меток аппаратурой СБПП / А. М. Костроминов, Ал-р А. Костроминов, О. Н. Тюляндин // Известия Петербургского ун-та путей сообщения. – 2017. – Т. 14. – Вып. 4. – С. 650–656.
7. EPC™ Radio-Frequency Identity Protocols Generation-2 UHF RFID [Online] // GS1 EPCglobal Inc. 2018. – URL : https://www.gs1.org/sites/default/files/docs/epc/gs1-epc-gen2v2-uhf-airinterface_i21_r_2018-09-04.pdf (accessed: 15 March 2019).
8. Tırkeş G., Güray C., Çelebi N. Demand forecasting: a comparison between the Holt-Winters, trend analysis and decomposition models. // Tehnički vjesnik. – Turkey, Ankara, 2017. – No 24. – Pp. 503–509.
9. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice. – 2nd edition. – OTexts, 2018. – 382 p.
10. Линник Ю. В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. – 2-е изд. – Л. : Физматгиз, 1962. – С. 352.
11. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. – 4-е изд. – М. : Наука, 1969. – С. 576.
12. Rao C. R., Toutenburg H. Linear Models: Least Squares and Alternatives. – 2nd edition. – New York, N. Y., USA : Springer, 1999. – 427 p.

Alexander M. Kostrominov

Oleg N. Tyulyandin

«Electrical communication» department,

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg

The dynamic diagnostics of radio frequency identification systems of non-contact binding to the underground track

Underground RFID navigation requires high reliability of RFID equipment. However, during the operation of the system of non-contact binding to the underground track, there were cases of missing reading tags. One of the reasons for missing tags is the effect of attenuation drift in the high-frequency path between the transceiver and the antenna of the leading car. The RFID-channel monitoring method developed by the authors under the conditions of an electric depot is not suitable for such monitoring when the train is operating on the subway line. Therefore, this article proposes a method that uses the received signal strength indicator when the train is on the line and allows to monitor the current state of the high-frequency path of the SNCBT system.

RFID-technology, RFID link, RFID navigation, monitoring of RFID link, SNCBT, dynamic diagnosis.

References

1. RFID-technology application for automatic metro train operation [Primenenie RFID – tekhnologii` v sisteme avtovedeniia poezdov metropolitena] / A. M. Kostrominov, M. Yu. Korolev, V. V. Gavrilov, T. V. Kryuchkova // Proceedings of Petersburg Transport University (Izvestiya PGUPS). – 2009. – No 3. – Pp. 91–97.
2. Analysis and increase of RFID-navigation accuracy in metro conditions [Analiz i povys`henie tochnosti RFID-navigatsii v usloviakh metropolitena] / A. M. Kostrominov, E. A. Strekalovskiy, O. N. Tyulyandin // Transport of the Ural (Transport Urala). – 2018. – Vol. 59. – No 4. – Pp. 23–27.
3. The traffic management system of electric stock [Sistema upravleniia dvizheniem e`lektropodvizhnogo sostava]: pat. 104133 Russian Federation. Published 10.05.2011. – 3 p.
4. Dshhunya V. L., Shan`gin V. F. Electronic Identification: contactless electronic identifiers and smart cards [E`lektronnaia identifikatsiia. Beskontakny`e e`lektronny`e identifikatory` i smart-karty`]. – Moscow : LLC «Izdatel`stvo AST»: «NT Press», 2004. – 695 p.
5. Control of reader-antenna link of sncbt equipment in the conditions of metro depot [Kontrol` sostoianiia rider-antennogo trakta apparatury` SBPP v usloviakh e`lektrodepo metropolitena] / A. M. Kostrominov, S. A. Rakhmanin, B. O. Smirnov, O. N. Tyulyandin // Proceedings of Petersburg Transport University (Izvestiya PGUPS). – 2016. – No 2. – Pp. 180–186.
6. Kostrominov A. M., Tyulyandin O. N. The assesment of information readout omission probability from RF tags by the system of contactless track connection (SBPP) [Ocenka veroiatnosti propuska schity`vaniia informatsii s radiochastotny`kh metok apparaturoi` SBPP] // Proceedings of Petersburg Transport University (Izvestiya PGUPS). – 2017. – No 4. – Pp. 650–656.
7. EPC™ Radio-Frequency Identity Protocols Generation-2 UHF RFID [Online] // GS1 EPCglobal Inc. 2018. URL: https://www.gs1.org/sites/default/files/docs/epc/gs1-epc-gen2v2-uhf-airinterface_i21_r_2018-09-04.pdf (accessed: 15 March 2019).
8. Tirkeş G., Güray C., Çelebi, N. Demand forecasting: a comparison between the Holt-Winters, trend analysis and decomposition models. // Tehnički vjesnik. – Turkey, Ankara, 2017. – No 24. – Pp. 503–509.
9. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice. – 2nd edition. – OTexts, 2018. – P. 382.
10. Linnik Yu. V. Method of least squares and principles of the theory of observations [Metod naimen`shikh kvadratov i osnovy` matematiko-statisticheskoi` teorii obrabotki nabliudeniia]. – 2nd edition. – Leningrad : Fizmatgiz, 1962. – 352 p.
11. Ventcel` E. S. Probability Theory [Teoriia veroiatnostei`]. – Moscow : Nauka, 1969. – 576 p.
12. Rao C. R., Toutenburg H. Linear Models: Least Squares and Alternatives. – 2nd edition. – New York, NY, USA : Springer, 1999. – 427 p.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Д. В. Ефановым.
Поступила в редакцию 05.10.2019, принята к публикации 23.10.2019.*

КОСТРОМИНОВ Александр Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры «Электрическая связь» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: triak@spb.grozon.ru

ТЮЛЯНДИН Олег Николаевич – аспирант кафедры «Электрическая связь» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: tyulyandin@vklay.ru

© Костроминов А. М., Тюляндин О. Н., 2019

УДК 004.942+656.25

П. Е. Булавский, д-р техн. наук**О. К. Ваисов**

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

И. Н. Быстров

Санкт-Петербург-Витебская дистанция сигнализации,
централизации и блокировки, Санкт-Петербург

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ПОИСКА И УСТРАНЕНИЯ ОТКАЗОВ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ С ПОМОЩЬЮ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Проведены исследования оценки времени поиска и устранения отказов с учетом формализации технологических процессов поиска и устранения отказов технических средств систем железнодорожной автоматики и телемеханики с помощью аппарата сетей Петри. Разработана упрощенная имитационная модель для оценки времени устранения отказа в СЖАТ путем анализа состояния технических средств, статистической и нормативной документации. Используются методы теории сетей Петри, которая базируется на дискретно-событийной парадигме ИМ, а также методика расчета времени на поиск и устранения неисправностей технических средств в СЖАТ. Проведен анализ нормативной документации, регламентирующей технологические операции по поиску и устранению отказов, в том числе предотказных состояний технических средств СЖАТ. Произведен анализ графика работы восстанавливаемых изделий. Выполнена формализация технологических процессов по поиску и устранению отказов в СЖАТ на базе методологии сетей Петри. Разработана упрощенная имитационная модель сетей Петри для оценки времени поиска отказов и их устранения. Анализ технических состояний СЖАТ на основе разработанной упрощенной модели сетей Петри для оценки времени поиска отказов и их устранения позволяет оценить среднее время их восстановления после неисправности.

отказ, предотказ технических средств, цветные временные сети Петри, маркировка, позиции, переходы, дуги, события, условия.

DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-4-478-492

Введение

Ежегодно ОАО «РЖД» предпринимает меры по уменьшению количества отказов за счет диагностики устройств автоматики и телемеханики. Для выявления отказов применяются различные системы, например аппаратно-программный комплекс диспетчерского контроля (АПК-ДК), автоматизированная система контроля подвижного состава (АСК-ПС), диспетчерская централизация (ДЦ) и т. д.

Организация устранения и расследования отказов технических средств, предотказных состояний устройств СЦБ первой категории критичности, неисправностей пути, требующих ограничения скорости или закрытия движения поездов, а также обеспечение требуемого уровня готовности и надежности участков инфраструктуры дороги регламентируется внутренними документами ОАО «РЖД».

В данной статье рассматриваются требования, предъявляемые к оценке времени поиска и устранения отказов систем железнодорожной автоматики и телемеханики. На базе аппарата сетей Петри и имитационного моделирования с применением возможностей среды моделирования CPN Tools выполнена формализация технологических процессов поиска и устранения отказов и разработана модель оценки среднего времени восстановления систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ).

1. Отказ и его предупреждение

Рассмотрим два состояния объекта: предотказное и отказ. предотказное состояние – состояние объекта, характеризующееся повышенным риском его отказа. Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта [1]. В [2] этому термину дано другое объяснение, точнее описывающее данное состояние: объект находится в предотказном состоянии в том случае, когда хотя бы один из его параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, достигает граничного значения, определенного нормативно-технической и (или) конструкторской документацией, при котором не может быть гарантирована работоспособность при дальнейшем изменении параметра. Не допустить отказ можно за счет диагностики. Так, система АПК-ДК может проводить измерения параметров основных элементов автоматики и телемеханики и на основании полученной информации сделать вывод о состоянии объекта.

Перечень основных предотказных состояний устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) регламентируется внутренними документами ОАО «РЖД».

Расчет времени, необходимого для устранения нарушения нормальной работы устройств, должен производиться с учетом следующих требований:

– на железнодорожных линиях I, II класса и отдельных участках железнодорожных линий III класса к работам по устранению отказов и предотказов приступают непосредственно после их обнаружения;

– на железнодорожных линиях III класса и отдельных участках железнодорожных линий IV класса к работам по устранению отказов приступают непосредственно после их обнаружения. Работы по устранению предотказных состояний выполняются в плановом порядке исходя из местных условий;

– на железнодорожных линиях V класса и отдельных участках железнодорожных линий IV класса работы по устранению отказов и предотказов выполняется в плановом порядке исходя из местных условий [3, 4].

В дистанциях инфраструктуры для совместного выполнения работ по обслуживанию и ремонту устройств инфраструктуры создаются комплексные бригады, состоящие из специалистов хозяйства пути, электроснабжения, автоматики и телемеханики. На рис. 1 изображен временной график работы восстанавливаемых изделий. Предположим, что все отказы и восстановления элементов СЖАТ обозначаются совокупностью точек на оси времени, тогда интервалы времени между точками означают независимые одинаково распределенные случайные величины. Совокупность всех точек в целом образует случайный процесс.

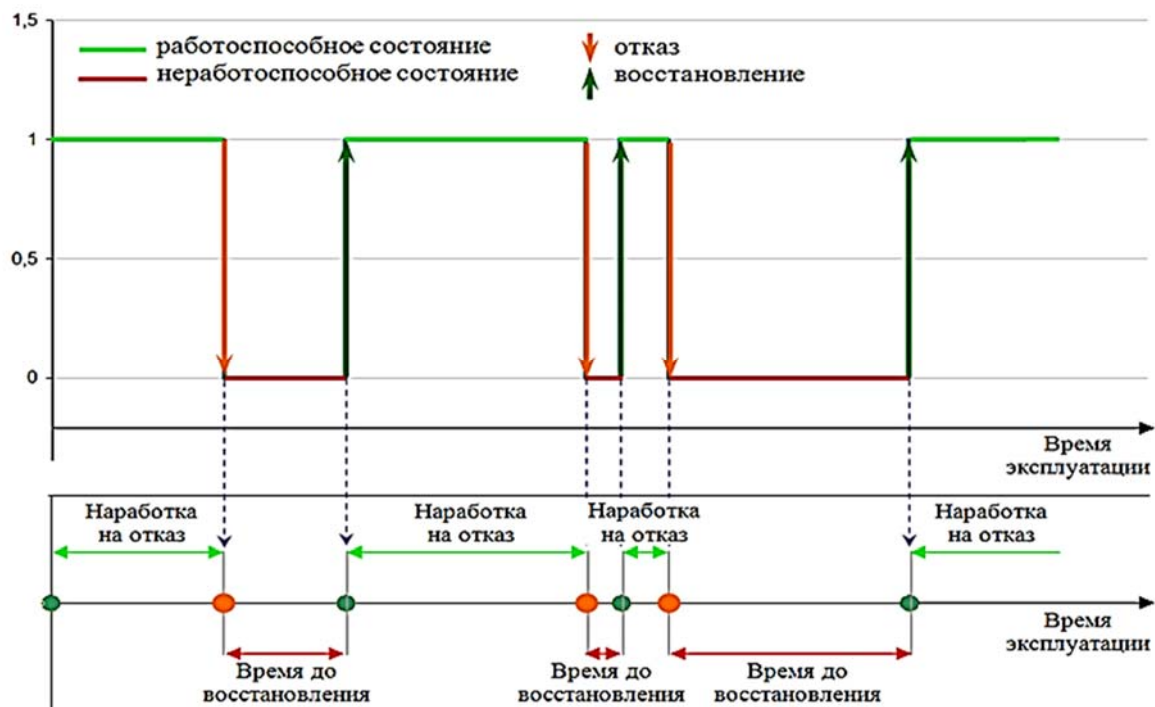


Рис. 1. Временной график работы восстанавливаемых изделий

Таким образом, интервал времени между точкой восстановления работоспособного состояния (точкой восстановления) и точкой возникновения неработоспособного состояния (точкой отказа) называется наработкой СЖАТ на i -й отказ. Интервал времени между точкой отказа и точкой восстановления состояния СЖАТ называется временем до i -го восстановления системы.

2. Методика расчета времени поиска и устранения неисправности

Согласно [5], расчет времени, необходимого для устранения нарушения нормальной работы устройств инфраструктуры, должен производиться для каждого вида технических средств индивидуально, в зависимости от их расположения (станция, перегон), наличия постоянного дежурства и места жительства эксплуатационного персонала, а также факторов, влияющих на время доставки персонала и запасного оборудования. Время устранения отказов технических средств с момента получения сообщения о появлении нарушения нормальной работы устройств от систем ДЦ, ДК, СПЛ-ЛП, АСК-ПС, ДСП, ДНЦ, машиниста поезда, дежурного по переезду, работников хозяйств автоматики и телемеханики, пути, электроснабжения и т. д. определяется как

$$T_{\text{уст}} = \sum_{i=1}^n t_i,$$

где t_i – обозначение времён, необходимых для следующих действий:

- уведомления и доставки работников соответствующих служб (хозяйств) к месту неисправности технических средств;
- доставки, при необходимости, из страхового (аварийно-восстановительного) запаса требуемого оборудования, аппаратуры и материалов;
- оформления необходимых действий для устранения неисправностей технических средств, приведших к нарушению нормальной работы устройств СЦБ;
- проведения и оформления инструктажа по охране труда;
- поиска и определения причины отказа;
- формирования и передачи сообщения о порядке пользования устройствами и организации движения поездов на период устранения нарушения нормальной работы устройств инфраструктуры;
- устранения неисправностей технических средств, приведших к нарушению нормальной работы устройств инфраструктуры (определяется по каждому виду устройств);

– проверки действия устройств инфраструктуры после устранения неисправностей технических средств, приведших к нарушению нормальной работы устройств инфраструктуры;

– передачи и оформления сообщения об устранении неисправности технических средств, приведших к нарушению нормальной работы устройств инфраструктуры.

В соответствии с [6] среднее время собственного восстановления неисправностей технических средств, приведших к нарушению нормальной работы устройств инфраструктуры, является наиболее обобщающим критерием ремонтпригодности устройств. Оно складывается из следующих составляющих: времени оповещения причастных работников об отказе t_o , времени следования к объекту отказа $t_{пр}$, времени поиска места отказа $t_{п}$, времени устранения t_y , то есть:

$$T_v = t_o + t_{пр} + t_{п} + t_y. \quad (1)$$

Работники, участвующие в устранении нарушений нормальной работы технических средств, должны быть обеспечены средствами обнаружения, поиска и устранения неисправностей, нормативными документами, необходимыми для оформления записей по устранению нарушений нормальной работы устройств СЦБ, необходимыми средствами доставки персонала и резервного оборудования к месту нарушения нормальной работы устройств СЦБ. При вызове на устранение неисправностей устройств СЖАТ работники дистанции обязаны руководствоваться «Регламентом нарушений нормальной работы устройств СЦБ, АЛСН, САУТ». Требования регламента обязательны для исполнения работниками ШЧ, перевозок, пути и искусственных сооружений, электрификации и электроснабжения, а также другими лицами, участвующими в процессе определения причин и устранения нарушений нормальной работы устройств СЦБ.

3. Формализация поиска и устранения отказов с помощью методологии сетей Петри

Сети Петри являются удобным математическим аппаратом для формализации, анализа и моделирования дискретно-событийных систем [7, 8]. Из-за слабосвязанной многоуровневой структуры сети Петри могут использоваться для эффективного моделирования различных технологических процессов [9], а также методология сетей Петри широко используется для обнаружения неисправностей и диагностики дискретно-событийных систем [10, 11].

Структура сети Петри определяется ее позициями, переходами, входной и выходной функциями.

В соответствии с [12] по определению классическая сеть Петри C является четверкой:

$$C = (P, T, I, O),$$

где $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, $n \geq 0$, – конечное множество позиций; $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$, $m \geq 0$, – конечное множество переходов; множество позиций и множество переходов не пересекаются, $P \cap T = \emptyset$; $I: T \rightarrow P^\infty$ является входной функцией – отображением из переходов в комплекты позиций; $O: T \rightarrow P^\infty$ есть выходная функция – отображение из переходов в комплекты позиций.

Мощность множества P есть число n , мощность множества T есть число m . Произвольный элемент P обозначается символом p_i , $i = 1, \dots, n$, произвольный элемент T – символом t_j , $j = 1, \dots, m$.

Маркировка μ есть присвоение фишек позициям сети Петри. Фишка – это примитивное понятие сетей Петри. Фишки присваиваются позициям, и их движение наглядно показывает выполнение множества условий срабатывания. Таким образом, маркировка μ есть функция, отображающая множество позиций P во множество неотрицательных целых чисел N :

$$\mu: P \rightarrow N.$$

С учетом разметки позиций (маркировки) сети Петри задаются выражением

$$C_\mu = (P, T, I, O, \mu). \quad (2)$$

Моделирование системы сетью Петри основано на двух основополагающих понятиях: событиях и условиях. Под событием понимаются действия, имеющие место в системе. Возникновением событий управляет состояние системы. Состояние системы описывается множеством условий. Условие может принимать либо значение «истина», либо значение «ложь» [13]. Таким образом, модель на базе сети Петри служит для отображения и анализа причинно-следственных связей поиска неисправностей в устройствах систем СЖАТ. Анализ результатов моделирования предполагает определение времени поиска, устранения и замены отказавшего элемента устройств СЦБ. Введение ряда дополнительных правил и условий в алгоритмы моделирования позволяет получать ту или иную разновидность сетей Петри. Для того чтобы моделировать не только последовательность, но и время технологических операций по поиску отказов и их устранению, необходимо осуществить привязку событий к времени. Это осуществляет-

ся приданием переходам веса – продолжительности (задержки) срабатывания, которую можно определять, используя задаваемый при этом алгоритм. Полученную при таком способе модель называют временной сетью Петри (ВСП).

4. Моделирование поиска неисправностей устройств СЦБ на временных сетях Петри

Для исследования вопроса оценки времени поиска и устранения отказов в СЖАТ предложена упрощенная имитационная модель, построенная посредством аппарата временных сетей Петри, что позволяет провести анализ поведения системы при ее функционировании. Формализм сетей Петри дает возможность применять аналитические методы как для анализа исполнения, так и для верификации логических свойств исследуемых процессов, а также требует точных определений, исключающих неопределенности и противоречия [14].

Для оценки времени восстановления СЖАТ при поиске и устранении неисправностей устройств СЦБ используется сеть Петри с временными ограничениями (ВСП). Реальные технологические процессы имеют конечную продолжительность, что может быть изображено графически на временных графиках. ВСП – это двудольный ориентированный граф, дополненный характеристиками дуг и вершин, которые представлены натуральными числами [15]. ВСП в отличие от простых сетей Петри расширяются путем введения множества времени задержек срабатывания переходов: $\tau = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_j\}$ – множество времени задержек для переходов.

После расширения сети Петри задается следующим выражением:

$$C_{\mu} = (P, T, I, O, \mu, \tau). \quad (3)$$

В результате получаем временные сети Петри с детерминированными задержками, которые являются одним из известных расширений базовых сетей Петри, используемых для моделирования систем и процессов, при анализе которых необходимо учитывать не только порядок выполнения действий, но и временные характеристики [16, 17].

В качестве объекта моделирования оценки поиска неисправностей устройств СЦБ рассмотрим случаи нарушения работы устройств в ЭЦ.

Рассмотрим формализацию указанного выше процесса по поиску неисправностей и восстановления работоспособности устройств СЦБ (моделирование времени восстановления).

Сформулируем задачу моделирования как оценку времени выполнения технологической операции по поиску отказов и их устранению. Наличие фишек на определенных позициях будет означать существование соот-

ветствующего задания или запроса на выполнение операций, необходимых для устранения неисправностей устройств СЦБ (рис. 2), в сети Петри содержится 8 позиций и 5 переходов:

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8\};$$

$$T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5\}.$$

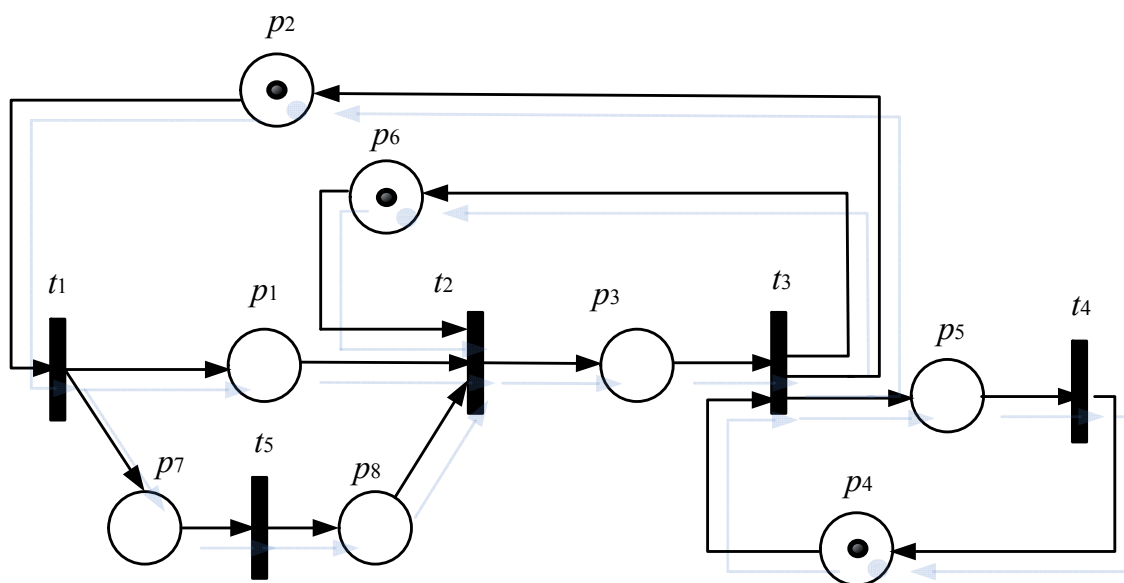


Рис. 2. Упрощенная модель сетей Петри для оценки времени поиска отказов и их устранения

Входные и выходные функции сети Петри, представленной на рис. 2, определяются следующим образом:

$$I = \begin{matrix} & t_1 & t_2 & t_3 & t_4 & t_5 \\ \begin{matrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \\ p_7 \\ p_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix},$$

$$O = \begin{matrix} & t_1 & t_2 & t_3 & t_4 & t_5 \\ \begin{matrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \\ p_7 \\ p_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

При проведении эксперимента использовались средние статистические данные, приведенные в [18, 19], (табл. 1). На разработанной упрощенной имитационной модели при заданных значениях продолжительности этапов реализации технологических операций по поиску отказов и их устранению можно оценить среднее время восстановления устройств СЦБ. Дерево достижимости модели представлено на рис. 3, оно описывает все возможные последовательности срабатывания переходов сети Петри.

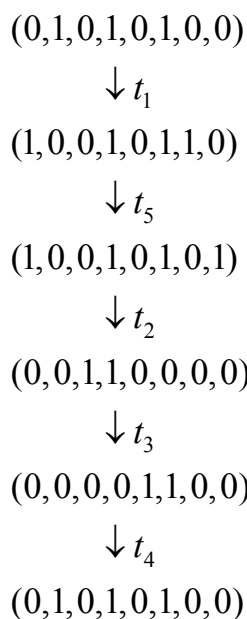


Рис. 3. Дерево достижимости модели сетей Петри для оценки времени восстановления системы

Таблица 1. Время устранения неисправности в зависимости от вида технических средств

Вид устройства	Нормативное время устранения отказа
Постовые устройства	28 мин
Рельсовые цепи	На станции 28 мин
	На перегоне 30 мин
Стрелки, стрелочные переводы	28 мин
Кабель	1 час
Светофор	25 мин

Для этого в среде моделирования CPN Tools разработана упрощенная модель поиска отказов и их устранения, приведенная на рис. 4, с использованием методологии ВСП с определенными задержками на срабатывание переходов (см. рис. 2). В качестве численных значений (временных параметров) срабатывания переходов используются статистические данные, прибытие на место, поиск и устранение неисправностей.

Переходы соответствуют следующим событиям: t_1 – отказ устройств СЦБ, t_2 – поиск неисправного элемента в системе, t_3 – замена неисправного элемента системы, t_4 – окончание устранения неисправности и проверки работы устройств, t_5 – прибытие специалистов к месту отказавшего устройства. В исходном состоянии (см. рис. 3) фишки (метки) имеются в наличии только в позициях p_2, p_4, p_6 . В соответствии со свойствами аппарата СП переход t_1 срабатывает первым с учетом задержки, равной времени, полученному по известным статистическим данным. После того как срабатывает переход t_1 , фишка переходит в позиции p_1 и p_7 .

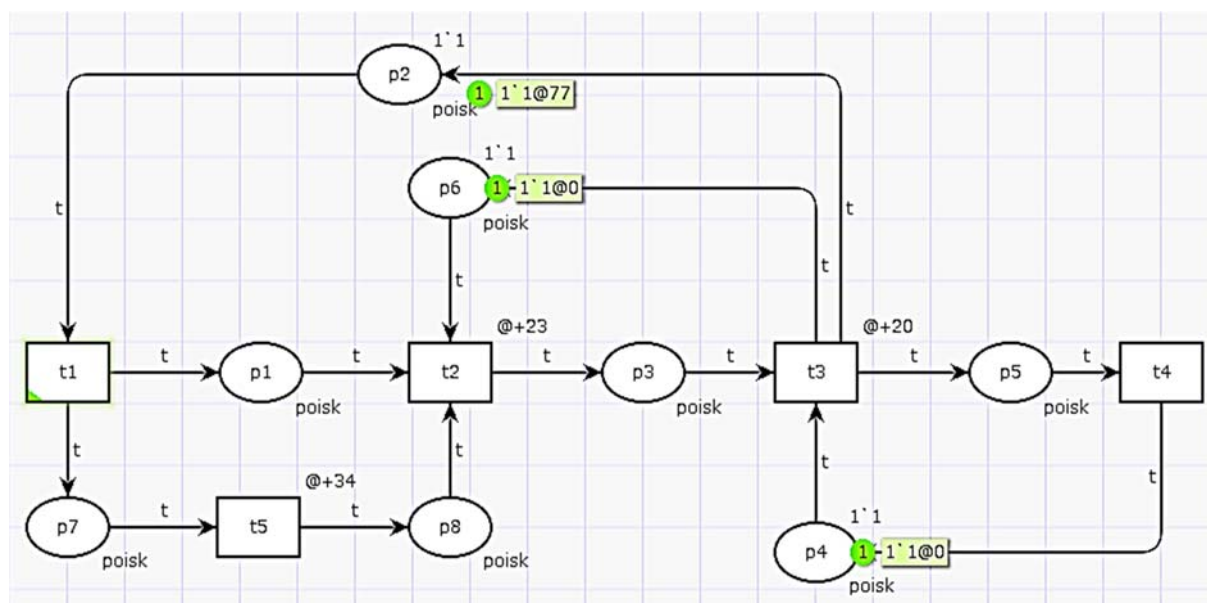


Рис. 4. Упрощенная имитационная модель общего времени восстановления T_B отказов в устройствах СЦБ (пример для устройств АБ)

Далее срабатывает переход t_5 с учетом времени прибытия на место неисправного устройства СЦБ и условия его свободности, срабатывает переход t_2 . Срабатывание перехода t_2 задерживается на время, равное времени, необходимому для поиска отказа. Условием срабатывания перехода t_3 является наличие фишек в позициях p_3 и p_4 , что означает наличие в запасе необходимых технических средств и оборудования для замены элементов устройств системы. Время задержки на срабатывание перехода t_3 зависит от времени замены отказавшего элемента устройства СЦБ. Далее фишки перемещаются в соответствии с логикой СП в позиции p_2, p_5 и p_6 . Так образуются условия для срабатывания перехода t_4 . Фишка в позиции p_5 появляется при условии выполнения задержки на срабатывание перехода t_4 , которое определяется временем окончания устранения неисправ-

ности и проверки работы устройств системы. После чего модель переходит в исходное состояние.

В конечном итоге модель оценивает общее время восстановления системы в соответствии с выражением (1). Результаты моделирования общего времени восстановления кодовой автоблокировки (АБ), электрической централизации (ЭЦ), полуавтоматической блокировки (ПАБ) и автоматической переездной сигнализации (АПС) приведены в табл. 2.

Таблица 2. Время восстановления СЖАТ

Система	T_B , мин	$t_{пр}$, мин	t_n , мин	t_y , мин
АБ	77	34	23	20
ЭЦ	81	30	28	23
ПАБ	84	32	28	24
АПС	84	32	28	24

Заключение

Для оценки общего времени восстановления СЖАТ после возникновения отказов проведен анализ нормативных документов, регламентирующих технологические операции, в том числе для предотказных состояний технических средств. Произведен анализ графика работы восстанавливаемых изделий. На базе аппарата сетей Петри выполнена формализация общего времени восстановления неисправности технических средств СЖАТ. На основе формализованного описания указанных выше процессов и возможностей среды имитационного моделирования CPN Tools разработана упрощенная имитационная модель поиска и устранения отказов в устройствах СЦБ. Предложенная модель позволяет производить оценку общего времени восстановления СЖАТ (см. табл. 2) при соблюдении технических условий и регламентов.

Необходимо отметить, что в разработанной ИМ при расчете времени поиска и устранения отказов не учитывались такие события, как хищения, отказы по вине смежных служб, время оповещения о появившейся неисправности и т. д. Данная модель позволяет моделировать технологические операции по поиску и устранению отказов и рассчитывать не только в виде определенного числа, но и в виде случайной величины, распределенной по некоторому закону.

Следующим этапом выполнения работ по исследованию ИМ поиска и устранения отказов устройств СЦБ на базе цветных временных сетей Петри является проведение исследований в реальных условиях путем натуральных наблюдений, анализа статистических данных, планирования и проведения серий имитационных экспериментов по оценке среднего времени восстановления СЖАТ.

Библиографический список

1. ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения.
2. Сапожников Вл. В. Понятие предотказного состояния / Вл. В. Сапожников, А. А. Лыков, Д. В. Ефанов // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 12. – С. 6–8.
3. Инструкция по техническому обслуживанию и ремонту устройств и систем сигнализации, централизации и блокировки. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 30.12.2015 № 3168р.
4. Технический регламент о безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта. Утвержден постановлением Правительства РФ от 15 июля 2010 г. № 533.
5. Бочкарев С. В. Автоматизация алгоритма поиска отказов в стрелочном электроприводе с двухпроводной схемой управления / С. В. Бочкарев, А. А. Лыков // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2013. – № 4. – С. 100–107.
6. Frumin D. Branching processes of conservative nested Petri nets / D. Frumin, I. A. Lomazova // VPT 2014. Second International Workshop on Verification and Program Transformation Vol. 28: EPiC Series. EasyChair, 2014. – Pp. 19–35.
7. Wang S. A New Modified Reachability Tree Approach and Its Applications to Unbounded Petri Nets / S. Wang, M. C. Zhou, Z. Li, and C // Wang IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics: Systems. – 2013. – Vol. 43. – No 4. – Pp. 932–940.
8. Buchina N. The tool for modeling of wireless sensor networks with nested Petri nets / N. Buchina, L. Dworzanski // In Proceedings of 7th the Spring. Summer Young Researchers Colloquium on Software Engineering, SYRCoSE. Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences, 2013. – Pp. 15–18.
9. Cabral F. G. A petri net diagnoser for discrete event systems modeled by finite state automata / F. G. Cabral, M. V. Moreira, O. Diene // Transaction on Automatic Control, 2015. – Vol. 61. – No 1. – Pp. 59–71.
10. Shen Q. Intermittent fault's parameter framework and stochastic petri net based formalization model / Q. Shen, J. Qiu, G. Liu, K. Lv // Eksploatacja i Niezawodnosc-Maintenance and Reliability, 2016. – Vol. 18. – No 2. – Pp. 210–217.
11. Ермакова В. О. Трансляция вложенных сетей Петри для верификации разверток / В. О. Ермакова, И. А. Ломазова // Труды ИСП РАН. – 2016. – Т. 28. – No 4. – С. 115–136.
12. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / пер. с англ. – М. : Мир, 1984. – 264 с.
13. Вил ван дер Ааласт. Управление потоками работ: модели и системы / Вил ван дер Ааласт, Кейс ван Хей ; пер. с англ. В. А. Башкина, И. А. Ломазовой. – М. : Физматлит, 2007. – 316 с.
14. Перникис Б. Д. Предупреждение и устранение неисправностей в устройствах СЦБ. – 2-е изд., перераб. и доп. / Б. Д. Перникис, Р. Ш. Ягудин. – М. : Транспорт, 1994. – 254 с.
15. Булавский П. Е. Моделирование процессов электронного документооборота технической документации с помощью сетей Петри / П. Е. Булавский, О. К. Ваисов // Автоматика на транспорте. – 2018. – Т 4. – № 4. – С. 687–705.
16. Kulagin V. P. Tensor Methods of Designing Computer System Structures / V. P. Kulagin // Automatic Control and Computer Sciences. – New York, 1989. – Pp. 55–61.
17. Jensen K. Formal Definition of Timed Coloured Petri Nets / K. Jensen, L. M. Kristensen // In Coloured Petri Nets. Springer: Berlin / Heidelberg, Germany, 2009. – Pp. 257–271.

18. Сапожников В. В. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, В. И. Шаманов. – М. : Маршрут, 2003. – 263 с.
19. Дмитренко И. Е. Техническая диагностика и автоконтроль систем железнодорожной автоматики и телемеханики / И. Е. Дмитренко. – М. : Транспорт, 1986. – 144 с.

Peter E. Bulavsky

Oleg K. Vaisov

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

Ivan N. Bystrov

«St. Petersburg-Vitebsk distance signaling, centralization and blocking», St. Petersburg

Modeling and evaluating the time of search and elimination of failures of railway automation systems and telemechanics by means of Petri nets

The authors carried out a research to estimate the time of search and elimination of failures, taking into account the formalization of technological processes of search and elimination of failures of technical means of railway automation and telemechanics systems with the help of Petri nets apparatus. A simplified simulation model was developed for estimating the time for the elimination of a failure in the RARCS by analyzing the state of technical means, statistical and regulatory documentation. The methods of the theory of Petri nets were used, which is based on the discrete-event paradigm of SM. As well as the method of calculating the time to troubleshoot technical problems in the RARCS. The analysis of the regulatory documentation governing the technological operations for the search and elimination of failures, including the pre-failure states of the RARCS technical equipment, was carried out. The analysis of the work schedule recoverable products was carried out too. The formalization of technological processes for the search and elimination of failures in RARCS based on the methodology of Petri nets was done. A simplified simulation model of Petri nets was developed for estimating the time of failure search and their elimination. The analysis of the technical states of RARCS based on the developed simplified model of Petri nets for estimating the time of failure search and their elimination allows us to estimate the average time of their recovery after a malfunction.

failure, pre-failure condition, colored temporary Petri nets, marking, positions, transitions, arcs, events, conditions.

References

1. GOST 27.002–2015. Nadezhnost' v tekhnike (SSNT). Terminy i opredeleniya. [GOST 27.002–2015 Reliability in engineering (CCNT). Terms and Definitions.].
2. Sapozhnikov Vl. V., Lykov A. A., Efanov D. V. (2011). Ponyatiye predotkaznogo sostoyaiya [The concept of pre-failure condition]. Avtomatika svyaz', informatika [Communication Automation, Computer Science]. – Issue 12. – Pp. 6–8.

3. Instruktsiya po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu ustroystv i sistem signalizatsii, tsentralizatsii i blokirovki. Utverzhdena rasporyazheniyem OAO «RZHD» ot 30.12.2015 № 3168r. [Instructions for maintenance and repair of devices and alarm systems, centralization and blocking. Approved by the order of JSC “Russian Railways” dated December 30, 2015 No 3168r].
4. Tekhnicheskiiy reglament o bezopasnosti vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta (utv. postanovleniyem Pravitel'stva RF ot 15 iyulya 2010 g. № 533) [Technical regulations on the safety of high-speed rail transport (approved by the Government of the Russian Federation dated July 15, 2010 No 533)].
5. Bochkarev S. V., Lykov A. A. (2013). Avtomatizatsiya algoritma poiska otkazov v strelochnom elektroprivode s dvukhprovodnoy skhemoy upravleniya [Automation of the search algorithm for failures in a switch actuator with a two-wire control circuit]. Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya [Proceedings of St. Petersburg University of Communications]. Saint Petersburg, PGUPS. – Issue 4. – Pp. 100–107.
6. Frumin D., Lomazova I. A. Branching processes of conservative nested Petri nets. VPT 2014. Second International Workshop on Verification and Program Transformation Vol. 28: EPiC Series. EasyChair, 2014. – Pp. 19–35.
7. S. Wang, M. C. Zhou, Z. Li, and C. Wang, "A New Modified Reachability Tree Approach and Its Applications to Unbounded Petri Nets," IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, vol. 43, no 4. – July 2013. – Pp. 932–940.
8. Buchina Nina and Dworzanski Leonid. The tool for modeling of wireless sensor networks with nested Petri nets. In Proceedings of 7th the Spring / Summer Young Researchers' Colloquium on Software Engineering, SYRCoSE '13. Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences, 2013. – Pp. 15–18.
9. Cabral F. G., Moreira M. V. and Diene O. (2015), “A Petri net diagnoser for discrete event systems modeled by finite state automata,” Transaction on Automatic Control, vol. 61, No 1. – Pp. 59–71.
10. Shen Q., Qiu J., Liu G. and Lv K. “Intermittent fault’s parameter framework and stochastic Petri net based formalization model,” Eksploatacja i Niezawodnosc-Maintenance and Reliability, vol. 18, No 2. – 2016. – Pp. 210–217.
11. Yermakova V. O., Lomazova I. A. (2016). Translyatsiya vlozhennykh setey Petri dlya verifikatsii razvertok [Translation of nested Petri nets for verification of sweeps] Proceedings of ISP RAS. vol. 28, No 4. – Pp. 115–136.
12. Piterson Dzh. Teoriya setey Petri i modelirovaniye system. [Theory of Petri nets and system modeling]. Moscow, Mir. Publ. 1984. – 264 p.
13. Wil van der Aalas. V. A. Bashkin, Lomazova I. A. Upravleniye potokami rabot: modeli i sistemy [Workflow management: models and systems] trans. with English. – Moscow : Fizmatlit. Publ. 2007. – 316 p.
14. Pernikis B. D., Yagudin R. Sh. (1994). Preduprezhdeniye i ustraneniye neispravnostey v ustroystvakh SCB [Warning and troubleshooting in signaling devices]. Moscow, Transport. Publ. – 254 p.
15. Bulavsky P. E., Vaisov O. K. (2018). Simulation of electronic documentation flow of technical documentation using Petri nets [Modelirovaniye protsessov elektronnoy dokumentooborota tekhnicheskoy dokumentatsii s pomoshch'yu setey Petri]. Avtomatika na Transporte [Avtomatika na transporte], vol. 4, issue 4. – Pp. 687–705.

16. Kulagin V. P. Tensor Methods of Designing Computer System Structures / V. P. Kulagin // Automatic Control and Computer Sciences. – New York, 1989. – Pp. 55–61.
17. Jensen K., Kristensen L. M. Formal Definition of Timed Coloured Petri Nets. In Coloured Petri Nets; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2009. – Pp. 257–271.
18. Sapozhnikov V. V., Sapozhnikov V. V., Shamanov V. I. (2003). Reliability of railway automation systems and remote control and communication [Nadezhnost' sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki i svyazi]. Moscow, Marshrut. – 263 p.
19. Dmitrenko I. E. (1986). Tekhnicheskaya diagnostika i avtokontrol' sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki [Technical diagnostics and auto-control of railway automation and telemechanics systems]. Moscow : Transport. – 144 p.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии М. Н. Василенко.
Поступила в редакцию 27.03.2019, принята к публикации 17.05.2019.*

БУЛАВСКИЙ Петр Евгеньевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: pbulavsky@gmail.com

ВАЙСОВ Олег Кахрамонович – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: olegvaisov@gmail.com

БЫСТРОВ Иван Николаевич – электромеханик, Санкт-Петербург-Витебская дистанция сигнализации, централизации и блокировки, ЕДЦУ ШЧ-9 пост ДЦ.
e-mail: youngg.x5@gmail.com

© Булавский П. Е., Вайсов О. К., Быстров И. Н., 2019

В порядке дискуссии

УДК 378

П. В. Герасименко, д-р техн. наук

Кафедра «Математика и моделирование»
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I, Санкт-Петербург

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕЗУЛЬТАТОВ ТВОРЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧЕНОГО ПО ЕГО ПУБЛИКАЦИЯМ И ИХ ЦИТИРОВАНИЯМ

Выполнен сравнительный анализ показателей результатов научной деятельности выборки 30 ученых по данным РИНЦ. Анализ проведен на основании двух моделируемых индексов: h -индекса Хирша и комплексного ghp -индекса, предложенного в работе.

В отличие от h -индекса, который базируется на идее, что ученый обладает индексом h , если им опубликовано h статей, каждая из которых цитировалась не меньше h раз, комплексный ghp -индекс учитывает все ссылки, которые осуществлены на все работы ученого. Согласно определению, ghp -индекс представляет собой евклидову норму вектора, компонентами которого являются три индекса: традиционный h -индекс Хирша; g -индекс, построенный на оставшихся ссылках h работ, которые не участвовали в формировании h -индекса; p -индекс, построенный на цитированиях, не вошедших в формирование первых двух индексов.

В работе предлагается геометрическая интерпретация индекса h Хирша, где целое числовое значение h следует рассматривать как длину стороны квадрата размером в h единиц. Данный квадрат назван квадратом Хирша. Он содержит площадь, равную h^2 единиц. Тогда, если ученый с h -индексом имеет S цитирований по всем работам, то количество цитирований, равное $(S - h^2)$ не участвует в формировании квадрата Хирша, следовательно, и в оценке творческой деятельности ученого. Именно этот факт является одним из существенных недостатков индекса Хирша.

Предлагаемый комплексный ghp -индекс учитывает все ссылки на все работы ученого. Каждому из компонентов вектора индексов придан следующий смысл: h -индекс имеет тот же смысл, что и индекс Хирша; g -индекс характеризует значимость h базовых научных работ ученого; p -индекс означает активность научной работы ученого. Соответственно в работе введены квадрат значимости h базовых работ ученого и квадрат интенсивной работы ученого.

Показано, что ряд ведущих ученых выборки из РИНЦ, у которых базовые работы, определяющие h -индекс при достаточно большом общем числе цитирований – большем, чем требует h -индекс, занимают невысокий рейтинг. С помощью ghp -индекса их рейтинг повышается, поскольку учитываются все цитирования базовых значимых работ ученого, а также его активность в творческой работе.

индекс, цитирование, научные работы, ученый, творческая деятельность, компоненты вектора, евклидова норма, квадрат, рейтинг.

DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-4-493-504

Введение

В последние годы во всем мире для оценки результатов творческой деятельности как организаций, так и отдельных ученых широко применяется такой показатель, как индекс цитируемости научных работ. Каждая организация или ученый должны иметь четкое представление о показателях своей научной деятельности и соответствии ее задачам и целям. Использование этих показателей позволяет строить сети научных взаимосвязей стран, организаций и отдельных ученых и оценивать визуальность науки [1]. Наиболее распространенными в мире показателями эффективности научной деятельности являются данные цитирования. Сегодня требуется дальнейшее совершенствование старых и разработка новых подходов к анализу нынешнего состояния и дальнейших перспектив российских и мировых научных исследований.

О значении научных работ, написанных на тему цитирования и цитируемости, свидетельствует тот факт, что около полувека назад в США был создан Институт научной информации, который в настоящее время отслеживает цитируемость ученых по всему миру в рамках системы Web of Science (WoS) [2].

Поэтому во всем мире одной из важных задач для большинства научных изданий, прежде всего – научных журналов, стала задача повышения уровня цитируемости в них статей [3]. Эта задача актуальна и для руководителей научных организаций, и для отдельных ученых.

В 2005 году для оценки научной деятельности американский физик Хорхе Хирш ввел в научный оборот индекс цитируемости, который получил название «*h*-индекс» или «индекс Хирша» [4, 5].

В развитие идеи Хирша многие ученые предложили свои варианты подхода к модификации его индекса. Из их числа следует выделить *g*-индекс Leo Egghe и *j*-индекс Михайлова.

Казалось бы, чем выше уровень цитирования, тем более важна и интересна исследовательская работа, тем весомее вклад организации или автора в развитие научного знания. Именно это свойство должен учитывать индекс. К сожалению, существующие подходы построения индексов не в полной мере учитывают это требование. Поэтому дальнейшее совершенствование существующих индексов цитирования остается актуальной задачей.

1. Краткие сведения об индексах Хирша, Leo Egghe и О. В. Михайлова

Ценность разных ссылок на научную работу не одинакова и зависит от издания, где она была опубликована, является ссылка цитированием или самоцитированием, а также от того, сколько человек значится в числе авторов цитируемой публикации. Количественным измерителем авторитетности

издания обычно выступает импакт-фактор, под которым понимается отношение количества ссылок, сделанных на все статьи в издании в двухлетний период, предшествующий году обследования, к общему числу статей, опубликованных в нем за это же время. В качестве показателя цитируемости научных работ ученого в мире и в нашей стране принят h -индекс Хирша.

Согласно определению, которое дал ему автор, этот индекс трактуется так: «исследователь» имеет индекс h , если из его N статей h цитируются как минимум h раз каждая, в то время как оставшиеся $(N - h)$ статей цитируются не более чем h раз.

Следует заметить, что между индексом Хирша ученого и общим числом S цитирований его работ нет прямой корреляции. Индекс Хирша предложен в качестве альтернативы классическому индексу цитируемости – суммарному числу ссылок на работы ученого. Критерий основан на совокупном учете части числа публикаций исследователя и такой же части числа цитирований этих публикаций. Схема, поясняющая определение понятия h -индекса Хирша, приведена рис. 1.

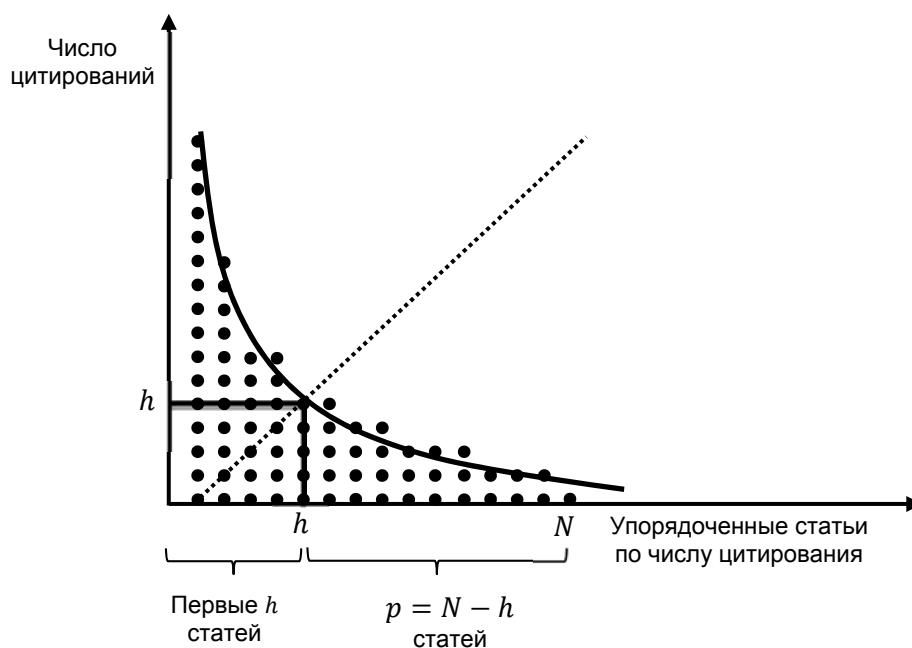


Рис. 1. Схема к определению понятия «индекс Хирша»

В научном сообществе принято считать, что состоявшийся ученый в области физики обладает h -индексом более 10, у нобелевских лауреатов он может составлять 50–60 и выше [6].

Если область работ относительно узкая, то даже при очевидной успешности и большом стаже работы исследователя его h -индекс может не превышать 15–20. Между тем, если посмотреть внимательно, можно обнаружить, что и в случае относительно узкой области исследований у неко-

торых ученых индекс Хирша может иметь очень высокие, «нобелевские» и даже превышающие «нобелевские» показатели. В таблице 1 приведены приблизительные диапазоны оценки индекса для ученых разных категорий.

Таблица 1. Приблизительные h -индексы научных работников

h -индекс	Научный работник
16 и выше	Всемирно известный ученый, председатель диссертационного совета
10–15	Член диссертационного совета
7–10	Доктор наук
3–6	Кандидат наук
0–2	Аспирант или молодой исследователь

Как отмечалось, между индексом Хирша и общим числом цитирований работ ученого нет прямой корреляции. Таким образом, для достижения высокого индекса Хирша недостаточно иметь много публикаций и даже высокий индекс цитируемости, а важно, чтобы обильно цитировалось как можно большее число опубликованных работ. h -индекс – это попытка комплексной оценки одновременно числа публикаций ученого и их цитируемости (качества), их свертка. Безусловно, индекс Хирша был придуман как унифицированная оценка эффективности труда ученого независимо от области его исследований.

В настоящей работе индексу h предлагается геометрическая интерпретация, а именно: целое числовое значение h следует рассматривать как длину стороны квадрата размером в h единиц. Данный квадрат целесообразно назвать квадратом Хирша. Поскольку ученый имеет S цитирований, то количество цитирований, равное $(S - h^2)$, не будет участвовать в формировании квадрата Хирша, а следовательно и в определении h -индекса. Именно этот факт является одним из существенных недостатков определения индекса Хирша, поскольку h -индекс учитывает только те цитирования, которые будут находиться в наибольшем квадрате, длины сторон которого соответствуют, во-первых, числу статей, во-вторых, числу цитирований, приходящемуся на эти статьи. Площадь такого квадрата равна h^2 . Следовательно, индексом Хирша учитываются не все S цитирований, а только часть их.

При внимательном изучении природы h -индекса можно выявить немало недостатков, например, он практически поощряет публикацию большого количества работ умеренного качества [6]. Он провоцирует стремление ученого добиться высокого положения в науке за счет слабых научных работ при успешной организации их цитирования. Многие ученые ломают голову над тем, как повысить свой «хирш».

Однако самым существенным недостатком h -индекса является то, что он одинаково невысокий и у ученого с одной гениальной широко извест-

ной работой, и у автора многих публикаций, которые цитировались не чаще одного раза. Например, если ученый имеет сотню опубликованных статей, и каждая из них была процитирована по одному разу, то h -индекс будет равен 1. Аналогичной будет цифра у автора, который издал всего один труд, но который процитировали 100 раз. Наиболее высокие показатели будут у научных работников, имеющих достаточно и публикаций, и ссылок на них других исследователей.

В развитие идеи Хирша многие ученые предложили свои варианты подхода к модификации индекса h . Из их числа следует выделить g -индекс Leo Egghe [7–9] и j -индекс Михайлова [10]. Следует заметить, что эти авторы не смогли в своих подходах ликвидировать все недостатки h -индекса, а попытались учесть большую часть цитирований значимых научных работ.

Индекс, который в научной литературе именуется как g -индекс, также является целочисленной величиной. По величине он, как и индекс h , не больше, чем суммарное количество статей и цитирований ученого. По определению, модифицированный g -индекс имеет ученый, если g из его статей цитируются как минимум g^2 раз, в то время как оставшиеся $(N - g)$ статьи цитируются не более чем g^2 раз каждая. Для любого ученого g -индекс гораздо меньше, чем h -индекс, тем более – чем суммарное количество его статей. Геометрически g -индекс можно представлять прямоугольником, у которого основание имеет длину, равную g единиц, а высоту – g^2 единиц. Таким образом, g -индекс представляет прямоугольник Эгга, включающий g^3 единиц цитирований. В работе [10] приведены исследования автора, показавшие, что больше половины докторов наук, профессоров российских университетов принадлежат к категории, у которой индекс $g \leq 3$.

Поэтому у основной массы работников вузов дифференциация научного сообщества в РФ по g -индексу практически нецелесообразна. Автор приводит пример самого цитируемого исследователя в РФ – профессора Уфимского государственного авиационного технического университета Р. З. Валиева. По базе данных РИНЦ, в 2014 году суммарное количество ссылок на его публикации больше 27000 и «хирш» – 69, а g -индекс равен 15.

В работе [10] автор заключает, что не имеет смысла вводить g -индекс для оценки научной деятельности в целом в российских масштабах. Поэтому он предлагает индекс, определяемый как наибольшее значение j , для которого j наиболее цитируемых работ конкретного автора в общей сложности цитируются (как им самим, так другими исследователями) по крайней мере $j^{3/2}$ раз, а все остальные – менее $j^{3/2}$ раз. Тогда, согласно данным базы РИНЦ на начало 2014 года, у Р. З. Валиева j -индекс составлял 26.

Следует отметить, что все предложенные индексы не меняют рейтинга его обладателя по его публикациям. Он будет одним и тем же и в том случае, когда этот обладатель во всех своих публикациях значится первым автором, и тогда, когда стоит на последнем месте.

2. Описание введенного в работе комплексного *ghp*-индекса

Перед введением комплексного индекса цитирования целесообразно структурировать суммарное количество цитирований S , представив его в виде трех слагаемых. Первое слагаемое соответствует h -индексу цитирований Хирша, т. е. тех цитирований, которые входят в квадрат Хирша. Второе слагаемое включает те цитирования, которые располагаются над квадратом Хирша. Их число обозначим через g^2 . Условно по аналогии с h -индексом, который соответствует квадрату Хирша, имеет смысл полагать, что число g^2 формирует квадрат со сторонами $\sqrt{g^2}$, и, следовательно, ввести g -индекс. Наконец, третье слагаемое включает те цитирования, которые располагаются на схеме справа относительно квадрата Хирша. Их число можно обозначить как p^2 и, соответственно, аналогично ввести p -индекс. Очевидно, что общее число цитирований $S = h^2 + g^2 + p^2$, где слагаемые суммы есть количества цитирований, которые соответственно формируют индексы h, g, p .

Тогда можно сформулировать следующее определение: комплексный *ghp*-индекс представляет собой евклидову норму вектора цитирования, компонентами которого являются: h -индекс, g -индекс и p -индекс. Тогда справедливо следующее очевидное утверждение: *ghp*-индекс численно равен $S^{1/2}$.

Из определения *ghp*-индекса следует, что у ученого учитываются все цитирования, которые будут формировать наибольший квадрат, длины сторон которого равны корню квадратному от общего числа цитирований.

Очевидно, что ученые, которые имеют выдающиеся работы, т. е. работы, у которых огромное число цитирований, согласно *ghp*-индексу должны занимать более высокий рейтинг в научном коллективе.

Исходя из существа введенных слагаемых общего числа цитирований, каждому из них можно придать следующий смысл: h^2 – тот же, что при h -индексе Хирша; g^2 характеризует значимость h базовых научных работ ученого; p^2 означает активность научной работы ученого. В соответствии с этим следует ввести понятия «квадрат значимости» h первых работ ученого и «квадрат интенсивной работы» ученого.

Приведенное выше утверждение позволяет предложить методический прием при анализе результатов научной деятельности двух ученых, имею-

щих равное значение ghp -индекса. Для этого необходимо рассматривать ghp -индекс вектора трех компонент, т. е. $ghp(h, g, p)$. Предложенный подход позволяет осуществлять моделирование gh -индекса и hp -индекса, а также определить следующие места важности: первое место – gh -индексу, второе – h -индексу Хирша, третье – hp -индексу.

3. Анализ научной деятельности выборки ученых

Миссия учебных и научных учреждений, согласно существующим воззрениям в стране, заключается в предоставлении потребителям высококачественных и конкурентоспособных услуг в области образования и научно-исследовательской деятельности [11].

Как отмечалось, в настоящее время оценка научной деятельности сотрудников университетов и научных институтов осуществляется с помощью h -индекса Хирша, по которому устанавливается также рейтинг каждого ученого в университете.

Следует отметить, что все существующие недостатки h -индекса могут проявляться прежде всего при оценке научного вклада тех ученых, которые имеют значимое для науки и практики небольшое число работ [12].

С целью подтверждения этого предположения в работе h -индекс и ghp -индекс положены в основу анализа научной деятельности, взята выборка из базы данных РИНЦ 30 ученых, у которых h -индекс превышает 10. В их число включены те ученые, которые, согласно рейтингу по h -индексу, заняли с первого по тридцатое места в выборке.

Представляет интерес оценить изменения рейтингов, установленных h -индексом Хирша и ghp -индексом у ученых, результаты научной деятельности которых представлены в табл. 2.

В таблице вместо ФИО ученого дан его порядковый номер, равный рейтингу, который он занимает согласно h -индексу в выборке. Из таблицы следует, что только семь ученых из выборки имеют более тысячи цитирований на свои опубликованные работы. На оси ординат (рис. 2) приведены значения h -индекса и ghp -индекса ученых из выборки, а на оси абсцисс представлены их порядковые номера из табл. 2.

Из рисунка следует, что ряд ученых повышают свой рейтинг, другие – понижают. Особенно это видно из рис. 3, где представлены индексы ученых и изменения рейтингов по тому и другому индексам.

Из рис. 3 следует, что ряд ученых, номера которых 5, 28 и 30, имеют большее значение ghp -индексов, чем у близко стоящих ученых. Номера 12, 20, 2 имеют меньшие значения, что требует понижения их рейтинга. На рис. 4 даны величины сдвига рейтинга у отдельных ученых.

Таблица 2. Основные показатели 30 ученых

Порядковый номер Ученого, равный рейтингу по <i>h</i> -индексу	Число научных работ	Число цитирований	<i>h</i> -индекс	<i>ghp</i> -индекс	Рейтинг по <i>h</i> -индексу	Рейтинг по <i>ghp</i> -индексу	Смена рейтинга, <i>ghp</i> – <i>h</i>
1	651	4033	39	63,51	1	1	0
2	371	2615	27	51,14	2	2	0
3	206	1525	25	39,05	3	6	3
4	361	2271	24	47,66	4	3	-1
5	193	986	22	31,40	5	11	6
6	326	1956	21	44,23	6	4	-2
7	180	1054	20	32,47	7	8	1
8	161	995	20	31,54	8	10	2
9	195	1055	19	32,48	9	7	-2
10	114	1002	18	31,65	10	9	-1
11	208	811	17	28,48	11	16	5
12	170	959	17	30,97	12	13	1
13	422	537	16	23,17	13	19	6
14	212	900	15	30,00	14	15	1
15	136	534	14	23,11	15	20	5
16	103	416	14	20,40	16	27	11
17	161	904	14	30,07	17	14	-3
18	95	419	13	20,47	18	25	7
19	41	392	13	19,80	19	29	10
20	89	453	12	21,28	20	24	4
21	129	1639	12	40,48	21	5	-16
22	80	591	12	24,31	22	18	-4
23	91	383	12	19,57	23	30	7
24	167	406	12	20,15	24	28	4
25	48	490	12	22,14	25	21	-4
26	77	462	11	21,49	26	23	-3
27	116	418	11	20,45	27	26	-1
28	164	743	11	27,26	28	17	-11
29	65	478	11	21,86	29	22	-7
30	52	973	10	31,19	30	12	-18

Наибольший сдвиг существует у названных выше двух групп ученых. В табл. 3 приведены сравнительные характеристики этих групп ученых.

На основании сравнительных характеристик можно заключить, что предлагаемый комплексный *ghp*-индекс может улучшить оценку научной деятельности ученых-исследователей.

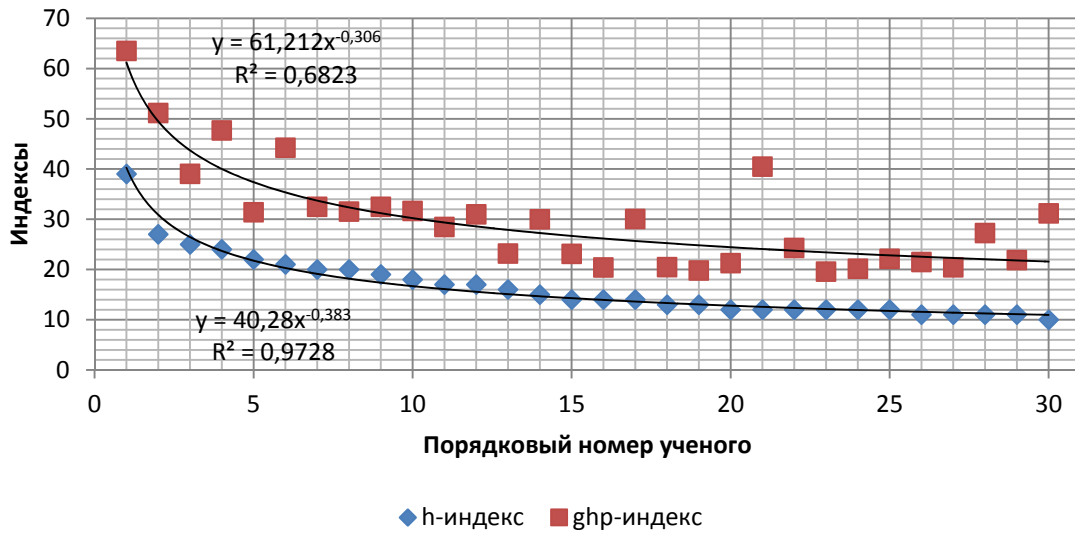


Рис. 2. Индексы *h* и *ghp* ведущих ученых

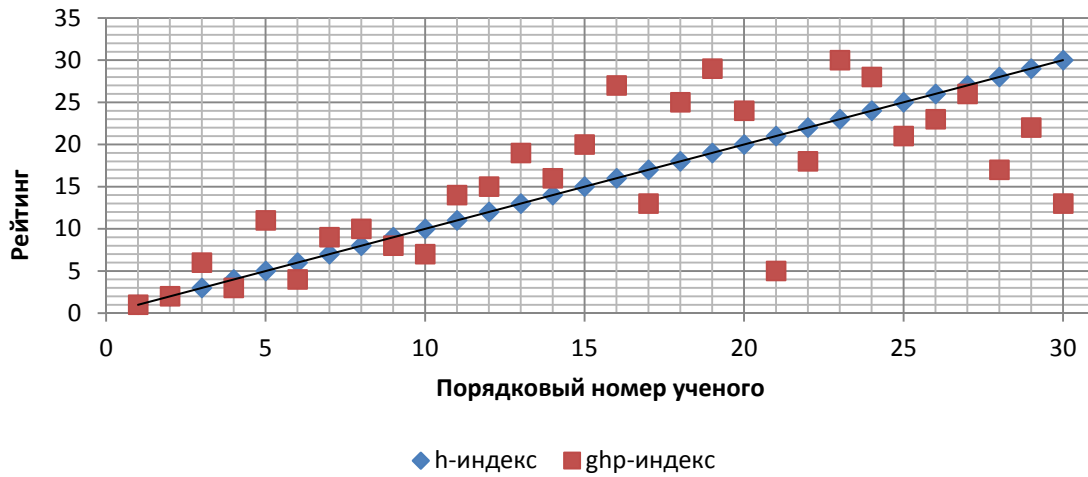


Рис. 3. Рейтинги согласно индексам *h* и *ghp* ученых из выборки

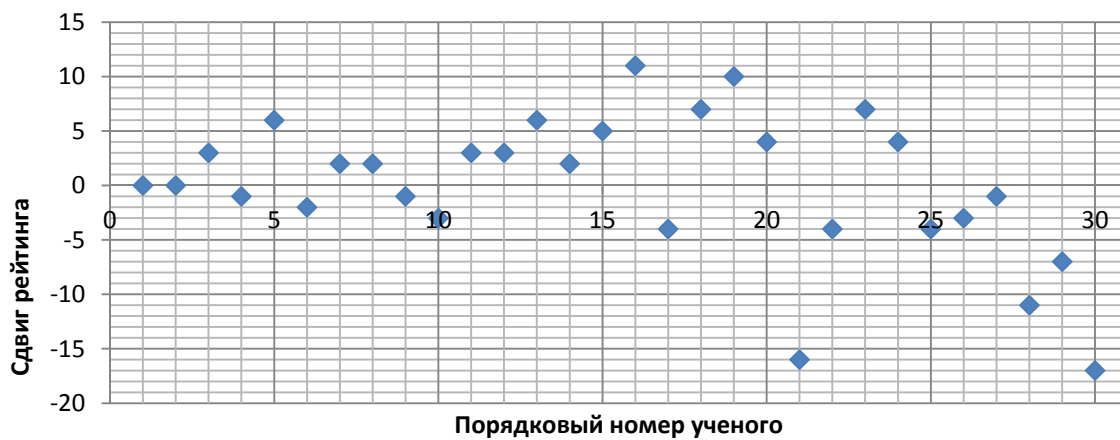


Рис. 4. Величины сдвига рейтинга ученых из выборки

Таблица 3. Сравнительные характеристики отдельных групп ученых

№ п/п	Число научных работ S	Число цитирований N	Число цитирований h^2	h -индекс	Рейтинг по h -индексу	Число цитирований g^2	g -индекс	Число цитирований p^2	p -индекс	gh -индекс	Рейтинг по ghp -индексу	Смена рейтинга, $ghp - h$
Первая группа												
1	129	1639	144	12	21	750	27,4	745	27	40,5	5	-16
2	164	743	121	11	28	122	11	714	26,7	27,3	17	-11
3	52	973	100	10	30	353	18,8	520	22,8	31,2	13	-18
Вторая группа												
1	193	986	484	22	5	139	11,8	363	19	31,4	11	6
2	103	416	196	14	16	96	10	124	11	20,4	27	11
3	41	392	169	13	19	78	8,8	145	12	19,8	29	10

Заключение

Как h -индекс, так ghp -индекс дают согласованные результаты, за исключением тех ученых, у которых имеется небольшое число довольно значимых работ. Кроме того, поскольку в отличие от индексов h , g и p , предложенный индекс не является целочисленным, а относится к вещественным положительным числам, он позволяет более качественно определять рейтинг ученых, имеющих равные названные индексы.

Библиографический список

1. Варшавский А. Е. Об адекватной оценке результативности научной деятельности / А. Е. Варшавский, В. В. Иванов, В. А. Маркусова // Вестник Российской академии наук. – 2011. – № 7. – С. 587–593.
2. Михайлов О. В. Российский индекс научного цитирования / О. В. Михайлов // Вестник Российской академии наук. – 2013. – № 6. – С. 557–561.
3. Михайлов О. В. Новый индекс цитируемости исследователя / О. В. Михайлов // Вестник Российской академии наук. – 2012. – № 9. – С. 829–833.
4. Hirsch J. E. An index to quantify an individuals scientific research output // Proc. Nat. Sci. – 2005. – № 46.
5. Hirsch J. E. An index to quantify an individuals scientific research output that takes into account the effect of multiple coauthorship // Scientometrics. – 2010. – № 2. – <http://www.expertcorps.ru/science/whoiswho/ci86?sortby=h>.
6. Михайлов О. В. Нужна модификация самого популярного индекса цитируемости / О. В. Михайлов // Вестник Российской академии наук. – 2013. – № 10. – С. 943–944.

7. Egghe L. Theory and practice of the g-index // *Scientometrics*. 2006. – No 2.
8. Egghe L. Mathematical theory of the h- and g-index in case of fractional counting of authorship // *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. – 2008. – No 5.
9. Egghe L., Rousseau R. An h-index weighted by citation impact // *Information Processing and Management*. – 2008. – No 3.
10. Михайлов О. В. Новая версия индекса Хирша – *j*-индекс / О. В. Михайлов // *Вестник Российской академии наук*. – 2014. – № 6. – С. 532–535.
11. Зибарева И. В. Ранжирование институтов Российской академии наук с помощью российского индекса научного цитирования на примере институтов химического профиля / И. В. Зибарева, В. Н. Пармой // *Вестник Российской академии наук*. – 2012. – № 9. – С. 779–782.
12. Герасименко П. В. Модификация *h*-индекса Хирша / П. В. Герасименко // *Вестник Приднестровского университета. Сер. Физико-математические и технические науки*. – 2019. – № 3(63). – С. 52–54.

Peter V. Gerasimenko

«Mathematics and Modeling» department

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, St. Petersburg

Simulation of indicators of the scientist's creative activity results based on publications and their quotes

The comparative analysis of indicators of results of scientific activity of sample of 30 scientists according to RSCI is executed. The analysis is carried out on the basis of two simulated indices: «h» – h-index and complex ghp-index proposed in the paper. In contrast to the «h» index, which is based on the idea that a scientist possesses an index h, if he published h articles, each of which was quoted no less than h times, the ghp-index takes into account all citations that are carried out on the scientist's works.

According to the definition, the ghp index is the Euclidean norm of the vector, the components of which are three indices: the traditional “h” index; g-index built on the remaining links of h works that did not participate in the formation of the «h» index; «p»-index, built on quotations not included in the formation of the first two indices.

In the work, the «h» index has a geometric interpretation, where the integer numerical value of h should be considered as the length of the side of a square measuring h units. This square is called the “Hirsch square”. It contains an area equal to h^2 units. Then, if a scientist with an «h» index has S citations for all works, then the number of citations equal to $(S - h^2)$ will not participate in the formation of the Hirsch Square, and therefore in the assessment of the scientist's creative activity. This fact is one of the significant shortcomings of the Hirsch index. The proposed comprehensive ghp index takes into account all references to all the works of the scientist. Moreover, each of the components of the index vector has the following meanings: h has the same as the Hirsch index; g-characterizes the significance of h «best» scientific works of a scientist; «p» – means the activity of scientist's work.

Accordingly, by analogy, the «square of significance» of the h first works of the scientist and the «square of intensive» work of the scientist are introduced.

It is shown that a number of leading scientists of the RSCI sample, whose basic works determining the «h»-index with a sufficiently large total number of citations greater than the h-index requires, do not occupy a high rating. With the help of ghp-index, their

rating is increased, since all citations of basic significant works of the scientist are taken into account, as well as his activity in creative work.

index, citation, scientific works, scientist, creative activity, vector components, Euclidean norm, square, rating.

References

1. Warsawscy A. E., Ivanov V. V., Markusov V. A. On an adequate assessment of the effectiveness of scientific activity [Ob adekvatnoi` ocenke rezul'tativnosti nauchnoi` deiatel'nosti], Bulletin of the Russian Academy of Sciences, 2011, No 7, pp. 587–593.
2. Mikhailov O. V. Russian Science Citation Index [Rossii`skii` indeks nauchnogo tcitirovaniia], Herald of the Russian Academy of Sciences, 2013, No 6, pp. 557–561.
3. Mikhailov O. V. New researcher citation index [Novy`i` indeks tcitiruemosti issledovatel'ia], Herald of the Russian Academy of Sciences, 2012, No 9, pp. 829–833.
4. Mikhailov O. V. The new version of the Hirsch index – y-index, Herald of the Russian Academy of Sciences, 2014. – No 6, pp. 532–535.
5. <http://www.expertcorps.ru/science/whoiswho/ci86?sortby=h>.
6. Mikhailov O. V. A modification of the most popular citation index is needed [Nuzhna modifikatciia samogo populiarnogo indeksa tcitiruemosti]. Herald of the Russian Academy of Sciences. – 2013. – No 10. – Pp. 943–944.
7. Egghe Leo (2006) Theory and practice of the g-index, vol. 69, No 1, pp. 131–152. Doi: 10.1007 / s11192-006-0144-7.
8. Egghe L. Mathematical theory of the h- and g-index in case of fractional counting of authorship // Journal of the American Society for Information Science and Technology. – 2008. – No 5.
9. Egghe L., Rousseau R. An h-index weighted by citation impact // Information Processing and Management. – 2008. – No 3.
10. Mikhailov O. V. The new version of the Hirsch index is the j – index [Novaia versiiia indeksa Hirsha – j-indeks], Bulletin of the Russian Academy of Sciences, 2014, No 6, pp. 532–535.
11. Zibareva I. V., Parma V. N. Ranking of institutes of the Russian Academy of Sciences using the Russian Science Citation Index. On the example of institutes of chemical profile [Ranzhirovanie institutov Rossii`skoi` akademii nauk s pomoshch'iu Rossii`skogo indeksa nauchnogo tcitirovaniia. Na primere institutov himicheskogo profil'ia], Bulletin of the Russian Academy of Sciences. – 2012. – No 9. – Pp. 779–782.
12. Gerasimenko P. V. Modification of the h-Hirsch index [Modifikatciia h – indeksa Hirsha], Bulletin of the University of Transnistria / Ser. Physics and mathematics and engineering sciences. – 2019. – No 3 (63). – Pp. 52–54.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Вал. В. Сапожниковым.
Поступила в редакцию 17.05.2019, принята к публикации 24.06.2019.*

*ГЕРАСИМЕНКО Петр Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Математика и моделирование» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: pv39@mail.ru*

© Герасименко П. В., 2019

УДК 001.92

В. В. Сапожников, д-р техн. наук
Вл. В. Сапожников, д-р техн. наук

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

Д. В. Ефанов, д-р техн. наук

ООО «ЛокоТех-Сигнал»
Кафедра «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте»
Российский университет транспорта, Москва

НОВЫЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧЕНЫХ

Предложен новый индекс оценки работы ученого, максимально полно учитывающий количество цитирований всех его работ. Новый показатель деятельности ученых, так же как индекс Хирша, выражается в виде единственного числа, имеет простой алгоритм подсчета и понятную геометрическую интерпретацию. Приведены примеры подсчета нового показателя, обозначены некоторые его особенности.

оценка деятельности ученого, наукометрический показатель, индекс цитирования, индекс Хирша.

DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-4-505-514

Введение

При управлении научно-исследовательской деятельностью во всем мире принято использовать различные системы показателей, ориентированные так или иначе на количественную оценку вклада того или иного ученого в определенную область науки. Такой подход стал возможен благодаря развитию вычислительной техники и компьютерных технологий, совершенствованию интернета и созданию электронных баз данных, учитывающих результаты научной деятельности. Показатели оценки стараются использовать на всех этапах процесса управления научно-исследовательской деятельностью – как на этапах организации и планирования, так и на этапах стимулирования ученых и контроля их работы [1].

В Российской Федерации при оценке деятельности ученых широко применяют данные из таких наукометрических баз, как Web of Science (USA), Scopus (EU) и РИНЦ (РФ). При этом в качестве наиболее важных показателей в каждой из приведенных выше баз данных выбираются одни и те же, а именно: число опубликованных работ (q), общее число цитирований всех работ (N), индексы цитирования и важности публикаций. К по-

следним относятся различные вычисляемые показатели, наиболее известным из которых является индекс Хирша (h -индекс), введенный в рассмотрение в 2005 году [2]. Ученый имеет h -индекс, равный h , в том случае, если h его работ процитированы не менее чем h раз, а остальные $q-h$ работ цитируются не более чем h раз. Такой показатель имеет свои достоинства и свои недостатки, что отмечено в оригинальной статье Х. Хирша. Например, h -индекс учитывает число наиболее важных работ ученого, но никак не учитывает число цитирований за пределом величины h : если работа из числа публикаций, по которым определен h -индекс, цитируется большее количество раз или любое цитирование $q-h$ публикаций с меньшим, чем h , числом цитирований. Несмотря на это h -индекс в настоящее время стал привычным и наиболее часто используется при оценке результатов научной деятельности.

Известно большое число модификаций индекса Хирша и других наукометрических показателей, ориентированных на получение более точной оценки качественных и количественных составляющих работы ученых, уточняющих или модернизирующих ранее использовавшиеся показатели. Большинство из них в той или иной мере копируют идею Х. Хирша или направлены на уточнение относительных показателей деятельности ученого [3, 4].

Данная статья посвящена описанию нового наукометрического показателя, который позволяет комплексно учитывать все цитирования всех публикаций ученого из имеющихся в базе данных. При этом новый показатель, обозначенный как w -индекс, так же как и h -индекс, является одним числом, однако более полно характеризующим вклад автора в развитие науки в соответствующей предметной области.

1. Новый наукометрический показатель

Индекс Хирша получил широкое распространение, по всей видимости, благодаря простоте вычисления и доступности его интерпретации. На рис. 1 изображено графическое представление h -индекса: на оси абсцисс расположены публикации, ранжированные по числу цитирований в невозрастающем порядке (q_i), а на оси ординат – число цитирований каждой публикации (N_i) [2]. Из геометрической интерпретации следует, что из N цитирований всех p работ некоторого автора индекс Хирша учитывает только h^2 цитирований первых h работ. На рис. 1 эти работы и их цитирования образуют квадрат Хирша с длиной стороны, равной h .

Графическая форма h -индекса наглядно показывает его недостатки – не учитывается $N-h^2$ цитирований всех работ, цитирования которых попадают в две области: G (над квадратом Хирша) и P (справа от квадрата Хирша).

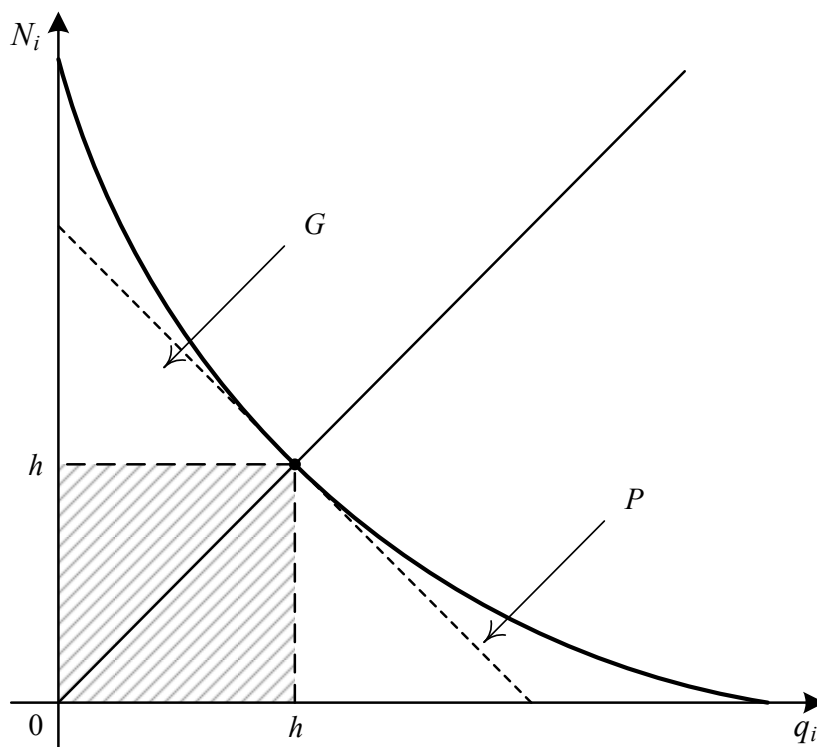


Рис. 1. Геометрическое представление h -индекса

Какой-либо иной индекс, отражающий деятельность некоторого автора, по нашему мнению, должен отвечать следующим критериям:

- 1) правильно отражать значимость всех работ;
- 2) учитывать всё множество цитируемых работ;
- 3) иметь понятный физический смысл;
- 4) быть простым, т. е. представлять собой некоторое число, характеризующее работу автора.

Индекс w , отвечающий представленным критериям, может быть получен по следующему алгоритму.

1. Производится ранжирование работ автора в порядке невозрастания числа их цитирований.

2. Полагается $i = 1$, $w = 0$.

3. Формируется множество работ ученого.

4. По публикациям ученого из имеющегося множества определяется h -индекс и выделяется $h_i = h$ первых в списке работ с числом цитирований, равным h .

5. Подсчитывается общее число цитирований h_i первых работ $S_i = H_i + G_i$ (здесь H_i и G_i – число цитирований h_i работ, попадающих в i -й квадрат Хирша, и число цитирований работ, попадающих в область над i -м квадратом Хирша):

$$S_i = \sum_{t=1}^{h_i} N_t, \quad (1)$$

где t – каждая конкретная работа из рассматриваемых.

6. Полученное число делится на количество цитируемых работ:

$$w_i = \frac{S_i}{h_i}. \quad (2)$$

7. Определяется число:

$$w = w + w_i. \quad (3)$$

8. Первые h_i работ автора исключаются из множества его работ, и формируется множество оставшихся работ.

9. Полагается $i = i + 1$.

10. Проверяется условие $h_i = 0$? Если да, то подсчет числа w окончен, если нет, то осуществляется переход к выполнению п. 4.

11. Конец алгоритма.

Процедура вычисления w -индекса может быть выражена формулой:

$$w = \sum_{i=1}^k \frac{h_i^2 + G_i}{h_i} = \sum_{i=1}^k \frac{H_i + G_i}{\sqrt{H_i}} = \sum_{i=1}^k w_i. \quad (4)$$

В формуле (4) число k определяет количество итераций подсчета суммы w до тех пор, пока $h_i \neq 0$.

Алгоритм подсчета w -индекса может быть проиллюстрирован геометрической интерпретацией (рис. 2). По оси абсцисс отложены ранжированные по числу цитирований (N_i) все публикации автора (q_i). На каждом этапе итерации при работе алгоритма подсчета w -индекса осуществляется усреднение числа цитирований первых h_i публикаций.

Число H_1 представляет собой h_1 -индекс автора, полученный при рассмотрении первой итерации алгоритма. Число H_2 представляет собой h_2 -индекс автора, полученный во второй итерации алгоритма, и т. д.

2. Вычисление нового наукометрического показателя и его особенности

Приведем пример подсчета w -индекса. Предположим, что статистические показатели некоторого ученого задаются таблицей 1.

На первом этапе определяется $h_1 = h$ первых работ из полного множества работ ученого, по которым подсчитывается h -индекс. Из данных таблицы 1 это первые восемь его работ. Определим число цитирований h_1 работ:

$$S_1 = 28 + 25 + 23 + 17 + 16 + 16 + 10 + 8 = 143.$$

По формуле (2) определяем число w_1 :

$$w_1 = \frac{S_1}{h_1} = \frac{143}{8} = 17,875.$$

Удаляем из множества всех работ $h_1 = 8$ первых по цитированию и образуем таблицу 2.

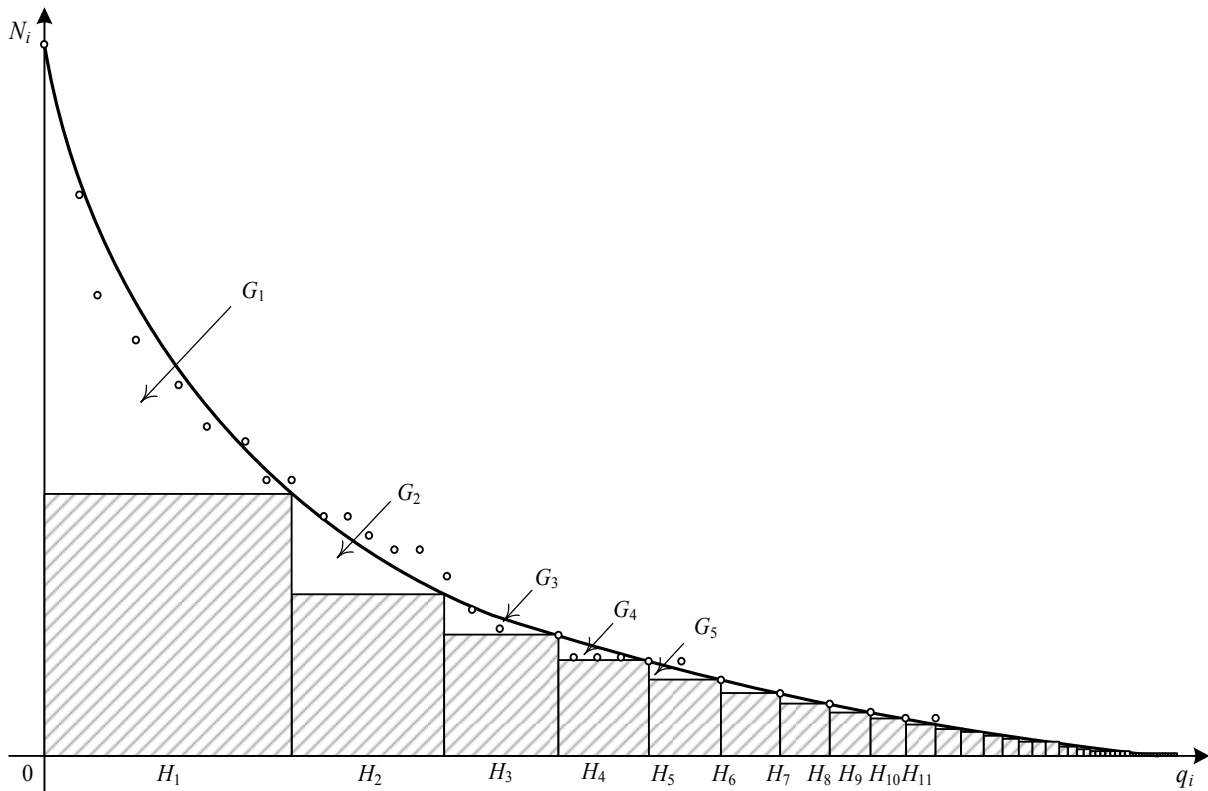


Рис. 2. Геометрическое представление w -индекса

Таблица 1. Исходные данные к расчету

Номера работ в ранжированном списке														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Число цитирований каждой работы														
28	25	23	17	16	16	10	8	8	8	7	7	7	7	6
Номера работ в ранжированном списке														
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Число цитирований каждой работы														
5	5	4	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	0	0

Определяем $h_2 = h$ первых работ из полученного подмножества работ ученого, по которым подсчитывается h -индекс. Из данных таблицы 2 это первые шесть его работ. Определим число цитирований h_2 работ:

$$S_2 = 8 + 8 + 7 + 7 + 7 + 7 = 44.$$

Таблица 2. Ранжированные работы ученого после первой итерации работы алгоритма

Номера работ в ранжированном списке										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Число цитирований каждой работы										
8	8	7	7	7	7	6	5	5	4	3
Номера работ в ранжированном списке										
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Число цитирований каждой работы										
3	3	2	2	2	2	1	1	1	0	0

По формуле (2) определяем число w_2 :

$$w_2 = \frac{S_2}{h_2} = \frac{44}{6} = 7,333.$$

Удаляем из рассматриваемого подмножества работ $h_2 = 6$ первых по цитированию и образуем таблицу 3.

Таблица 3. Ранжированные работы ученого после второй итерации работы алгоритма

Номера работ в ранжированном списке															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Число цитирований каждой работы															
6	5	5	4	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	0	0

Вновь определяем те работы, которые образуют квадрат Хирша: $h_3 = h$ первых работ из полученного подмножества работ ученого. Из таблицы 3 это первые четыре его работы. Число цитирований h_3 работ

$$S_3 = 6 + 5 + 5 + 4 = 20,$$

значит

$$w_3 = \frac{S_3}{h_3} = \frac{20}{4} = 5.$$

Удаляем из рассматриваемого подмножества работ $h_3 = 4$ первых по цитированию и образуем очередную таблицу (табл. 4).

Из табл. 4 следует, что $h_4 = 3$, $S_4 = 9$ и $w_4 = 3$.

Дальнейшие шаги работы алгоритма приводят к тому, что таблица становится еще более простой. Далее их приводить не будем, а выпишем ряд получаемых величин:

$h_5 = 2$, $S_5 = 4$ и $w_5 = 2$;

$h_6 = 2$, $S_6 = 4$ и $w_6 = 2$;

$h_7 = 1$, $S_7 = 1$ и $w_7 = 1$;

$h_8 = 1$, $S_8 = 1$ и $w_8 = 1$;

$h_9 = 1$, $S_9 = 1$ и $w_9 = 1$.

Таблица 4. Ранжированные работы ученого после третьей итерации работы алгоритма

Номера работ в ранжированном списке											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Число цитирований каждой работы											
3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	0	0

Конечное значение w -индекса определяется как сумма промежуточных (см. формулу (4)):

$$w = \sum_{i=1}^k w_i = 17,875 + 7,333 + 5 + 3 + 2 + 2 + 1 + 1 + 1 = 40,208.$$

Таким образом, w -индекс учел все 227 цитирований ученого, тогда как h -индекс учел только 64 ссылки на его работы.

Из рис. 2 наглядно следует, что h -индекс никак не учитывает область цитирований над квадратом Хирша (область G_1), а также все цитирования $q-h_1$ работ автора.

Приведем здесь два примера, иллюстрирующих возможности учета при вычислении w -индекса числа цитирований из областей G и P .

Первый пример показывает, как w -индекс учитывает число цитирований из области G . Предположим, что некоторый ученый опубликовал за всю научную деятельность 5 работ, каждая из которых процитирована по 100 раз. В этом случае h -индекс этого ученого будет равен 5. При этом учтено будет 25 цитирований из 500. Рассчитаем w -индекс:

$$w = \frac{25 + 475}{5} = 100.$$

Таким образом, w -индекс показывает среднее число цитирований по отношению к числу публикаций. В данном случае этот показатель равен отношению числа цитирований (N) к числу опубликованных работ (q). Од-

нако для авторов с бóльшим числом публикаций, не цитируемых как минимум h раз, этот коэффициент дает более точную оценку.

Приведем второй пример, иллюстрирующий влияние числа цитирований из области P на показатель деятельности ученого. Предположим, что автор опубликовал 20 научных работ, каждая из которых процитирована по 10 раз. В этом случае h -индекс ученого будет равен 10. Будут учтены 100 ссылок на его работы из 200. Рассчитаем w -индекс:

$$w = w_1 + w_2 = \frac{100}{10} + \frac{100}{10} = 20.$$

В данном случае оценка, по нашему мнению, является более точной, так как охватывает область неучтенных при расчете h -индекса работ и их цитирований.

Заключение

Предложенный в настоящей работе w -индекс является простым и понятным и более точно в сравнении с h -индексом отражает «картину» деятельности ученых.

Так же как индекс Хирша, новый индекс сохраняет недостаток, связанный с необходимостью дополнительного учета самоцитируемых работ и не решает проблемы искусственного увеличения показателей («накрутки»). Тем не менее процедура «накрутки» гораздо меньше влияет на значение w -индекса, чем на значение h -индекса. Следует отметить еще один недостаток w -индекса, заключающийся в том, что при его подсчете на каждом этапе итерации осуществляется различное усреднение показателей цитируемости работ. Число цитирований работ из правой области цитируемости (см. рис. 1) может дать существенный вклад в значение w -индекса (являться более весомым, чем число цитирований первых h работ, не учтенных при подсчете индекса Хирша). По-видимому, возможны модификации w -индекса, учитывающие эту особенность. Например, может быть предложен w' -индекс, рассчитываемый не для всех цитируемых работ, а только для тех работ, которые процитированы не менее двух раз (или для работ, процитированных не менее t раз), или же w'' -индекс, рассчитываемый путем ограничения числа шагов итерации по предложенному алгоритму.

Несмотря на недостатки, w -индекс, в отличие от индекса Хирша, позволяет учесть проблему высокой цитируемости авторов с малым количеством работ, а также авторов с большим количеством малоцитируемых работ и, по нашему мнению, более точно отражает вклад ученого в развитие его предметной области наук.

Библиографический список

1. Новиков Д. А. Методология управления. – М. : Либроком, 2011. – 128 с.
2. Hirsch J. E. An Index to Quantify an Individual's Scientific Research Output // Proceedings of National Academy of Sciences of the USA. – 2005. – Vol. 102. – Issue 46. – Pp. 569–572. – doi.org/10.1073/pnas.0507655102.
3. Цыганов А. В. Краткое описание наукометрических показателей, основанных на цитируемости // Управление большими системами. – 2013. – № 44. – С. 248–261.
4. Штовба С. Д. Обзор наукометрических показателей для оценки публикационной деятельности ученого / С. Д. Штовба, Е. В. Штовба // Управление большими системами. – 2013. – № 44. – С. 262–278.

Valery V. Sapozhnikov
Vladimir V. Sapozhnikov

«Automation and Remote Control on Railways» department
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg

Dmitry V. Efanov
“LocoTech-Signal” LLC,
«Automation, Remote Control and Communication on Railway Transport»
Russian University of Transport, Moscow

The new approach for the scientists research index

The article proposes a new index for evaluating the scientist work, which fully takes into account the number of citations of all his works. Like the h-index a new index expressed as a single number. The index has a simple calculation algorithm and a clear geometric interpretation. Examples of calculating a new indicator are given and some features are indicated.

scientist performance assessment; author-level metrics; citation index; H-index.

References

1. Novikov D. A. (2011) Management methodology [Metodologiya upravleniya], Moscow, Librokom, 2011. – 128 p.
2. Hirsch J. E. (2005) An Index to Quantify an Individual's Scientific Research Output // Proceedings of National Academy of Sciences of the USA. – 2005. – Vol. 102. – Issue 46. – Pp. 569–572. – doi.org/10.1073/pnas.0507655102.
3. Tsyganov A. V. (2013) Brief review of main scientometric indices based on citations [Kratkoe opisanie naukometriceskih pokazatelej, osnovannyh na citiruemosti], Large-Scale Systems Control [Upravlenie bol'shimi sistemami], 2013, Issue 44. – Pp. 248–261.
4. Shtovba S. D., Shtovba E. V. (2013) A survey on scientometric indicators for assessment of researcher's publication activity [Obzor naukometriceskih pokazatelej dlya ocenki publi-kacionnoj deyatel'nosti uchenogo], Large-Scale Systems Control [Upravlenie bol'shimi sistemami], 2013, Issue 44. – Pp. 262–278.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Х. Христовым.
Поступила в редакцию 02.09.2019, принята к публикации 17.09.2019.*

САПОЖНИКОВ Валерий Владимирович – д-р техн. наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: port.at.pgups1@gmail.com

САПОЖНИКОВ Владимир Владимирович – д-р техн. наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: sapozhnikov-at@yandex.ru

ЕФАНОВ Дмитрий Викторович – д-р техн. наук, доцент, руководитель направления систем мониторинга и диагностики ООО «ЛокоТех-Сигнал», профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта.
e-mail: TrES-4b@yandex.ru

© Сапожников Вал. В., Сапожников В. В., Ефанов Д. В., 2019

Список статей, опубликованных в 2019 году

Автоматизация проектирования

- Василенко М. Н., Бубнов В. П., Булавский П. Е., Василенко П. А.* № 1,
Ошибки в технической документации железнодорожной автоматики и телемеханики и их влияние на безопасность движения поездов с. 94–112

В порядке дискуссии

- Герасименко П. В.* № 4,
Моделирование показателей результатов творческой деятельности ученого по его публикациям и их цитированиям с. 493–504

- Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В.* № 4,
Новый подход к расчету показателей деятельности ученых с. 505–514

Живучесть, надежность, безопасность

- Володарский В. А.* № 1,
Нахождение функций распределения при неполноте исходной информации об отказах устройств железнодорожной автоматики и телемеханики с. 7–17

- Смагин В. А., Бубнов В. П.* № 2,
Математическая модель детерминированных и случайных процессов в виде последовательного гиперфрактального распределения с. 145–159

Методы мониторинга в транспортных системах

- Зимовец А. И., Хомоненко А. Д.* № 2,
Обоснование выбора модели хранения данных для системы мониторинга космического пространства с. 221–232

- Костроминов А. М., Тюляндин О. Н.* № 4,
Динамическая диагностика средств радиочастотной идентификации системы бесконтактной привязки пути метрополитена с. 467–477

- Никитин А. Б., Шатохин В. А., Порошин А. А.* № 2,
Диагностика и мониторинг аккумуляторной батареи в устройствах электропитания железнодорожной автоматики и телемеханики с. 233–243

Мониторинг инфраструктуры транспортных систем

- Голюк В. П., Назаров Д. Г.* № 1,
Комплексный подход к геодезическому контролю укладки
асфальтобетонного покрытия на примере строительства
автодорожного мостового перехода через Керченский пролив с. 78–93

Системы автоматики и управления

- Гордон М. А.* № 1,
Особенности работы систем управления движением поездов
на станциях стыкования в Российской Федерации с. 62–77
- Засов В. А.* № 1,
Компенсация помех в приемниках сигналов автоматической
локомотивной сигнализации с. 32–44
- Никитин А. Б., Кушпиль И. В.* № 1,
Возможность внедрения цифровой радиосвязи и организации
передачи данных между станциями на малодеятельных линиях с. 45–61

Системы управления на транспорте

- Баранов Л. А.* № 4,
Беспилотная система управления движением поездов
как составляющая цифровизации городского транспорта с. 441–449
- Ковкин А. Н.* № 3,
Бесконтактное управление светофорами в системе
микропроцессорной централизации МПЦ-МПК с. 307–325
- Ковкин А. Н.* № 3,
Комплексная оценка технической эффективности силовой
аппаратуры микропроцессорных систем железнодорожной
автоматики с. 279–306
- Ковкин А. Н.* № 4,
Централизованный контроль исправности выключенных
светофорных ламп путем импульсного воздействия с. 450–466
- Никитин А. Б., Ковкин А. Н., Соколов В. А., Журавлева Н. А.* № 2,
Принципы безопасного сопряжения с объектами
в микропроцессорных системах железнодорожной автоматики с. 186–201
- Шаманов В. И.* № 2,
Проблемы электромагнитной совместимости рельсовых цепей
с тяговой сетью с. 160–185

Стандартизация и сертификация

- Марков Д. С., Наседкин О. А., Ургансков Д. И., Бутузов М. А.* № 4,
Виды испытаний систем железнодорожной автоматики с. 429–440
и телемеханики на работоспособность и безопасность.
Основные понятия и терминология

Техническая диагностика и контролепригодные системы

- Ефанов Д. В., Хорошев В. В.* № 3,
Бинарно-тернарные вопросники с. 391–422
- Мухонад Ю. Ф., Мухонад А. Ю., Пунсык-Намжилов Д. Ц.* № 2,
Структурная организация управляющих автоматов нового типа с. 244–255
для технических систем железнодорожной автоматики
- Сапожников Вал. В., Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В.* № 1,
Модифицированные модульные коды с суммированием взвешенных с. 113–138
разрядов с последовательностью весовых коэффициентов,
образующей натуральный ряд чисел
- Щагина В. А.* № 2,
Двухмодульные коды с суммированием для организации систем с. 256–274
автоматики с обнаружением неисправностей

Управление в технических системах

- Сперанский Д. В.* № 1,
Функциональный контроль линейных динамических систем с. 18–31
методом обращения

Эксплуатация транспортных систем

- Бушуев С. В., Попов А. Н., Попова М. Л.* № 2,
Оценка экономической эффективности средств контроля с. 202–220
свободности участков пути
- Костроминов А. М., Казакевич Е. В., Костроминов Ал-р А.,
Костроминов Ал-й А.* № 3,
Анализ частотных помех от нелинейных процессов в RLC-цепях с. 326–337
систем железнодорожной автоматики и телемеханики
- Манаков А. Д., Рахмонбердиев А. А.* № 3,
Воздействие перенапряжений на устройства железнодорожной с. 338–355
автоматики и телемеханики АО «Узбекистон темир йуллари»

Электронное моделирование

- Булавский П. Е., Ваисов О. К., Быстров И. Н.* № 4,
Моделирование и оценка времени поиска и устранения отказов с. 478–492
систем железнодорожной автоматики и телемеханики с помощью сетей Петри
- Булавский П. Е., Ваисов О. К.* № 3,
Моделирование процессов электронного документооборота с. 375–390
технической документации с помощью сетей Петри
- Лыков А. А., Марков Д. С., Соколов В. Б.* № 3,
Формализация моделей внешней среды в имитационных моделях с. 356–374
систем обеспечения жизненного цикла железнодорожной автоматики

List of articles published in 2019**Design Automation**

- Vasilenko M. N., Bubnov V. P., Bulavsky P. E., Vasilenko P. A.* No 1,
Errors in the technical documentation of railway automation and remote control and their impact on the safety of train traffic pp. 94–112

In discuss

- Gerasimenko P. V.* No 4,
Simulation of indicators of the scientist's creative activity results based on publications and their quotes pp. 493–504
- Sapozhnikov V. V., Sapozhnikov Vl. V., Efanov D. V.* No 4,
The new approach for the scientists research index pp. 505–514

Vitality, reliability, safety

- Volodarskiy V. A.* No 1,
Determination of the distribution functions parameters in the incompleteness of the initial information about failures of railway automation and remote control devices pp. 7–17
- Smagin V. A., Bubnov V. P.* No 2,
Mathematical model of determinated and random processes in the form of consistent hyperfractal distribution pp. 145–159

Monitoring methods in transport

- Zimovets A. I., Khomonenko A. D.* No 2,
The rationale for choosing a data storage model for a space monitoring system pp. 221–232
- Kostrominov A. M., Tiuliandin O. N.* No 4,
The dynamic diagnostics of radio frequency identification systems of non-contact binding to the underground track pp. 467–477
- Nikitin A. B., Shatokhin V. A., Poroshin A. A.* No 2,
Diagnostics and monitoring battery in power supply devices of railway automation and remote control pp. 233–243

Transport Infrastructure monitoring

- Goliuk V. P., Nazarov D. G.* No 1,
Integrated approach to the geodesic control of the installation
of asphalt-concrete coating on the example of the construction
of the road bridge transition through the Kerch sheet pp. 78–93

Automation and control systems

- Gordon M. A.* No 1,
Features of operation of train control systems at joining traction stations
in the Russian Federation pp. 62–77
- Zasov V. A.* No 1,
Compensation of noise in signal receivers automatic locomotive signaling pp. 32–44
- Nikitin A. B., Kushpil I. V.* No 1,
Investigation of the possibility of introduction of digital radio
communications and organization of data transfer between stations
at low-density lines pp. 45–61

Transport control systems

- Baranov L.A.* No 4,
Unmanned train traffic control system as a component of urban transport
digitalization pp. 441–449
- Kovkin A. N.* No 3,
Contactless signal control in computer based interlocking system
MPC-MPK pp. 307–325
- Kovkin A. N.* No 3,
Comprehensive assessment of the technical efficiency of computer based
railway automation systems power equipment pp. 279–306
- Kovkin A. N.* No 4,
Centralized health monitoring of switched off traffic lights by impulse
action pp. 450–466
- Nikitin A. B., Kovkin A. N., Sokolov V. A., Zhuravleva N. A.* No 2,
Principles of safe interface with objects in microprocessor systems
railway automation pp. 186–201
- Shamanov V. I.* No 2,
Problems of electromagnetic compatibility rail circuits with traction
network pp. 160–185

Standardization and certification

- Markov D. S., Nasedkin O. A., Urganskov D. I., Butuzov M. A.*
Types of tests of railway automation and remote control systems for operability and safety. Basic concepts and terminology No 4,
pp. 429–440

Technical diagnostics and controllable systems

- Efanov D. V., Khoroshev V. V.*
Binary-ternary questionnaires No 3,
pp. 391–422

- Mukhopad Yu. F., Mukhopad A. Yu., Punsik-Namzhirov D. C.*
Structural organization of control automata a new type of technical systems of railway automatics No 2,
pp. 244–255

- Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Efanov D. V.*
Modified modulo codes with weight-based bits summation with natural numbersequence of weight indexes No 1,
pp. 113–138

- Schagina V. A.*
Two-modulus sum code for automatic systems organization with errors detection No 2,
pp. 256–274

Management in technical systems

- Speranskiy D. V.*
Functional control of linear dynamic by system reversion method No 1,
pp. 18–31

Operation of transport systems

- Bushuev S. V., Popov A. N., Popova M. L.*
Cost-effectiveness assessment of means monitoring track vacancy No 2,
pp. 202–220

- Kostrominov A. M., Kazakevich E. V., Kostrominov Al-r A., Kostrominov Al-y A.*
Analysis of frequency interference from nonlinear processes in signaling systems RLC-circuits No 3,
pp. 326–337

- Manakov A. D., Rakhmonberdiev A. A.*
Influence of overvoltage on the railway automation and remote control devices of JSC «Uzbekistan temir yullari» No 3,
pp. 338–355

Electronic simulation

- Bulavskiy P. E., Vaisov O. K., Bystrov I. N.*
Modeling and evaluating the time of search and elimination of failures of railway automation and remote control systems by means of Petri nets No 4,
pp. 478–492

- Bulavskij P. E., Vaisov O. K.* No 3,
Modeling of electronic technical documentation management processes pp. 375–390
with the help of Petri nets
- Lykov A. A., Markov D. S., Sokolov V. B.* No 3,
Formalization of environmental models in simulation models of railway pp. 356–374
automation life cycle support systems

Подписано в печать с оригинал-макета 17.12.2019.
Формат 60×84¹/₈. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 6,375. Уч.-изд. л. 6,0. Установочный тираж 500 экз. Заказ 178.
Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО ПГУПС. 190031, СПб., Московский пр., 9.