

Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»  
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

---



# ТРАНСПОРТНЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Сборник материалов I международной  
научно-практической конференции  
«Транспортные интеллектуальные системы – 2017»  
(TIS-2017),  
Санкт-Петербург, 16–17 февраля 2017 г.

Санкт-Петербург  
2017

УДК 656.25+681.518.22  
ББК 32.965  
T65

**Транспортные интеллектуальные системы : сб. материалов I междунар. науч.-практич. конф. «Транспортные интеллектуальные системы – 2017» (TIS-2017), Санкт-Петербург, 16–17 февраля 2017 г. ; под. ред. Вал. В. Сапожникова, Д. В. Ефанова.– СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2017.– 314 с.**

ISBN 978-5-7641-0975-6

**Transport intelligent systems : proc. 1st int. scientific-practical conf. “Transport intelligent systems – 2017” (TIS-2017), St. Petersburg, 16–17 Feb. 2017 ; ed. Val. V. Sapozhnikov, D. V. Efanov.– St. Petersburg : Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university, 2017. – 314 p.**

Сборник охватывает основные направления развития информационных технологий преимущественно на железнодорожном транспорте. Рассмотрены как практические, так и теоретические аспекты развития информационных технологий на транспорте, в том числе техническая диагностика и непрерывный мониторинг устройств автоматики, электронное моделирование технологических процессов, особенности функционирования систем управления ответственными технологическими процессами, электронный документооборот, проблемы совершенствования методов управления, средств подвижного состава и инфраструктуры.

Материалы сборника могут быть полезны разработчикам современных транспортных систем управления, а также студентам высших учебных заведений, обучающимся по направлению «транспорт».

УДК 656.25+681.518.22  
ББК 32.965

ISBN 978-5-7641-0975-6

© ФГБОУ ВО ПГУПС, 2017

## **Редакционная коллегия**

Сапожников Вал. В.– главный редактор  
Ефанов Д. В.– заместитель главного редактора, научный редактор

## **Программный комитет**

Баранов Л. А. (Россия, МИИТ)  
Блюдов А. А. (Россия, ПГУПС)  
Бочков К. А. (Беларусь, БелГУТ)  
Булавский П. Е. (Россия, ПГУПС)  
Бушуев С. В. (Россия, УрГУПС)  
Василенко М. Н. (Россия, ПГУПС)  
Давитадзе З. (Грузия, Батумский государственный университет)  
Долгий И. Д. (Россия, РГУПС)  
Ефанов Д. В. (Россия, ПГУПС)  
Канаев А. К. (Россия, ПГУПС)  
Корниенко А. А. (Россия, ПГУПС)  
Кустов В. Ф. (Украина, УкрГАЖТ)  
Лыков А. А. (Россия, ПГУПС)  
Марков Д. С. (Россия, ПГУПС)  
Матросова А. Ю. (Россия, ТГУ)  
Мезитис М. (Латвия, РТУ)  
Мосин С. Г. (Россия, КФУ)  
Никищенков С. А. (Россия, СамГУПС)  
Сапожников Вал. В. (Россия, ПГУПС)  
Сапожников Вл. В. (Россия, ПГУПС)  
Тринкауф Й. (Германия, Технический университет Дрездена)  
Хаханов В. И. (Украина, ХНУРЭ)  
Ходаковский В. А. (Россия, ПГУПС)  
Хомоненко А. Д. (Россия, ПГУПС)  
Христов Х. (Болгария, Технический университет Софии)  
Шаманов В. И. (Россия, МИИТ)  
Швалов Д. В. (Россия, РГУПС)  
Убар Р. (Эстония, Таллинский технологический университет)  
Ху Ф. (Китай, Школа электротехники педагогического университета Цзянсу)  
Яшин М. Г. (Россия, ВИ (ЖДВ и ВОСО) ВАМТО)

## **Редакция сборника**

Ефанов Д. В.– ответственный секретарь  
Блюдов А. А.– переводчик  
Зинченко С. А.– литературный редактор и корректор  
Стуканова А. А.– верстка  
Скурутул А. М.– дизайн обложки

## **Editorial Team**

Sapozhnikov Valery V.– editor-in-chief  
Efanov Dmitry V.– deputy editor-in-chief scientific editor.

## **Program Committee**

Baranov Leonid A. (Russia, MIIT)  
Blyudov Anton A. (Russia, PSTU)  
Bochkov Kontantin A. (Belarus, BelGUT)  
Bulavsky Petr E. (Russia, ПГУПС)  
Bushuev Sergey V. (Russia, UrSTU)  
Vasilenko Mikhail N. (Russia, PSTU)  
Davitadze Zaza (Georgia, BSU)  
Dolgii` Igor` D. (Russia, RSTU)  
Efanov Dmitry V. (Russia, PSTU)  
Kanaev Andrey K. (Russia, PSTU)  
Kornienko Anatoly A. (Russia, PSTU)  
Kustov Victor F. (Ukraine, USRTA)  
Lykov Andrey A. (Russia, PSTU)  
Markov Dmitry S. (Russia, PSTU)  
Matrosova Anzhela Yu. (Russia, TSU)  
Mezitis Marek (Latvia, RTU)  
Mosin Sergey G. (Russia, KFU)  
Nikitin Alexander B. (Russia, PSTU)  
Nikishchenkov Sergey A. (Russia, SamSTU)  
Sapozhnikov Valery V. (Russia, PSTU)  
Sapozhnikov Vladimir V. (Russia, PSTU)  
Trinckauf Johann (Germany, DTU)  
Hahanov Vladimir I. (Ukraine, NURE)  
Hodakovskiy Valentin A. (Russia, PSTU)  
Homonenko Anatoly D. (Russia, PSTU)  
Khristov Khristo (Bulgaria, TU)  
Shamanov Victor I. (Russia, MIIT)  
Shvalov Dmitry V. (Russia, RSTU)  
Ubar Raimund (Estonia, TTU)  
Hu Funian (China, Jiangsu Normal University)  
Yashin Mikhail. G. (Russia, Military institute)

## **Staff**

Efanov Dmitry V.– executive secretary  
Bliudov Anton A. – translator  
Zinchenko Svetlana A.– editing and proofreading  
Stukanova Anna A.– layout  
Skurtul A. M.– cover design

# **СОДЕРЖАНИЕ**

## **Теория систем функционального контроля**

<i>Д. В. Ефанов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников</i>	
Особенности обнаружения ошибок на выходах комбинационных схем модифицированными взвешенными кодами с суммированием с последовательностью весовых коэффициентов, образующей натуральный ряд чисел . . . . .	11
<i>Д. В. Ефанов, В. А. Щагина</i>	
Анализ сложности технической реализации систем функционального контроля, организованных на основе двухмодульных кодов с суммированием по модулю 4 . . . . .	19
<i>Д. А. Никитин</i>	
Результаты экспериментов по анализу свойств обнаружения ошибок в контрольных комбинационных схемах модифицированными взвешенными кодами с суммированием с прямой последовательностью весовых коэффициентов . . . . .	32

## **Теория кодирования**

<i>А. В. Волынская</i>	
Результаты поиска комбинированных сигналов Баркера с базой больше 121 . . . . .	40

## **Электронное моделирование**

<i>Д. С. Марков, А. А. Лыков, В. Б. Соколов, Т. Ю. Константинова</i>	
Концепция и инструментальные средства динамического порционного моделирования сложных систем массового обслуживания . . . . .	49
<i>Г. Д. Дагдиян, Д. В. Швалов, Ю. В. Давыдов</i>	
Распознавание объектов топографической карты на основе сверточных нейронных сетей . . . . .	59
<i>В. О. Шарова</i>	
Моделирование пассажиропотока на станции «Киевская» Московского метрополитена . . . . .	67
<i>А. М. Горбачев</i>	
Формализация представления апериодических маршрутных расписаний наземного городского электрического транспорта . . . . .	74

## **Техническое диагностирование и непрерывный мониторинг**

<i>Г. А. Черезов, В. Б. Леушин, О. А. Кацюба</i>	
Математическая постановка задачи технического диагностирования аппаратуры тональных рельсовых цепей . . . . .	81
<i>А. Г. Сукиязов, Б. Н. Просянников</i>	
Использование переходного процесса тока обмотки коммутационных аппаратов для диагностики их технического состояния в процессе сервисного обслуживания . . . . .	87
<i>Д. В. Зуев, С. В. Бочкарёв, С. В. Белоусов, М. К. Селезнёва</i>	
Исследование методов анализа диагностической информации для выявления неисправностей стрелочного электропривода . . . . .	101
<i>А. Р. Зозуля</i>	
Совершенствование технологии мониторинга средствами аппаратно-программного комплекса диспетчерского контроля в петрозаводской дистанции сигнализации, централизации и блокировки . . . . .	110

## **Железнодорожные станции и узлы**

<i>Н. Н. Романов, Р. А. Пантелейев, М. Г. Яшин</i>	
Методика оценки пропускной способности станции . . . . .	116
<i>А. В. Сугоровский, Ан. В. Сугоровский</i>	
Реконструкция железнодорожных станций в связи с укладкой второго главного пути на перегоне Заневский пост – Ржевка . . . . .	124

## **Логистика**

<i>Н. А. Гончарова</i>	
Повышение ритмичности работы мультимодальных терминальных комплексов путем сглаживания внутрисуточной неравномерности входящего потока автотранспорта . . . . .	131

## **Подвижной состав**

<i>К. К. Ким, С. Н. Иванов</i>	
Интеллектуальная система управления электроотоплением пассажирского вагона. . . . .	138
<i>О. С. Аблялимов</i>	
Исследование эффективности перевозочной работы тепловозов 3ТЭ10М и тяговые качества профиля пути участка мароканд – навои в условиях эксплуатации . . . . .	150

## **Проблемы систем управления**

<i>А. Д. Манаков, Ю. М. Пашаев</i>	
Методика оценки опасности удара молнии . . . . .	162
<i>И. Э. Кудашев, С. В. Власенко</i>	
Перспективы развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики метрополитенов на современном этапе . . . . .	169
<i>В. А. Грошиев</i>	
Принципы построения систем управления движением на высокоскоростных магистралях . . . . .	176
<i>А. Б. Никитин, И. В. Кушиль</i>	
Упрощенные принципы управления движения поездов на малодеятельных линиях железных дорог мира . . . . .	181
<i>Яицкий И. А.</i>	
Учет тепловыделения в системах управления движением поездов на станциях . . . . .	189
<i>М. Г. Яшин</i>	
Предложения по бесперебойному энергообеспечению устройств автоматики и телемеханики . . . . .	194
<i>В. Е. Максаков</i>	
Применение нечеткого логического вывода в задачах планирования технического обслуживания и ремонта специальной техники железнодорожных войск . . . . .	201

## **Стандартизация и сертификация**

<i>Г. И. Кожомбердиева, Д. П. Бураков</i>	
Получение интегральной оценки качества программного обеспечения на основе формулы Байеса . . . . .	209

<i>E. O. Смирнова, H. O. Смирнов</i>	
Концептуальная модель экологического стандарта для Российской Федерации по проектированию и эксплуатации дорог . . . . .	221
<b>Электротехника</b>	
<i>Б.Х. Хушбоков</i>	
Погрешность широкодиапазонных трансформаторов тока . . . . .	227
<i>Б.Х. Хушбоков, У.А. Эшкувватов</i>	
Широкодиапазонные трансформаторы тока с бесконтактным регулированием . . . . .	240
<b>Электронный документооборот</b>	
<i>M. Н. Василенко, Д. В. Зуев, Д. В. Седых, П. А. Василенко</i>	
Интеллектуальная система электронного документооборота в хозяйстве железнодорожной автоматики и телемеханики . . . . .	247
<i>Д. В. Зуев, Д. В. Седых, И. С. Горшков</i>	
Обмен технической документацией между заказчиком и проектировщиком . . . . .	255
<i>M. А. Гордон, Р. А. Ковалев, Д. В. Седых</i>	
Технология автоматизированного синтеза таблицы зависимости положения стрелок и показаний светофоров . . . . .	261
<i>A. А. Матушев, Д. В. Седых, И. С. Ушаков</i>	
Формирование модели схемных решений систем железнодорожной автоматики и телемеханики из принципиальных схем . . . . .	269
<b>Геоинформатика</b>	
<i>H. А. Богданов, А. А. Никитчин</i>	
Разработка концепции геоинформационной системы для эффективного управления работой структурных подразделений ОАО «РЖД» . . . . .	278
<b>Техносферная безопасность</b>	
<i>B. В. Хорошев</i>	
Электронная система контроля безопасности работника на железнодорожных путях	285
<b>Методы обучения</b>	
<i>A. А. Блюдов</i>	
Разработка лабораторной установки для изучения микроэлектронной техники в курсе «Теоретические основы автоматики и телемеханики» . . . . .	293
<i>B. В. Денисов</i>	
Активизация познавательной деятельности в процессе обучения . . . . .	302
<i>B. В. Гарбарук, В. К. Котов, В. И. Родин</i>	
Математическая подготовка студентов электротехнических специальностей . . . . .	309
Авторы . . . . .	314

# **CONTENTS**

## **Concurrent error detection systems theory**

*D. V. Efanov, Val. V. Sapozhnikov, Vl. V. Sapozhnikov*

Features of error detection on the combinational circuits outputs by modified weighted codes with summation with natural numbers weight indexes sequence ..... 11

*D. V. Efanov, V. A. Schagina*

Analysis of complexity of concurrent error detection system based on use of two-modulo codes with summation by modulo 4 technical realization ..... 19

*D. A. Nikitin*

Results with error detection properties of modified weight-based codes with summation with direct weight coefficient sequence in test combinational circuits ..... 32

## **Coding Theory**

*A. V. Volynskaya*

Results of search of combined Barker signals with base more than 121 ..... 40

## **Electronic simulation**

*D. S. Markov, A. A. Lykov, V. B. Sokolov, T. Yu. Konstantinova*

Concept and tools of dynamic portion modeling of complex mass service systems ..... 49

*G. D. Dagldiyian, D. V. Shvalov, Y. V. Davydov*

Recognition of topographic map objects based on convolution neural networks ..... 59

*V. O. Sharova*

Simulation of passenger traffic on the Moscow subway station “Kievskaya” ..... 67

*A. M. Gorbachev*

Formalization of presentation of ground urban electric transport  
aperiodic schedules ..... 74

## **Technical diagnostics and continuous monitoring**

*G. A. Cherezov, V. B. Leushin, O. A. Katsyuba*

Mathematical formulation of the problem of voice frequency track circuits technical  
diagnostics ..... 81

*A. G. Sukijazov, B. N. Prosjannikov*

Use of transition process of switching devices coil current for their technical state  
diagnostics during maintenance ..... 87

*D. V. Zuev, S. V. Bochkarev, S. V. Belousov, M. K. Seleznjova*

Research of diagnostic information analysis methods for point machine fault detection ... 101

*A. R. Zozulia*

Improvement of the health monitoring technology by the means of hardware-software complex of supervisory control in Petrozavodsk signaling department ..... 110

## **Railway stations and junctions**

*N. N. Romanov, R. A. Panteleev, M. G. Yashin*

Method of station train traffic capacity estimation ..... 116

<i>A. V. Sugorovsky, A. V. Sugorovsky</i>	
Reconstruction of railway stations due to installation of second main track on line Zanevskiy Post – Rzhevka . . . . .	124

## **Logistics**

<i>N. A. Goncharova</i>	
Reducing the diurnal unevenness of vehicle input flow as a way to increase the rhythmicity of multimodal terminal processes . . . . .	131

## **Rolling stock**

<i>K. K. Kim, S. N. Ivanov</i>	
Intellectual control system the heating of the passenger train . . . . .	138
<i>O. S. Ablyalimov</i>	
Research of locomotives 3TE10M transportation works effectiveness and traction characteristics of track profile of Marokand-Navoi line in operation conditions . . . . .	150

## **Problems of control systems**

<i>A. D. Manakov, Yu. M. Pashaev</i>	
Method of lightning strike danger estimation . . . . .	162
<i>I. E. Kudashev, S. V. Vlasenko</i>	
Perspectives of subway railway automation and remote control systems development at the present stage . . . . .	169
<i>V. A. Groshev</i>	
Principles of train traffic control systems on high speed lines. . . . .	176
<i>A. B. Nikitin, I. V. Kushpil'</i>	
Simplified train control methods for low-density lines of railways of the world . . . . .	181
<i>I. A. Yaitsky</i>	
Accounting of heat in station train traffic control systems . . . . .	189
<i>M. G. Yashin</i>	
Proposals for uninterrupted power supply of automation and remote control devices . . . . .	194
<i>V. E. Maksakov</i>	
Use of fuzzy interference in the tasks of maintenance and repair of special railway troops technique planning . . . . .	201

## **Standardization and certification**

<i>G. I. Kozhomberdieva, D. P. Burakov</i>	
Obtaining of integral evaluation of quality of software based on Bayes formula . . . . .	209
<i>E. O. Smirnova, N. O. Smirnov</i>	
Conceptual model of Russian ecological standard for design and operation of roads . . . . .	221

## **Electrical Engineering**

<i>B. Kh. Hushbokov</i>	
Error of broadband current transformers . . . . .	227
<i>B. Kh. Hushbokov, U. A. Eshkuvvatov</i>	
Broadband current transformers with contactless control . . . . .	240

## **Electronic document management**

<i>M. N. Vasilenko, D. V. Zuev, D. V. Sedykh, P. A. Vasilenko</i>	
Intelligent system of electronic document management in railway automation and remote control . . . . .	247
<i>D. V. Zuev, D. V. Sedykh, I. S. Gorshkov</i>	
Technical documentation exchange between customer and designer . . . . .	255
<i>M. A. Gordon, R. A. Koval'ov, D. V. Sedykh</i>	
Technology of automated synthesis of points and signals dependence table . . . . .	261
<i>A. A. Matushev, D. V. Sedykh, I. S. Ushakov</i>	
Formation of model of railway automation and remote control systems technical solutions based on circuit diagrams . . . . .	269

## **Geoinformatics**

<i>N. A. Bogdanov, A. A. Nikitchin</i>	
Development of concept of geoinformation system for effective control of structural units of JSC "RZD" . . . . .	278

## **Technosphere safety**

<i>V. V. Horoshev</i>	
Electronic system of worker safety provision on railway tracks . . . . .	285

## **Teaching methods**

<i>A. A. Blyudov</i>	
Design of laboratory facility for microelectronic appliances study in the course of „Theoretical base of automatics and remote control“ . . . . .	293
<i>V. V. Denisov</i>	
Development of cognitive activity activation in training process. . . . .	302
<i>V. V. Garbaruk, V. K. Kotov, V. I. Rodin</i>	
Math training of electrical engineering students . . . . .	309
Authors. . . . .	314

# *Теория систем функционального контроля*

УДК 681.518.5:004.052.32

## **ОСОБЕННОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ОШИБОК НА ВЫХОДАХ КОМБИНАЦИОННЫХ СХЕМ МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ВЗВЕШЕННЫМИ КОДАМИ С СУММИРОВАНИЕМ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬЮ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ, ОБРАЗУЮЩЕЙ НАТУРАЛЬНЫЙ РЯД ЧИСЕЛ**

**Д. В. Ефанов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников**

В эксперименте с набором контрольных комбинационных схем *LGSynth`89* анализируются свойства модифицированных взвешенных кодов с суммированием с последовательностью весовых коэффициентов, образующей натуральный ряд чисел. Показано, что за счет изменения правил вычисления поправочного коэффициента при модификации кода можно влиять на показатели обнаружения ошибок в системах функционального контроля комбинационных логических схем.

**Ключевые слова:** система функционального контроля; код Бергера; модифицированный взвешенный код Бергера; обнаружение ошибок.

## **Введение**

При организации самопроверяемых схем встроенного контроля (систем функционального контроля [1, 2]) находят применение разделимые коды, или  $(m, k)$ -коды ( $m$  и  $k$  – длина информационных и контрольных векторов), с небольшой избыточностью и с возможностью обнаружения ошибок в информационных векторах [3–6]. Одним из перспективных кодов для систем функционального контроля является модифицированный взвешенный код с суммированием, последовательность весовых коэффициентов информационных разрядов которого образует натуральный ряд чисел, начиная с младшего контрольного разряда [7]. Данный код имеет минимальное общее количество необнаруживаемых ошибок в информационных векторах при заданных значениях  $m$  и  $k = \lceil \log_2(m+1) \rceil$ , к тому же, в отличие от классических кодов Бергера [8], обнаруживает гораздо большее количество ошибок с малыми кратностями  $d$ .

Модифицированный взвешенный код с суммированием строится по следующему правилу [7]. В разряды контрольного вектора записывается значение модифицированного веса информационного вектора, получаемое по формуле

$$W = V(\text{mod } M) + \alpha M, \quad (1)$$

где  $V$  – сумма весовых коэффициентов единичных информационных разрядов;  $V(\text{mod } M)$  – значение наименьшего неотрицательного вычета веса информационного вектора кода по модулю  $M = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil - 1}$ ;  $\alpha$  – специальный поправочный коэффициент, вычисляемый как сумма по модулю «два» заранее установленных разрядов в информационном векторе.

Обозначим далее рассматриваемый класс кодов как  $RWS(m,k)$ -коды. Следует отметить, что модификация по правилу (1) взвешенного кода с суммированием – это улучшение модификации кода Бергера, предложенной в [9, 10].

В [11] предложено при вычислении коэффициента  $\alpha$  суммировать по модулю «два» значения только тех разрядов, которые занимают четные позиции в информационном векторе. Это дает возможность построить код с суммированием со свойством идентификации любых искажений с нечетными кратностями в информационных векторах (таким же свойством, например, обладают известные коды Бергера [12]). Тем не менее, при вычислении поправочного коэффициента в общем случае могут суммироваться любые разряды информационного вектора, а количество способов образования кода равно

$$N = \sum_{i=1}^m C_m^i = 2^m - 1.$$

Данная работа посвящена изложению результатов исследования влияния правил вычисления поправочного коэффициента  $\alpha$  при модификации взвешенного кода на характеристики обнаружения им ошибок в информационных векторах. С этой целью проведена серия экспериментов с системой контрольных комбинационных схем LGSynth'89 [13].

## Эксперименты с контрольными комбинационными схемами

При построении системы функционального контроля некоторого логического устройства  $F(x)$  его выходы отождествляются с информационным вектором  $(m,k)$ -кода, а контрольное оборудование строится исходя из правил вычисления разрядов контрольных векторов выбранного кода. Таким образом, выбранный на этапе проектирования системы функционального контроля  $(m,k)$ -код напрямую определяет характеристики обнаружения ошибок

на выходах контролируемого устройства, а также в немалой степени влияет на архитектуру контрольного оборудования [14, 15].

В ходе экспериментов с системой контрольных комбинационных схем необходимо было определить, как изменяются характеристики обнаружения ошибок на выходах контрольных комбинационных схем с изменением правил вычисления поправочного коэффициента  $\alpha$ . Решение данной задачи стало возможным благодаря разработке научной группой кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I специализированного программного модуля, позволяющего симулировать одиночные константные неисправности (*stuck-at fault*) на выходах логических элементов комбинационных схем и фиксировать их проявления на выходах с последующей классификацией на обнаруживаемые и необнаруживаемые ошибки различных видов (одиночных, монотонных, симметричных и асимметричных) и различной кратностью.

Для набора контрольных комбинационных схем LGSynth'89 с небольшим количеством выходов ( $m \leq 15$ ) были поставлены эксперименты по влиянию выбора правил построения  $RWS(m,k)$ -кодов на характеристики систем функционального контроля.

Для примера в таблице представлены результаты симулирования неисправностей в контрольной схеме «*ct163a*», имеющей 5 выходов. Были перебраны все варианты образования коэффициента  $\alpha$  и зафиксированы характеристики получаемых  $RWS(m,k)$ -кодов. Из таблицы следует, что выбор правил вычисления поправочного коэффициента носит фундаментальный характер. Так, ровно половина получаемых кодов не является помехоустойчивой и не обнаруживает существенное количество одиночных ошибок в информационных векторах. Это связано с тем, что при вычислении поправочного коэффициента для непомехоустойчивых кодов не было учтено значение разряда  $f_4$  (его вес равен значению модуля, что при вычислении значения наименьшего неотрицательного вычета суммарного веса приводит к отсутствию контроля значения данного разряда). Другая же половина  $RWS(m,k)$ -кодов является помехоустойчивой и в зависимости от правил вычисления поправочного коэффициента имеет различные распределения необнаруживаемых ошибок по видам и кратностям.

**Утверждение 1.**  $RWS(m,k)$ -код будет помехоустойчивым в том и только в том случае, если при вычислении поправочного коэффициента  $\alpha$  будет задействован разряд информационного вектора с весом  $M = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil - 1}$ .

**Утверждение 2.** Для данной длины информационного вектора существует следующее количество способов построения помехоустойчивых  $RWS(m,k)$ -кодов:

$$N_{RWS(m,k)} = 2^{m-1}. \quad (3)$$

**Результаты анализа характеристик обнаружения ошибок на выходах схемы «ст163α»**

Правила вычисления оэффициента $\alpha$	Всего необнаруживаемых ошибок	Распределение необнаруживаемых ошибок по видам			Распределение необнаруживаемых ошибок по кратностям $d$					
		Одиночные	Монотонные	Симметричные	Асимметричные	1	2	3	4	5
$\alpha = f_1$	267456	228800	38656	0	0	228800	20288	18368	0	0
$\alpha = f_2$	267712	228800	38656	256	0	228800	20544	18368	0	0
$\alpha = f_1 \oplus f_2$	267456	228800	38656	0	0	228800	20288	18368	0	0
$\alpha = f_3$	229056	228800	0	256	0	228800	256	0	0	0
$\alpha = f_1 \oplus f_3$	228800	228800	0	0	0	228800	0	0	0	0
$\alpha = f_2 \oplus f_3$	229056	228800	0	256	0	228800	256	0	0	0
$\alpha = f_1 \oplus f_2 \oplus f_3$	228800	228800	0	0	0	228800	0	0	0	0
$\alpha = f_4$	20544	0	20288	256	0	0	20544	0	0	0
$\alpha = f_1 \oplus f_4$	20288	0	20288	0	0	0	20288	0	0	0
$\alpha = f_2 \oplus f_4$	20544	0	20288	256	0	0	20544	0	0	0
$\alpha = f_1 \oplus f_2 \oplus f_4$	20288	0	20288	0	0	0	20288	0	0	0
$\alpha = f_3 \oplus f_4$	18624	0	18368	256	0	0	256	18368	0	0
$\alpha = f_1 \oplus f_3 \oplus f_4$	18368	0	18368	0	0	0	0	18368	0	0
$\alpha = f_2 \oplus f_3 \oplus f_4$	18624	0	18368	256	0	0	256	18368	0	0
$\alpha = f_1 \oplus f_2 \oplus f_3 \oplus f_4$	18368	0	18368	0	0	0	0	18368	0	0
Всего ошибок на выходах схемы	1238976	987648	233664	10368	7296	987648	132096	79680	21824	64

**Продолжение таблицы**

$\alpha = f_5$	228800	228800	0	0	0	228800	0	0	0	0	0
$\alpha = f_1 \oplus f_5$	229056	228800	0	256	0	228800	256	0	0	0	0
$\alpha = f_2 \oplus f_5$	228800	228800	0	0	0	228800	0	0	0	0	0
$\alpha = f_1 \oplus f_2 \oplus f_5$	229056	228800	0	256	0	228800	256	0	0	0	0
$\alpha = f_3 \oplus f_5$	267456	228800	38656	0	0	228800	20288	18368	0	0	0
$\alpha = f_1 \oplus f_3 \oplus f_5$	267712	228800	38656	256	0	228800	20544	18368	0	0	0
$\alpha = f_2 \oplus f_3 \oplus f_5$	267456	228800	38656	0	0	228800	20288	18368	0	0	0
$\alpha = f_1 \oplus f_2 \oplus f_3 \oplus f_5$	267712	228800	38656	256	0	228800	20544	18368	0	0	0
$\alpha = f_4 \oplus f_5$	18368	0	18368	0	0	0	0	18368	0	0	0
$\alpha = f_1 \oplus f_4 \oplus f_5$	18624	0	18368	256	0	0	256	18368	0	0	0
$\alpha = f_2 \oplus f_4 \oplus f_5$	18368	0	18368	0	0	0	0	18368	0	0	0
$\alpha = f_1 \oplus f_2 \oplus f_4 \oplus f_5$	18624	0	18368	256	0	0	256	18368	0	0	0
$\alpha = f_3 \oplus f_4 \oplus f_5$	20288	0	20288	0	0	0	20288	0	0	0	0
$\alpha = f_1 \oplus f_3 \oplus f_4 \oplus f_5$	20544	0	20288	256	0	0	20544	0	0	0	0
$\alpha = f_2 \oplus f_3 \oplus f_4 \oplus f_5$	20288	0	20288	0	0	0	20288	0	0	0	0
$\alpha = f_1 \oplus \dots \oplus f_5$	20544	0	20288	256	0	0	20544	0	0	0	0
Всего ошибок на выходах схемы	1238976	987648	233664	10368	7296	987648	132096	79680	21824	64	

Следует отметить, что все помехоустойчивые  $RWS(m,k)$ -коды гораздо эффективнее обнаруживают симметричные ошибки на выходах контрольных комбинационных схем, чем коды Бергера, но гораздо хуже обнаруживают монотонные ошибки. Это и есть главный их недостаток: применение  $RWS(m,k)$ -кодов эффективно в том случае, если доминирующее положение имеют симметричные ошибки или монотонные ошибки с большой кратностью.

Установленные закономерности характерны для всех рассмотренных контрольных комбинационных схем.

## Выводы

В работе показано, что класс помехоустойчивых  $RWS(m,k)$ -кодов, предложенных в [11], гораздо шире, чем просто один способ вычисления поправочного коэффициента  $\alpha$ . Более того, могут быть построены  $2^{m-1}$  помехоустойчивых  $RWS(m,k)$ -кода, обладающие различными характеристиками обнаружения ошибок в информационных векторах. Класс  $RWS(m,k)$ -кодов, однако, до конца не изучен (например, из таблицы ясно, что некоторые распределения необнаруживаемых ошибок повторяются при различных правилах вычисления поправочного коэффициента). Дальнейшие исследования модифицированных взвешенных кодов с суммированием с последовательностью весовых коэффициентов разрядов информационных векторов, образующей натуральный ряд чисел, будут направлены на анализ особенностей распределений необнаруживаемых ошибок при вариациях в правилах вычисления поправочного коэффициента, а также на анализ структурной избыточности систем функционального контроля.

## Библиографический список

1. Дрозд А. В. Рабочее диагностирование безопасных информационно-управляющих систем / А. В. Дрозд, В. С. Харченко, С. Г. Антощук и др. ; под ред. А. В. Дрозда, В. С. Харченко. – Харьков : Нац. аэрокосмический ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», 2012.– 614 с.
2. Зеленая ИТ-инженерия. В 2 т. Т. 1. Принципы, модели, компоненты / под ред. В. С. Харченко. – Харьков : Нац. аэрокосмический ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», 2014.– 594 с.
3. McCluskey E. J. Logic Design Principles : With Emphasis on Testable Semicustom Circuits / E. J. McCluskey. – NJ : Prentice Hall PTR, 1986. – 549 р.
4. Согомонян Е. С. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы / Е. С. Согомонян, Е. В. Слабаков. – М. : Радио и связь, 1989. – 207 с.
5. Сапожников Вал. В. Самопроверяемые дискретные устройства / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 224 с.

6. Fujiwara E. Code Design for Dependable Systems : Theory and Practical Applications / E. Fujiwara. – John Wiley & Sons, 2006. – 720 p.
7. Efanov D. Sum Code Formation with Minimum Total Number of Undetectable Errors in Data Vectors / D. Efanov, Val. Sapozhnikov, Vi. Sapozhnikov, D. Nikitin // Proc. 13th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTs'2015), Batumi, Georgia, Sept. 26–29, 2015. – Batumi, 2015. – P. 141–148. DOI: 10.1109/EWDTs.2015.7493112.
8. Berger J. M. A Note on Error Detection Codes for Asymmetric Channels / J. M. Berger // Inf. and Control. – 1961. – Vol. 4, Is. 1. – P. 68–73.
9. Mehov V. Concurrent Error Detection Based on New Code with Modulo Weighted Transitions between Information Bits / V. Mehov, Val. Sapozhnikov, Vi. Sapozhnikov, D. Urganskov // Proc. 7th IEEE East-West Design & Test Workshop (EWDTW'2007), Erevan, Armenia, Sept. 25–30, 2007. – Erevan, 2007. – P. 21–26.
10. Мехов В. Б. Контроль комбинационных схем на основе модифицированных кодов с суммированием / В. Б. Мехов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2008. – № 8. – С. 153–165.
11. Efanov D. On One Method of Formation of Optimum Sum Code for Technical Diagnostics Systems / D. Efanov, Val. Sapozhnikov, Vi. Sapozhnikov // Proc. 14th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTs'2016), Yerevan, Armenia, Oct. 14–17, 2016. – Yerevan, 2016. – P. 158–163.
12. Ефанов Д. В. О свойствах кода с суммированием в схемах функционального контроля / Д. В. Ефанов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2010. – № 6. – С. 155–162.
13. Collection of Digital Design Benchmarks. – URL: <http://ddd.fit.cvut.cz/prj/Benchmarks>.
14. Дмитриев В. В. О двух способах взвешивания и их влиянии на свойства кодов с суммированием взвешенных переходов в системах функционального контроля логических схем / В. В. Дмитриев // Изв. ПГУПС. – 2015. – Вып. 3. – С. 119–129.
15. Сапожников Вал. В. Модульные коды с суммированием в системах функционального контроля. II. Уменьшение структурной избыточности систем функционального контроля / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, М. Р. Черепанова // Электронное моделирование. – 2016. – Т. 38, № 3. – С. 47–61.

## **Features of error detection on the combinational circuits outputs by modified weighted codes with summation with natural numbers weight indexes sequence**

Dmitry V. Efanov, Valery V. Sapozhnikov, Vladimir V. Sapozhnikov

*„Automation and remote control on railways“ department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

Properties of modified weighted codes with summation with natural numbers weight indexes sequence are analyzed using experiments with benchmark set LGSynth'89. Author shows that change of rules of correction coefficient calculation has an influence on

error detection properties of combinational logical circuits concurrent error detection systems.

**Keywords:** concurrent error detection system; Berger code; modified weighted Berger code; error detection.

## Сведения об авторах

*ЕФАНОВ Дмитрий Викторович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* TrES-4b@yandex.ru

*САПОЖНИКОВ Валерий Владимирович* – доктор технических 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* – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* sapozhnikov-at@yandex.ru

© Ефанов Д. В., Сапожников Вал. В., Сапожников Вл. В., 2017

# АНАЛИЗ СЛОЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ, ОРГАНИЗОВАННЫХ НА ОСНОВЕ ДВУХМОДУЛЬНЫХ КОДОВ С СУММИРОВАНИЕМ ПО МОДУЛЮ 4

Д. В. Ефанов, В. А. Щагина

Описана новая модификация кода с суммированием единичных информационных разрядов, основанная на разбиении информационного вектора на группы контроля по модулю 4. Получаемый таким образом код всегда будет иметь 4 контрольных разряда, его можно сравнить с кодом Бергера и с некоторыми известными модифицированными кодами при длине информационных векторов  $m = 8-15$ . На данных длинах информационных векторов описываемый код будет иметь существенное преимущество как в обнаруживающей способности, так и в сложности технической реализации системы функционального контроля. Это делает представленный код перспективным для решения задач технической диагностики.

**Ключевые слова:** техническая диагностика; система функционального контроля; код Бергера; код с суммированием; единичный разряд; модуль 4; двухмодульный код с суммированием; свойство обнаружения ошибок; сложность технической реализации; структурная избыточность.

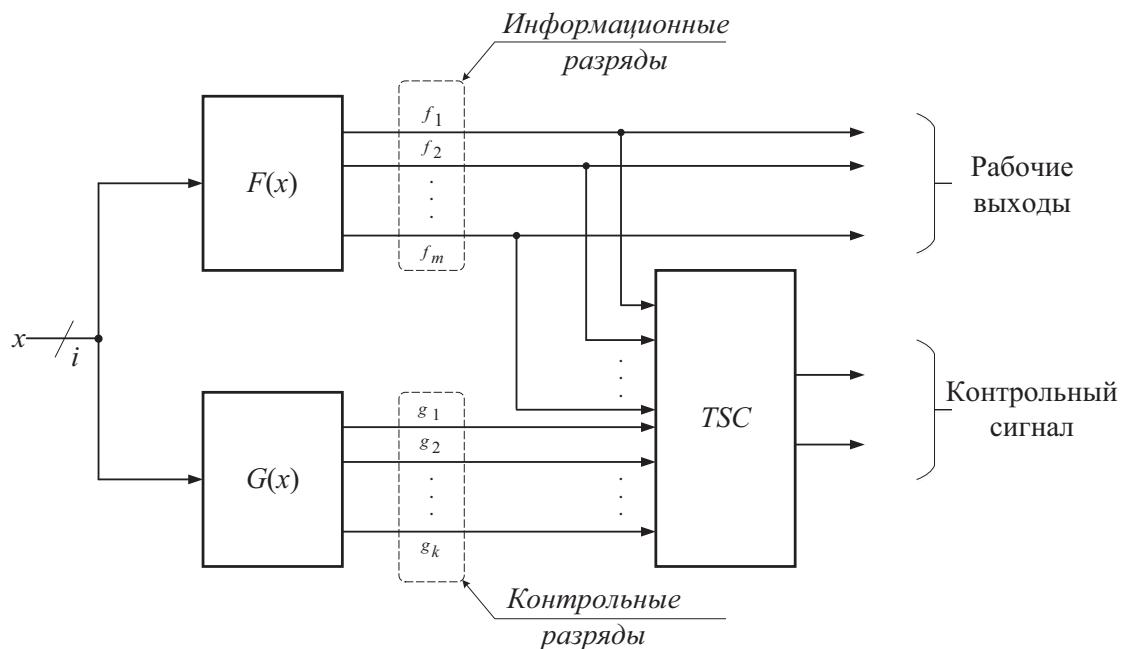
## Введение

Задачей функционального (рабочего) диагностирования является определение технического состояния контролируемого объекта без отключения от объектов управления. При организации систем функционального контроля часто применяются помехоустойчивые коды с небольшой избыточностью и с простыми правилами построения [1, 2]. Это позволяет делать устройства с небольшими аппаратурными затратами. Использование систем функционального контроля позволяет выявлять неисправности в работе дискретного устройства, однако ценой такой возможности обнаружения ошибок является сложность технической реализации системы контроля.

Часто при построении систем функционального контроля используются классические и модифицированные коды с суммированием [3–5]. В статье рассматривается новый код с суммированием, более близкий к оптимальному коду [6] и превосходящий по характеристикам обнаружения ошибок классический код Бергера [7] и некоторые модифицированные коды, например модифицированные коды с суммированием единичных разрядов [8, 9].

## 1. Коды с суммированием в системах функционального контроля

На рис. 1 приведена структурная схема системы функционального контроля. Исходная комбинационная схема  $F(x)$ , имеющая  $i$  входов, реализует систему булевых функций  $f_1, f_2, \dots, f_m$ . Она дополняется специализированной схемой контроля в составе блоков  $G(x)$  и  $TSC$ .  $G(x)$  – блок контрольной логики, который вычисляет функции  $g_1, g_2, \dots, g_k$ , что позволяет на выходе блока  $TSC$  сформировать кодовые слова  $\langle f_1 f_2 \dots f_m g_1 g_2 \dots g_k \rangle$  кода с суммированием. Принадлежность этих векторов выбранному коду как раз и фиксируется с помощью тестера  $TSC$  (totally self-checking checker) [10]. При возникновении неисправностей в блоке  $F(x)$  или  $G(x)$  искажаются значения разрядов кодового слова  $\langle f_1 f_2 \dots f_m g_1 g_2 \dots g_k \rangle$ , что определяется тестером.



**Рис. 1.** Структурная схема системы функционального контроля

В структуре, представленной на рис. 1, блоки  $F(x)$ ,  $G(x)$  и  $TSC$  реализуются раздельными схемами. При таком построении одновременное возникновение одиночных неисправностей в обоих блоках невозможно [5]. Тестер, который является «последним сторожем» в системе функционального контроля, должен быть самопроверяемым и обнаруживать собственные неисправности хотя бы на одном входном наборе. Задача функционального контроля состоит в обнаружении любых одиночных неисправностей в блоке  $F(x)$ , внутренняя конфигурация связей между логическими элементами которого может привести к возникновению искажений различных кратностей в значениях разрядов выходного вектора.

Разные коды с суммированием обладают разными свойствами обнаруживать ошибки в информационных векторах и позволяют строить системы с разными техническими характеристиками [11, 12].

## 2. Анализ свойств классических и модифицированных кодов с суммированием

Код Бергера строится по следующим правилам.

**Алгоритм 1.** Получение контрольных векторов кода Бергера:

1. Определяется вес информационного вектора  $r$ , т. е. алгебраическая сумма единичных информационных разрядов;

2. Полученное число представляется в двоичном виде и записывается в разряды контрольного вектора.

Таким образом, число контрольных разрядов в коде Бергера вычисляется по формуле  $k = \lceil \log_2(m+1) \rceil$  (запись  $\lceil \dots \rceil$  обозначает целое сверху от вычисляемого значения).

Далее будем обозначать код Бергера как  $S(m,k)$ -код, где  $m$  – длина информационного вектора,  $k$  – длина контрольного вектора.

В  $S(m,k)$ -коде один и тот же контрольный вектор соответствует всем информационным векторам с одинаковым весом. Для определенного значения  $r$  это  $C_m^r$  информационных векторов. С увеличением  $r$  число информационных векторов, соответствующих одному и тому же контрольному вектору, увеличивается, достигая своего максимума при  $\frac{m}{2}$  для четного  $m$  и при  $\frac{(m-1)}{2}$  – для нечетного  $m$ , а затем уменьшается. Такое распределение информационных векторов между контрольными векторами приводит к тому, что  $S(m,k)$ -кодом не обнаруживается достаточно большое количество ошибок в информационных векторах. При низком значении обнаруживающей способности все  $S(m,k)$ -коды имеют также низкую эффективность обнаружения ошибок малых кратностей: они не обнаруживают 50 % двукратных, 37,5 % четырехкратных, 31,25 % шестикратных ошибок и т. д. [5].

Для улучшения свойств кода Бергера используются его модификации. Одной из таких модификаций является модифицированный код с суммированием единичных разрядов [6], правила получения которого описаны ниже. Обозначим такой код как  $RS(m,k)$ -код.

**Алгоритм 2.** Получение контрольных векторов  $RS(m,k)$ -кода:

1. Определяется число контрольных разрядов  $k = \lceil \log_2(m+1) \rceil$ ;

2. Устанавливается значение модуля  $M = 2^{k-1}$ ;

3. Для каждого информационного вектора определяется число  $W$ , равное алгебраической сумме единичных разрядов информационного вектора, пред-

ставленных по модулю  $M$  (равное наименьшему неотрицательному вычету числа  $W$  по модулю  $M$ ), – определяется число  $W = r(\text{mod}M)$ ;

4. Вычисляется специальный поправочный коэффициент  $\alpha$  как сумма по модулю «два» заранее установленных разрядов информационного вектора;

5. Формируется число  $V = W + \alpha M$ ;

6. Число  $V$  представляется в двоичном виде и записывается в разряды контрольного вектора.

Характеристики обнаружения ошибок в информационных векторах по каждой кратности у  $RS(m,k)$ -кода лучше, чем у  $S(m,k)$ -кода. Следует отметить,

что для каждого значения  $m$  возможно построение  $\sum_{j=1}^{m-1} C_m^j = 2^m - 2$  модифици-

рованных кодов, что определяется способом вычисления коэффициента  $\alpha$ . Установлено, что если в выражение  $\alpha$  входит  $\frac{m}{2}$  различных информационных

разрядов при четном значении  $m$  и  $\frac{(m \pm 1)}{2}$  – при нечетном значении  $m$ , то  $RS(m,k)$ -код будет обнаруживать максимальное количество ошибок в информационных векторах, чем любой другой  $RS(m,k)$ -код при данном  $m$  [6]. В дальнейшем и будем рассматривать такие  $RS(m,k)$ -коды.

Рассмотрим еще один способ модификации кода с суммированием, общая идея построения которого впервые описана в [13]. В [14] предложено разбивать информационные векторы на два вектора и контролировать каждый в отдельности по модулю  $M = 4$ .

**Алгоритм 3.** Правила получения значений разрядов контрольных векторов двухмодульного кода с суммированием:

1. Устанавливаются значения модулей  $M_1 = 4$ ,  $M_2 = 4$ ;

2. В контрольном векторе длины  $k$  выделяют два младших и два старших разряда;

3. Информационный вектор длины  $m$  разбивается на два вектора:  $[V_2]$ , образованный  $\lfloor m/2 \rfloor$  младшими разрядами, и  $[V_1]$ , образованный  $\lceil m/2 \rceil$  младшими разрядами (записи  $\lfloor \dots \rfloor$  и  $\lceil \dots \rceil$  обозначают целое снизу и сверху от вычисляемого значения, соответственно);

4. Подсчитывается сумма единичных разрядов вектора  $[V_1]$  (определяется вес вектора  $[V_1]$ ) – число  $W_1$ ;

5. Определяется наименьший неотрицательный вычет числа  $W_1$  по модулю  $M_1 = 4$ :  $W_1(\text{mod}4)$ ;

6. Полученное число  $W_1(\text{mod}4)$  представляется в двоичном виде и записывается в младшие разряды контрольного вектора;

7. Подсчитывается сумма единичных разрядов вектора  $[V_2]$  (определяется вес вектора  $[V_2]$ ) – число  $W_2$ ;

8. Определяется наименьший неотрицательный вычет числа  $W_2$  по модулю  $M_2 = 4$ :  $W_2(\text{mod}4)$ ;

9. Полученное число  $W_2(\text{mod}4)$  представляется в двоичном виде и записывается в младшие разряды контрольного вектора.

Обозначим коды, значения разрядов контрольных векторов которого определяются по алгоритму 3 как  $TM(m,k)$ -коды. На рис. 2 показана схема формирования значений разрядов контрольного вектора  $TM(8,4)$ -кода. Для данного кода в соответствии с алгоритмом 3 четыре младших разряда образуют вектор  $[V_2]$ , а четыре старших разряда – вектор  $[V_1]$ . Например, в табл. 1 представлены некоторые информационные векторы, пусть требуется получить значения разрядов контрольного вектора для информационного вектора  $<10011101>$ . Выделяем векторы  $[V_1] = <1101>$  и  $[V_2] = <1001>$ . Определяем значения весов полученных векторов:  $W_1 = 3$  и  $W_2 = 2$ . Определяем наименьшие неотрицательные вычеты полученных чисел по модулю 4:  $W_1(\text{mod}4) = 3$  и  $W_2(\text{mod}4) = 2$ . Числа  $W_1(\text{mod}4)$  и  $W_2(\text{mod}4)$  представляем в двоичном эквиваленте и записываем в младшие и старшие разряды контрольного вектора, соответственно, получая контрольный вектор  $<1011>$ .

$TM(m,k)$ -коды имеют существенное преимущество в обнаружении ошибок перед  $S(m,k)$ - $, RS(m,k)$ -кодами [15], поэтому целесообразно исследовать

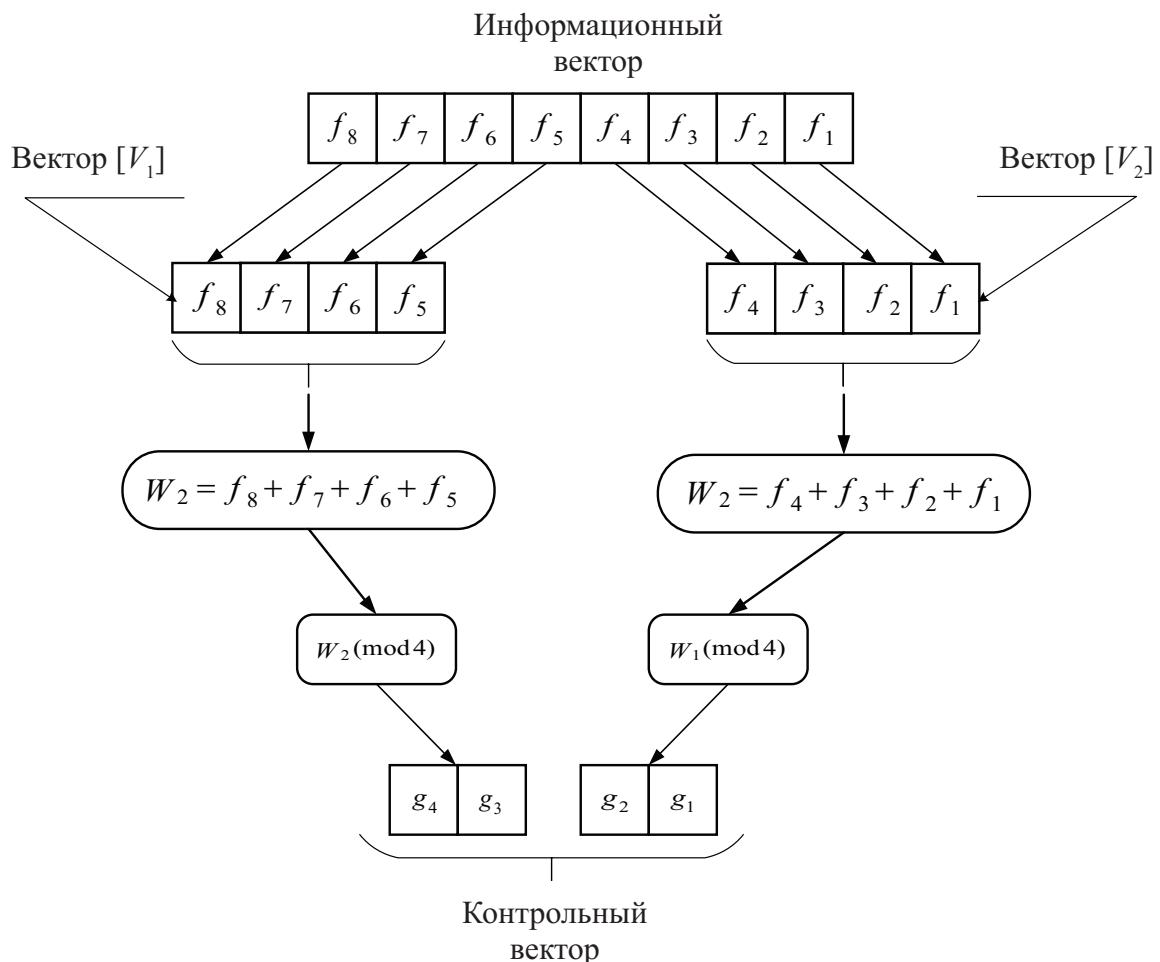


Рис. 2. Схема формирования значений контрольного вектора для  $TM(8,4)$ -кода

**Таблица 1.** Получение контрольных векторов для  $TM(8,4)$ -кода

Информационный вектор		$W_2$	$W_2(\text{mod } 4)$	$W_1$	$W_1(\text{mod } 4)$	Контрольный вектор	
$f_8f_7f_6f_5$	$f_4f_3f_2f_1$					$g_4g_3$	$g_2g_1$
0001	1100	1	1	2	2	01	10
0100	0000	1	1	0	0	01	00
1001	1101	2	2	3	3	10	11
1000	1111	1	2	4	0	10	00

данный код на предмет сложности технической реализации систем функционального контроля.

### 3. Экспериментальные исследования кодов с суммированием

Для оценки эффективности разрабатываемых способов построения надежных логических устройств часто используются известные базы контрольных логических схем. Для сравнения свойств предложенного  $TM(m,k)$ -кода со свойствами классических и модифицированных кодов с суммированием были выбраны пакеты комбинационных схем LGSynth'93 и MCNC [16–18]. Выбранные контрольные комбинационные схемы описаны в формате \*.pla, который фактически задает логику работы устройства в виде таблицы истинности.

С использованием интерпретатора SIS и стандартной библиотеки функциональных элементов *stdcell2\_2.genlib* [19] были рассчитаны показатели сложности технической реализации (площади, занимаемой устройством на кристалле, в усл. ед.) систем функционального контроля 20 контрольных комбинационных схем, имеющих  $m \in \{8 - 15\}$  выходов. При этом получены данные при использовании всех трех описанных в статье кодов ( $S(m,k)$ -,  $RS(m,k)$ - и  $TM(m,k)$ -кодов) при организации систем функционального контроля. С этой целью был использован комплекс программ Coding, разработанный на кафедре автоматики и телемеханики на железных дорогах Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, позволяющий получать файлы – описания блоков систем функционального контроля по различным кодам с суммированием в формате \*.pla. Сравнивая площади структур схем функционального контроля, организованных по  $S(m,k)$ -,  $RS(m,k)$ - и  $TM(m,k)$ -кодам, были получены результаты, приведенные в табл. 2.

Для оценки сложности систем функционального контроля рассчитаны следующие коэффициенты.

1.  $\varepsilon^S$  и  $\varepsilon^{RS}$  – показывают, во сколько раз площадь системы функционального контроля, основанной на использовании  $TM(m,k)$ -кода, меньше площадей систем функционального контроля, основанных, соответственно, на применении  $S(m,k)$ - и  $RS(m,k)$ -кодов:

**Таблица 2.** Показатели сложности технической реализации систем функционального контроля

№	База	Контрольная схема	Число выходов, $m$	Площадь контрольной схемы, $L$	Площадь системы функционального контроля			$\sigma^S$	$\sigma^{RS}$	$\sigma^{TM}$ , %	$\sigma^S$ , %	$\sigma^{RS}$ , %
					$S(m,k)$	$RS(m,k)$	$TM(m,k)$					
1	LG'93	b12	9	1808	18888	14072	7312	2,583	1,925	72,429	28,039	37,635
2	ex1010	10	62896	227216	98728	101352	2,242	0,974	125,772	56,102	129,114	
3	table3	14	39472	184632	59160	56304	3,279	1,051	143,194	43,667	136,281	
4	table5	15	37880	144024	60096	55088	2,614	1,091	140,575	53,769	128,86	
5	MCNC	alul	8	608	37472	39984	7208	5,199	5,547	40,178	7,728	7,243
6	br1	8	3608	17880	9512	6464	2,766	1,472	137,624	49,754	93,524	
7	br2	8	2952	15544	8488	5664	2,744	1,499	133,898	48,791	89,35	
8	f51m	8	2272	19048	12072	7704	2,472	1,567	80,789	32,675	51,557	
9	mlp4	8	7224	32584	16984	13464	2,42	1,261	119,786	49,497	94,96	
10	newbyte	8	592	7168	4840	2304	3,111	2,101	124,306	39,955	59,174	
11	inc	9	2376	15464	9344	5520	2,801	1,693	116,522	41,593	68,836	
12	newapla	10	1192	14288	11480	4912	2,909	2,337	82,736	28,443	35,401	
13	newcpla2	10	1096	13784	11168	4464	3,088	2,502	86,738	28,091	34,67	
14	b10	11	9168	52728	30424	18496	2,851	1,645	108,218	37,961	65,79	
15	dk17	11	1768	26800	19296	6912	3,877	2,792	75,463	19,463	27,032	
16	gary	11	10688	58552	32232	20376	2,874	1,582	113,153	39,377	71,531	
17	in0	11	10704	58600	32248	20392	2,874	1,581	113,221	39,399	71,595	
18	apla	12	3048	22392	11584	8616	2,599	1,344	90,251	34,727	67,127	
19	m1	12	3064	20904	10136	6944	3,01	1,46	112,442	37,352	77,032	
20	p82	14	2368	22824	11808	6912	3,302	1,708	92,824	28,111	54,336	
							2,991	1,839	108,158	38,079	72,155	Средние значения

$$\varepsilon^S = \frac{L_{S(m,k)}}{L_{TM(m,k)}},$$

$$\varepsilon^{RS} = \frac{L_{RS(m,k)}}{L_{TM(m,k)}},$$

где  $L_{S(m,k)}$ ,  $L_{RS(m,k)}$ ,  $L_{TM(m,k)}$  – площади системы функционального контроля для  $S(m,k)$ -,  $RS(m,k)$ - и  $TM(m,k)$ -кодов, соответственно.

2.  $\sigma^S$ ,  $\sigma^{RS}$  и  $\sigma^{TM}$  – показывают структурную избыточность систем функционального контроля, организованных по  $S(m,k)$ -,  $RS(m,k)$ - и  $TM(m,k)$ -кодам, %.

$$\sigma^S = 100 \cdot \frac{L_{Double}}{L_{S(m,k)}},$$

$$\sigma^{RS} = 100 \cdot \frac{L_{Double}}{L_{RS(m,k)}},$$

$$\sigma^{TM} = 100 \cdot \frac{L_{Double}}{L_{TM(m,k)}},$$

где  $L_{Double}$  – площадь системы дублирования.

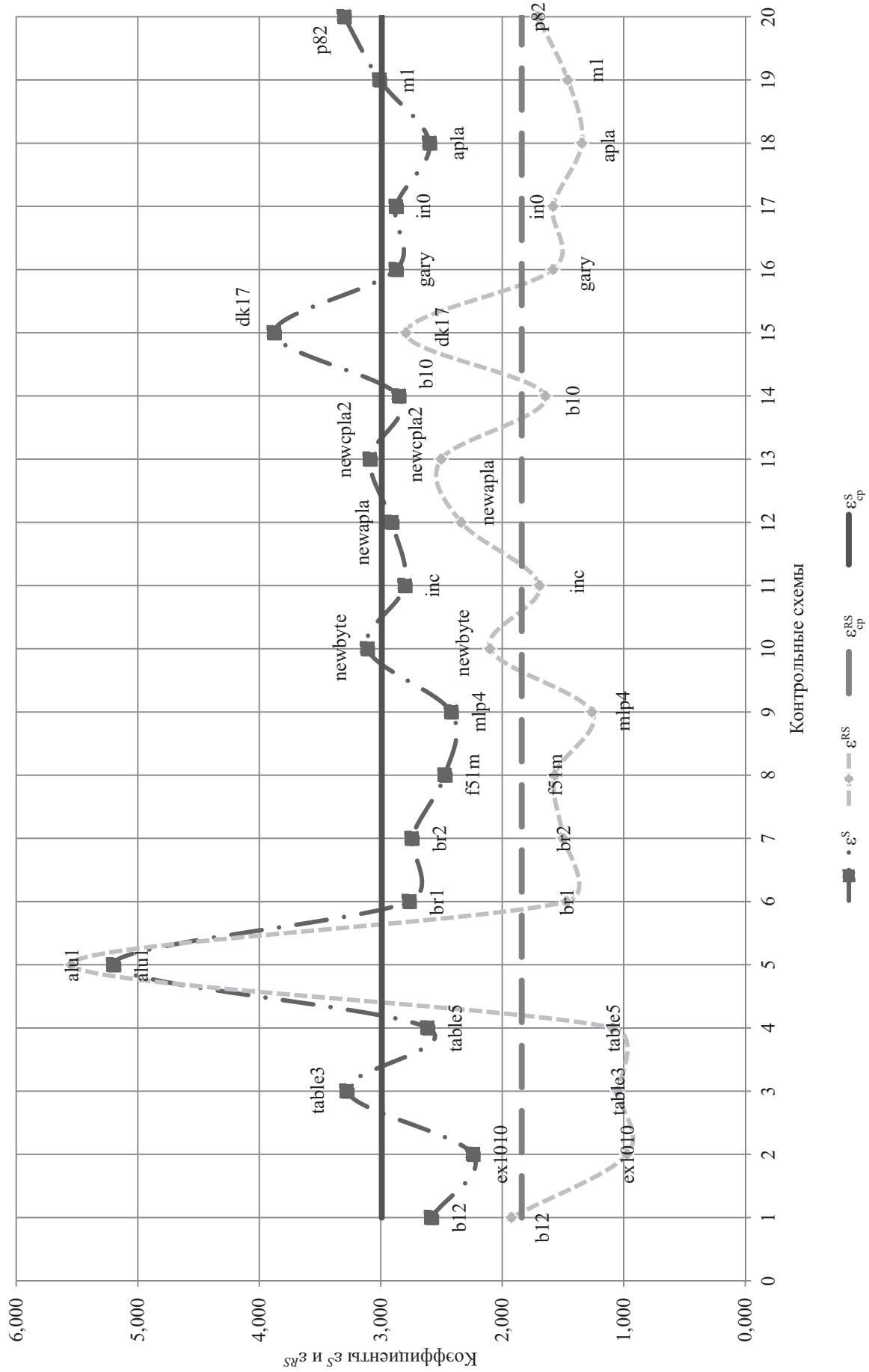
Если коэффициенты  $\varepsilon^S$ ,  $\varepsilon^{RS} > 1$ , то эффективнее использовать  $TM(m,k)$ -код, если же коэффициенты  $\varepsilon^S$ ,  $\varepsilon^{RS} < 1$ , то эффективнее использовать  $S(m,k)$ - и  $RS(m,k)$ -коды. Для 19 из 20 контрольных схем коэффициенты  $\varepsilon^S$ ,  $\varepsilon^{RS} > 1$ . Данный показатель свидетельствует, что площадь, занимаемая схемой на кристалле при использовании нового  $TM(m,k)$ -кода, в среднем в 2,5 раза меньше, чем у сравниваемых кодов.

На рис. 3 для наглядности в виде точек изображены значения величин  $\varepsilon^S$ ,  $\varepsilon^{RS}$  для различных контрольных схем по сравнению с  $S(m,k)$ - и  $RS(m,k)$ -кодами.

Другой показатель –  $\sigma^S$ ,  $\sigma^{RS}$  и  $\sigma^{TM}$  – является коэффициентом, демонстрирующим, насколько система функционального контроля на основе  $TM(m,k)$ -кода проще, чем система дублирования. Из результатов, представленных в табл. 2, видно, что сложность технической реализации систем функционального контроля на основе  $S(m,k)$ - и  $RS(m,k)$ -кодов намного больше, чем у системы дублирования, что является существенным недостатком таких кодов. Система функционального контроля, построенная на основе исследуемого  $TM(m,k)$ -кода, для более чем половины схем оказалась проще системы дублирования. По сравнению с  $S(m,k)$ - и  $RS(m,k)$ -кодами  $TM(m,k)$ -код эффективнее в 1,5 раза.

## Выводы

В ходе исследования свойств  $TM(m,k)$ -кода можно сделать вывод, что он не только эффективнее классических и модифицированных кодов с сум-



**Рис. 3.** Значения величин  $\varepsilon^S$  и  $\varepsilon^{RS}$  для разных контрольных комбинационных схем

мированием единичных информационных разрядов в области обнаружения ошибок, но и дает уменьшенную структурную избыточность системы функционального контроля, что подтверждают вычисления, представленные в табл. 3.

**Таблица 3.** Сравнительный анализ структурной избыточности

№	Контрольная схема	Число выходов, $m$	$\delta^S$	$\delta^{RS}$	$\delta^{TM}$
1	b12	9	10,447	7,783	4,044
2	ex1010	10	3,613	1,570	1,611
3	table3	14	4,678	1,499	1,426
4	table5	15	3,802	1,586	1,454
5	alu1	8	61,632	65,763	11,855
6	br1	8	4,956	2,636	1,792
7	br2	8	5,2663	2,875	1,919
8	f51m	8	8,384	5,313	3,391
9	mlp4	8	4,511	2,351	1,864
10	newbyte	8	12,108	8,176	3,892
11	inc	9	6,508	3,933	2,323
12	newapla	10	11,987	9,631	4,121
13	newcpla2	10	12,577	10,189	4,073
14	b10	11	5,751	3,318	2,017
15	dk17	11	15,158	10,914	3,909
16	gary	11	5,478	3,016	1,906
17	in0	11	5,475	3,013	1,905
18	apla	12	7,346	3,801	2,827
19	m1	12	6,822	3,308	2,266
20	p82	14	9,639	4,986	2,919
Среднее значение			10,307	7,783	3,076

Структурная избыточность, обозначаемая как  $\delta^S$ ,  $\delta^{RS}$  и  $\delta^{TM}$ , – величина, показывающая, во сколько раз площадь системы функционального контроля, организованной по  $S(m,k)$ -,  $RS(m,k)$ - и  $TM(m,k)$ -кодам, больше площади контрольной схемы. Величины  $\delta^S$ ,  $\delta^{RS}$  и  $\delta^{TM}$  всегда больше 1. Однако при использовании  $TM(m,k)$ -кода данная величина более чем в 3 раза меньше, чем при использовании  $S(m,k)$ -кода, и более чем в 2 раза меньше, чем при использовании  $RS(m,k)$ -кода. Следовательно при использовании такого кода потребуется меньшее количество избыточных элементов, что делает данный код более перспективным в задачах технической диагностики.

## **Библиографический список**

1. Piestrak S. J. Design of Self-Testing Checkers for Unidirectional Error Detecting Codes / S. J. Piestrak. – Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 1995. – 111 p.
2. Fujiwara E. Code Design for Dependable Systems : Theory and Practical Applications / E. Fujiwara. – John Wiley & Sons, 2006. – 720 p.
3. Das D. Synthesis of Circuits with Low-Cost Concurrent Error Detection Based on Bose-Lin Codes / D. Das, N.A. Touba // J. Electron. Test. : Theory and Appl. – 1999. – Vol. 15, Is. 1–2. – P. 145–155.
4. Das D. Weight-Based Codes and Their Application to Concurrent Error Detection of Multilevel Circuits / D. Das, N.A. Touba // Proc. 17th IEEE VLSI Test Symp., USA, CA, Dana Point, Apr. 25–29, 1999. – Dana Point, 1999. – P. 370–376.
5. Ефанов Д. В. О свойствах кода с суммированием в схемах функционального контроля / Д. В. Ефанов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2010. – № 6. – С. 155–162.
6. Блюдов А. А. Построение модифицированного кода Бергера с минимальным числом необнаруживаемых ошибок информационных разрядов / А. А. Блюдов, Д. В. Ефанов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Электронное моделирование. – 2012. – Т. 34, № 6. – С. 17–29.
7. Berger J. M. A Note on Error Detection Codes for Asymmetric Channels / J. M. Berger // Inf. and Control. – 1961. – Vol. 4, Is. 1. – P. 68–73.
8. Efanov D. On the Problem of Selection of Code with Summation for Combinational Circuit Test Organization / D. Efanov, Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov, A. Blyudov // Proc. 11th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTS'2013), Rostov-on-Don, Russia, Sept. 27–30, 2013. – Rostov-on-Don, 2013. – P. 261–266. DOI: 10.1109/EWDTS.2013.6673133.
9. Блюдов А. А. О кодах с суммированием единичных разрядов в системах функционального контроля / А. А. Блюдов, Д. В. Ефанов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2014. – № 8. – С. 131–145.
10. Сапожников Вал. В. Самопроверяемые дискретные устройства / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 224 с.
11. Сапожников Вал. В. Модульные коды с суммированием в системах функционального контроля. I. Свойства обнаружения ошибок кодами в информационных векторах / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, М. Р. Черепанова // Электронное моделирование. – 2016. – Т. 38, № 2. – С. 27–48.
12. Сапожников Вал. В. Модульные коды с суммированием в системах функционального контроля. II. Уменьшение структурной избыточности систем функционального контроля / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, М. Р. Черепанова // Электронное моделирование. – 2016. – Т. 38, № 3. – С. 47–61.
13. Efanov D. Generic Two-Modulus Sum Codes for Technical Diagnostics of Discrete Systems Problems / D. Efanov, Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov // Proc. 14th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTS'2016), Yerevan, Armenia, Oct. 14–17, 2016. – Yerevan, 2016. – P. 256–260.

14. Ефанов Д. В. Код с суммированием единичных разрядов на основе принципа выделения групп разрядов и их контроля по модулю 4 / Д. В. Ефанов, В. А. Щагина // Материалы юбилейной XV Санкт-Петербург. междунар. конф. «Региональная информатика – 2016», СПб., 26–28 окт. 2016 г. – СПб. : СПОИСУ, 2016.– С. 295–296.
15. Сапожников Вал. В. Двухмодульный код с суммированием единичных информационных разрядов по модулю четыре в системах функционального контроля / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, В. А. Щагина // Информационные технологии на транспорте : сб. материалов секции «Информационные технологии на транспорте» юбилейной XV Санкт-Петербург. междунар. конф. «Региональная информатика – 2016», Санкт-Петербург, 26–28 окт. 2016 г. ; под. ред. Вал. В. Сапожникова.– СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2017. – С. 916.
16. Collection of Digital Design Benchmarks. – URL: <http://ddd.fit.cvut.cz/prj/Benchmarks>.
17. Yang S. Logic Synthesis and Optimization Benchmarks User Guide Version 3.0 / S. Yang // Tech. Rep. – 1991. – IWLS-UG-Saeyang, MCNC. – 44 p.
18. Brzlez F. Combinational Profiles of Sequential Benchmark Circuits / F. Brzlez, D. Bryan, K. Kozminski // Proc. Int. Symp. Circuits and Systems. – 1989. – P. 1929–1934.
19. SIS: A System for Sequential Circuit Synthesis / E. M. Sentovich, K. J. Singh, L. Lavagno et al. // Electron. Res. Lab., Dep. Electrical Eng. and Comput. Sci., Univ. of California, Berkeley, 4 May 1992. – Berkeley, 1992. – 45 p.

**Analysis of complexity of concurrent error detection system  
based on use of two-modulo codes with summation  
by modulo 4 technical realization**

Dmitry V. Efandov, Vladislava A. Schagina

*„Automation and remote control on railways“ department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

Authors describe the new modification of code with summation based on division of data vector into groups and their separate check by modulo 4. This code has 4 check bits and could be compared with Berger code and some other known modified codes with summation with data vector length  $m = 8–15$ . Described code has an advantage in both detection ability and CED system equipment complexity for given data vector lengths. This means that described code could be effective for use in technical diagnostic applications.

**Keywords:** technical diagnostic; concurrent error detection system; Berger code; code with summation by modulo 4; two-modulo code with summation; error detection ability; technical realization complexity; structural redundancy.

## **Сведения об авторах**

*ЕФАНОВ Дмитрий Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
e-mail: TrES-4b@yandex.ru*

*ЩАГИНА Владислава Александровна – студент факультета «Автоматизация и интеллектуальные технологии» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
e-mail: vladislava1997@inbox.ru*

© Ефанов Д. В., Щагина В. А., 2017

# РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО АНАЛИЗУ СВОЙСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ ОШИБОК В КОНТРОЛЬНЫХ КОМБИНАЦИОННЫХ СХЕМАХ МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ВЗВЕШЕННЫМИ КОДАМИ С СУММИРОВАНИЕМ С ПРЯМОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬЮ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Д. А. Никитин

Анализируются правила построения модифицированных взвешенных кодов с суммированием и их характеристики. Представлены результаты сравнения обнаруживающих способностей кодов для конкретных примеров с разными модулями, используемыми для построения кода.

**Ключевые слова:** система функционального контроля; код Бергера; оптимальный код; взвешенный код с суммированием; модифицированный код, обнаруживающая способность.

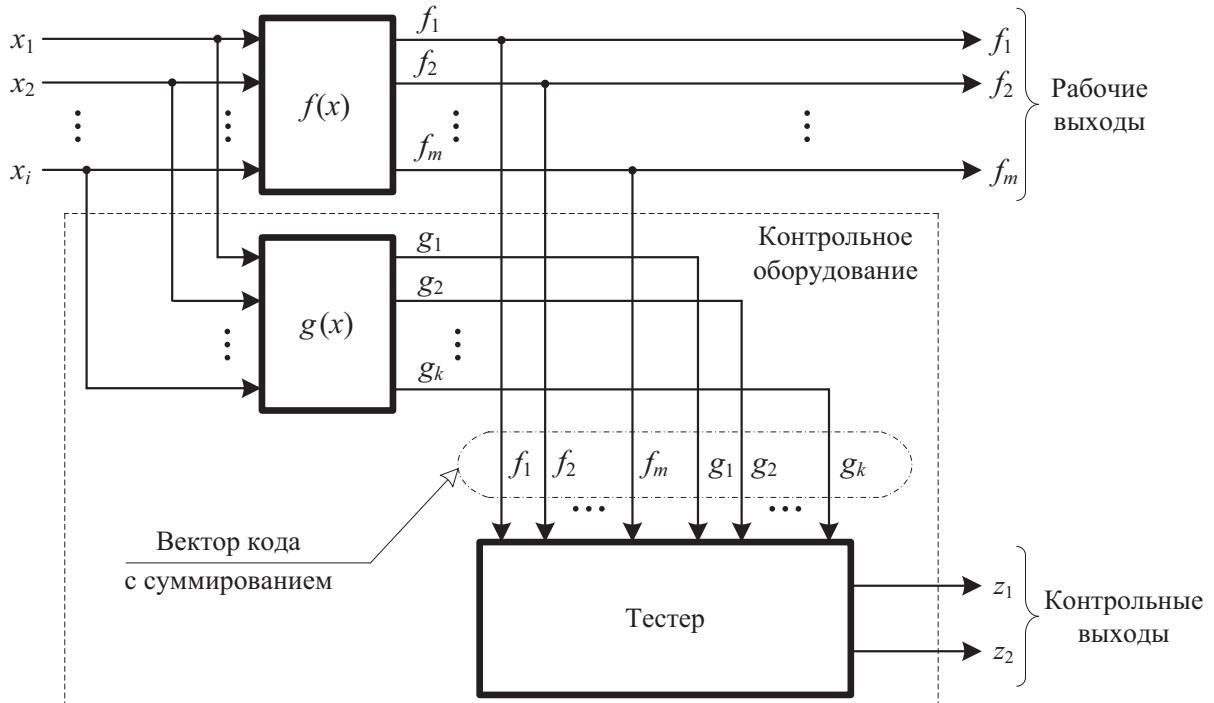
## Введение

Для обнаружения неисправностей в работе логических устройств применяются системы функционального диагностирования [1–4]. Стандартная структура системы функционального диагностирования представлена на рисунке.

Блок  $f(x)$  – это контролируемое устройство;  $g(x)$  – блок контрольной логики, формирующий контрольные функции, также в системе присутствует самопроверяемый тестер, который фиксирует соответствие значений выходов блоков  $f(x)$  и  $g(x)$  [5].

Выходы обоих блоков  $f(x)$  и  $g(x)$  можно сопоставить с вектором кода, обладающим помехоустойчивыми свойствами. Таким образом,  $f_1, f_2, \dots, f_m$  определяют значения разрядов информационного вектора длиной  $m$ , а векторы  $g_1, g_2, \dots, g_k$  – разряды контрольного вектора длиной  $k$ . Такой вариант организации контроля комбинационных схем применяется с использованием разделимых кодов. Одним из таких кодов является классический код с суммированием  $S(m,k)$ , или код Бергера.

Данный метод кодирования был описан Бергером в 1961 г. [6], контрольный вектор на основе информационных векторов строится по принципу суммирования количества единичных разрядов. Классический код с суммированием имеет избыточность  $k = \lceil \log_2(m+1) \rceil$ , где запись  $\lceil a \rceil$  означает целое сверху. Известно, что такой код не обнаруживает 50% двукратных искажений



Система функционального диагностирования

и 37,5% – четырехкратных, а также что доля необнаруживаемых ошибок кода Бергера в информационных разрядах кратности  $d$  не зависит от числа разрядов и является постоянной величиной [7–9]:

$$\beta_d = \frac{C_d^{d/2}}{2^d}.$$

Распределение информационных слов по контрольным группам, соответствующим сумме единичных разрядов, в классическом коде Бергера для  $S(4,3)$ -кода представлено в табл. 1.

**Таблица 1.** Распределение информационных векторов  $S(4,3)$ -кода

$r$				
0	1	2	3	4
Контрольный вектор				
000	001	010	011	100
0000	0001	0011	0111	1111
	0010	0101	1011	
	0100	0110	1101	
	1000	1001	1110	
		1010		
		1100		

Логично предположить, что количество векторов в группе влияет на количество необнаруживаемых искажений. Чем больше векторов в каждой группе, тем больше ошибок возникает при искажении слов внутри группы, и они не обнаруживаются кодом.

В случае равномерного распределения информационных векторов по контрольным группам код имеет минимальное количество необнаруживаемых ошибок [10, 11]. Код, обладающий указанным свойством, называется оптимальным с точки зрения обнаружения общего количества ошибок для заданных значений длины информационных и контрольных векторов. При количестве контрольных разрядов, таком же, как и в классическом коде с суммированием, оптимальный код не обнаруживает гораздо меньшее количество искажений. Их число можно вычислить по формуле

$$N_{m,k}^{\min} = 2^m (2^{m-k} - 1) = 2^m (2^{m-\lceil \log_2(m+1) \rceil} - 1).$$

Например, оптимальный (4,3)-код не обнаруживает всего 16 искажений, а это в 3,375 раза меньше, чем классический код с суммированием.

## 1. Модифицированный код с суммированием с прямой последовательностью весов

Оптимальные коды с суммированием могут быть построены путем модификации кодов с суммированием, у которых установлено неравноправие между разрядами информационного вектора. Это делается за счет взвешивания разрядов – приписывания им коэффициентов [12–16].

Рассмотрим взвешенный модифицированный код Бергера  $RWS(m,k)$  с такой же избыточностью, как в классическом коде с суммированием [17–19].

Правила построения  $RWS(m,k)$ -кода:

1. Подсчитывается вес информационного вектора как сумма всех весов единичных разрядов  $W = \sum_{i=1}^m f_i w_i$ ;
2.  $W$  представляется по модулю  $M = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil - 1}$ ;
3. Коэффициент модификации  $\alpha$  подсчитывается как сумма по модулю 2 заранее установленных информационных разрядов;
4. Результирующий вес равен  $V = W(\text{mod } M) + \alpha M$ ;
5.  $V$  записывается в двоичном виде в разряды контрольного вектора.

Такой вариант модификации классического кода с суммированием позволил построить оптимальный код с минимумом необнаруживаемых ошибок, при этом сохранив избыточность кода Бергера. Рассмотрим распределение информационных разрядов по группам в  $RWS(m,k)$ -кодах (табл. 2).

**Таблица 2.** Распределение информационных векторов  $RWS(4,3)$ -кода по группам при  $\alpha = x_1 \oplus x_4$

Контрольные группы							
0	1	2	3	4	5	6	7
0000	0111	0101	0010	0001	0110	0100	0011
1010	1000	1111	1101	1011	1001	1110	1100

Доказано [19], что  $RWS(m,k)$ -коды не имеют необнаруживаемых ошибок нечетной кратности, если  $\alpha = x_1 \oplus x_4 \oplus \dots \oplus x_{m(m-1)}$ , где  $x_{m(m-1)}$  – последний четный информационный разряд, или  $\alpha = x_1 \oplus x_2 \oplus \dots \oplus x_m$ , также такие коды всегда оптимальны с точки зрения обнаружения ошибок в информационных разрядах при фиксированных значениях  $m$  и  $k$  для любых  $m$ .

## 2. Эксперименты с набором контрольных комбинационных схем

Оценим эффективность применения модифицированных взвешенных кодов с суммированием с прямой последовательностью весов с точки зрения обнаружения ошибок на контрольных примерах из пакета LGSynth'89 [20], при этом модуль кода будем выбирать для каждой схемы в последовательности  $M = 2^{\log_2(m+1)-1}$ ,  $M = 2^{\log_2(m+1)-2}$ , ...,  $M = 2^1$  в порядке убывания (по аналогии с кодами с суммированием единичных информационных разрядов [21]). При эксперименте моделировали константные неисправности на выходах логических элементов, на входы комбинационных схем подавали все возможные входные воздействия, далее фиксировали необнаруживаемые иска-жения по кратностям.

В табл. 3 приведены результаты исследований, проведенных с помощью разработанного программного обеспечения, которое позволяет подсчитать число необнаруживаемых ошибок в системе, контролирующей схему на основе  $RWS(m,k)$ -кода.

Рассмотрим распределение необнаруживаемых ошибок по кратностям в модифицированных модульных кодах с суммированием в табл. 4.

## Выводы

Из результатов исследований, представленных выше, можно сделать вывод, что в целом модифицированный взвешенный код с суммированием с прямой последовательностью весов хорошо применим для контроля комбинационных схем: он довольно эффективно обнаруживает возникающие неисправности. Из 15 рассматриваемых схем в 8 примерах ошибки отсутству-

**Таблица 3.** Результаты исследований обнаруживающих характеристик на контрольных примерах

№	Кон- трольная схема	$N$ выходов	Общее количество необнаруживаемых ошибок			Всего ошибок в схеме	
			Модуль				
			$2^{\log_2(m+1)-1}$	$2^{\log_2(m+1)-2}$	$2^{\log_2(m+1)-3}$		
1	alu2	6	1452	1569	—	61 988	
2	alu4	8	32 216	60 011	110 989	1966 881	
3	b1	4	0	0	—	44	
4	c17	2	0	—	—	234	
5	cm138a	8	0	0	0	680	
6	cm151a	2	0	—	—	14 592	
7	cm162a	5	6277	18 567	—	317 331	
8	cm42a	10	0	8	8	278	
9	cm82a	3	0	—	—	648	
10	cm85a	3	48	—	—	30 912	
11	cmb	4	0	6	—	288 218	
12	cu	11	22 368	22 720	22 976	137 984	
13	f51m	8	110	204	490	13 008	
14	pm1	13	3472	5488	15 408	189 440	
15	z4ml	4	0	16	—	4168	

ют вовсе, а в остальных 7 логических устройствах доля необнаруживаемых искажений в среднем около 2 %. При уменьшении значения выбираемого модуля наблюдается увеличение количества необнаруживаемых искажений в 2–3 раза на каждом шаге. Таким образом, уменьшая значение модуля, мы сокращаем количество контрольных разрядов, но при этом ухудшаем обнаруживающую способность кода.

При уменьшении модуля модифицированного взвешенного кода с суммированием при выборе поправочного коэффициента, равного сумме по модулю 2 всех четных разрядов, сохраняется свойство обнаружения всех искажений с нечетными кратностями. Также во всех схемах присутствуют ошибки только кратности 2 и 4 независимо от количества выходов схемы. Нет единой тенденции увеличения ошибок кратности 2 или 4. При уменьшении модуля кода в некоторых схемах резко увеличивается количество искажений кратности 2 (f51m), в некоторых – кратности 4 (alu2), но для большинства контрольных примеров наблюдается рост в несколько раз числа и двукратных, и четырехкратных ошибок.

**Таблица 4.** Распределение необнаруживаемых ошибок по кратностям в контрольных примерах

Контрольная схема	Код	Число ошибок кратности $d$												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
alu2	RWS4	0	1360	0	92	0	0	—	—	—	—	—	—	—
	RWS2	0	1401	0	168	0	0	—	—	—	—	—	—	—
alu4	RWS8	0	2946	0	29 270	0	0	0	0	—	—	—	—	—
	RWS4	0	23 499	0	36 512	0	0	0	0	—	—	—	—	—
	RWS2	0	50 157	0	60 832	0	0	0	0	—	—	—	—	—
cm162a	RWS4	0	6053	0	224	0	—	—	—	—	—	—	—	—
	RWS2	0	12 138	0	6429	0	—	—	—	—	—	—	—	—
cm42a	RWS8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—	—
	RWS4	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—	—
	RWS2	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—	—
cmb	RWS4	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	RWS2	0	6	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
cm85a	RWS2	0	48	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
cu	RWS8	0	22 368	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—
	RWS4	0	22 720	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—
	RWS2	0	22 976	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—
f51	RWS8	0	94	0	16	0	0	0	0	—	—	—	—	—
	RWS4	0	188	0	16	0	0	0	0	—	—	—	—	—
	RWS2	0	474	0	16	0	0	0	0	—	—	—	—	—
pm1	RWS8	0	1792	0	1680	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RWS4	0	2128	0	3360	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RWS2	0	12 048	0	3360	0	0	0	0	0	0	0	0	0
z4ml	RWS4	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	RWS2	0	16	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—

## Библиографический список

- Согомонян Е. С. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы / Е. С. Согомонян, Е. В. Слабаков. – М. : Радио и связь, 1989. – 208 с.
- Jha N. K. Design and Synthesis of Self-Checking VLSI Circuits / N. K. Jha, S. J. Wang // IEEE Transactions on Computer-Aided Design. – 1993. – Is. 6. – P. 878–887.
- Mitra S. Which Concurrent Error Detection Scheme to Choose? / S. Mitra, E. J. McClaskey // Proc. Int. Test Conf., 2000, USA, Atlantic City, NJ, Oct. 3–5, 2000. – NJ, 2000. – P. 985–994.

4. Сапожников Вал. В. Применение кодов с суммированием при синтезе систем железнодорожной автоматики и телемеханики на программируемых логических интегральных схемах / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 84–107.
5. Сапожников Вал. В. Самопроверяемые дискретные устройства / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 224 с.
6. Berger J. M. A Note on Error Detection Codes for Asymmetric Channels / J. M. Berger // Inf. and Control. – 1961. – Vol. 4, Is. 1. – P. 68–73.
7. Ефанов Д. В. О свойствах кода с суммированием в схемах функционального контроля / Д. В. Ефанов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2010. – № 6. – С. 155–162.
8. Blyudov A. Properties of Code with Summation for Logical Circuit Test Organization / A. Blyudov, D. Efanov, Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov // Proc. 10th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTS'2012), Kharkov, Ukraine, Sept. 14–17, 2012. – Kharkov, 2012. – P.114–117. DOI: 10.1109/EWDTS.2013.6673150.
9. Ефанов Д. В. Три теоремы о кодах Бергера в схемах встроенного контроля / Д. В. Ефанов // Информатика и системы управления. – 2013. – № 1. – С. 77–86.
10. Блюдov А. А. Построение модифицированного кода Бергера с минимальным числом необнаруживаемых ошибок информационных разрядов / А. А. Блюдов, Д. В. Ефанов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Электронное моделирование. – 2012. – Т. 34, № 6. – С. 17–29.
11. Efanov D. On the Problem of Selection of Code with Summation for Combinational Circuit Test Organization / D. Efanov, Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov, A. Blyudov // Proc. 11th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTS'2013), Rostov-on-Don, Russia, Sept. 27–30, 2013. – P. 261–266. DOI: 10.1109/EWDTS.2013.6673133.
12. Berger J. M. A Note on Burst Detection Sum Codes / J. M. Berger // Inf. and Control. – 1961. – Vol. 4, Is. 2–3. – P. 297–299.
13. Das D. Weight-Based Codes and Their Application to Concurrent Error Detection of Multilevel Circuits / D. Das, N.A. Touba // Proc. 17th IEEE VLSI Test Symp., USA, CA, Dana Point, Apr. 25–29, 1999. – Dana Point, 1999. – P. 370–376.
14. Das D. Low Cost Concurrent Error Detection Based on Modulo Weight-Based Codes / D. Das, N.A. Touba, M. Seuring, M. Gossel // Proc. IEEE 6th Int. On-Line Testing Workshop (IOLTW), Spain, Palma de Mallorca, July 3–5, 2000. – Palma de Mallorca, 2000. – P. 171–176.
15. Сапожников Вал. В. Взвешенные коды с суммированием для организации контроля логических устройств / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Электронное моделирование. – 2014. – Т. 36, № 1. – С. 59–80.
16. Сапожников Вал. В. Анализ свойств кодов с суммированием взвешенных информационных разрядов по обнаружению ошибок в системах функционального контроля логических устройств / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Изв. ПГУПС. – 2015. – Вып. 1. – С. 114–126.
17. Сапожников Вал. В. О способах построения кодов с суммированием с минимальным общим числом необнаруживаемых искажений в информационных векторах / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, Д. А. Никитин // Изв. ПГУПС. – 2014. – Вып. 1. – С. 82–91.
18. Efanov D. Sum Code Formation with Minimum Total Number of Undetectable Errors in Data Vectors / D. Efanov, Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov, D. Nikitin // Proc.

- 13th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTs'2015), Batumi, Georgia, Sept. 26–29, 2015.– Batumi, 2015.– P. 141–148. DOI: 10.1109/EWDTs.2015.7493112.
19. Efanov D. On One Method of Formation of Optimum Sum Code for Technical Diagnostics Systems / D. Efanov, Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov // Proc. 14th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTs'2016), Yerevan, Armenia, Oct. 14–17, 2016.– Yerevan, 2016.– P. 158–163.
  20. Collection of Digital Design Benchmarks.– URL: <http://ddd.fit.cvut.cz/prj/Benchmarks>.
  21. Блюдов А. А. О кодах с суммированием единичных разрядов в системах функционального контроля / А. А. Блюдов, Д. В. Ефанов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика.– 2014.– № 8.– С. 131–145.

**Experimental results with error detection properties  
of modified weight-based codes with summation with direct weight  
coefficient sequence in test combinational circuits**

Dmitry A. Nikitin

*„Automation and remote control on railways“ department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

This paper is devoted to the analysis of rules of formation of different modified weight-based codes with summation and their characteristics. Author gives the result of comparison of codes' error detection abilities for certain examples with different modules used for code formation.

**Keywords:** concurrent error detection system; Berger code; optimal code; weight-based code with summation; modified code, error detection ability.

### Сведения об авторе

*НИКИТИН Дмитрий Александрович* – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* nikitin239@gmail.com

© Никитин Д. А., 2017

# Теория кодирования

УДК 621.391

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКА КОМБИНИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ БАРКЕРА С БАЗОЙ БОЛЬШЕ 121

**А. В. Волынская**

Приведены результаты поиска двоичных сигналов с оптимальной автокорреляционной функцией, а также компьютерного моделирования с целью оценки их помехоустойчивости.

**Ключевые слова:** сложные двоичные сигналы; корреляционный прием; коды Баркера; компьютерное моделирование помехоустойчивости.

### Введение

Для обнаружения или различения сигналов в цифровых каналах передачи информации следует применять корреляционный прием, который тем эффективней, чем сложнее полезный сигнал [1, 2]. Наилучшими являются те, у которых имеется наибольшее отношение  $N$  главного пика функции автокорреляции (АКФ) к боковым пикам. Такие сигналы (двоичные последовательности) известны и широко применяются, их называют сигналы (коды) Баркера [3–6]. Самый сложный из сигналов Баркера состоит из 13 символов и имеет отношение высоты главного пика АКФ к боковым по модулю  $N = 13$ . Это свойство позволяет надежно обнаруживать такой сигнал при отношениях сигнал/помеха  $C/P < 1$ . Однако в наиболее «тяжелых» (в смысле помехоустойчивости) каналах, например каналах телемеханики электрифицированного железнодорожного транспорта, даже сигналы Баркера не обеспечивают требуемой надежности их обнаружения.

### 1. Результаты теоретических исследований

Автором статьи найдены сигналы, обладающие большим, чем у сигналов Баркера, абсолютным отношением  $N$ , способы поиска таких последовательностей описаны в [7]. Один из способов основан на комбинировании сигналов Баркера. В качестве «материнской» последовательности берется последовательность Баркера, а затем каждый элемент этой последователь-

ности заменяется прямой или инверсной «дочерней» последовательностью Баркера в зависимости от того, ноль или единица находится в материнской последовательности. Назовем эти новые сигналы комбинированными сигналами Баркера.

Из 38 возможных парных комбинаций материнских и дочерних последовательностей нашему требованию удовлетворяют только 10 последовательностей: 3–4, 1; 3–3; 3–7; 3–11; 7–3; 7–7; 7–11; 11–3; 11–7; 11–11, где первое число – материнская последовательность, второе – дочерняя. Например, для последовательности 3–7 материнская последовательность 110, а дочерняя – 1110010, тогда новая последовательность имеет вид

$$\begin{array}{c} 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \\ \underbrace{\quad\quad\quad}_{\text{«1»}} \end{array} \quad \begin{array}{c} 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \\ \underbrace{\quad\quad\quad}_{\text{«1»}} \end{array} \quad \begin{array}{c} 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \\ \underbrace{\quad\quad\quad}_{\text{«0»}} \end{array}$$

На рис. 1–3 приведены АКФ новых сигналов.

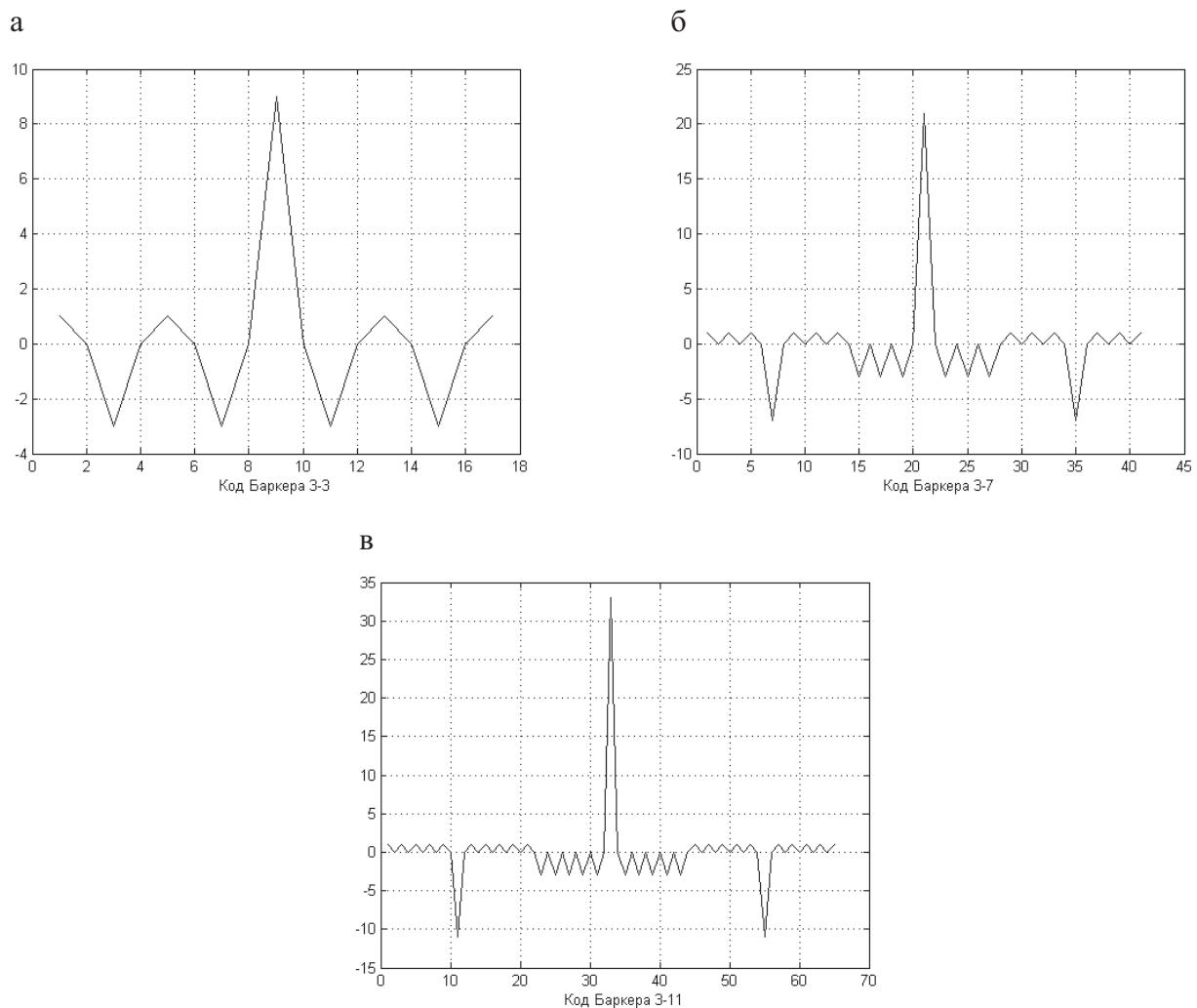
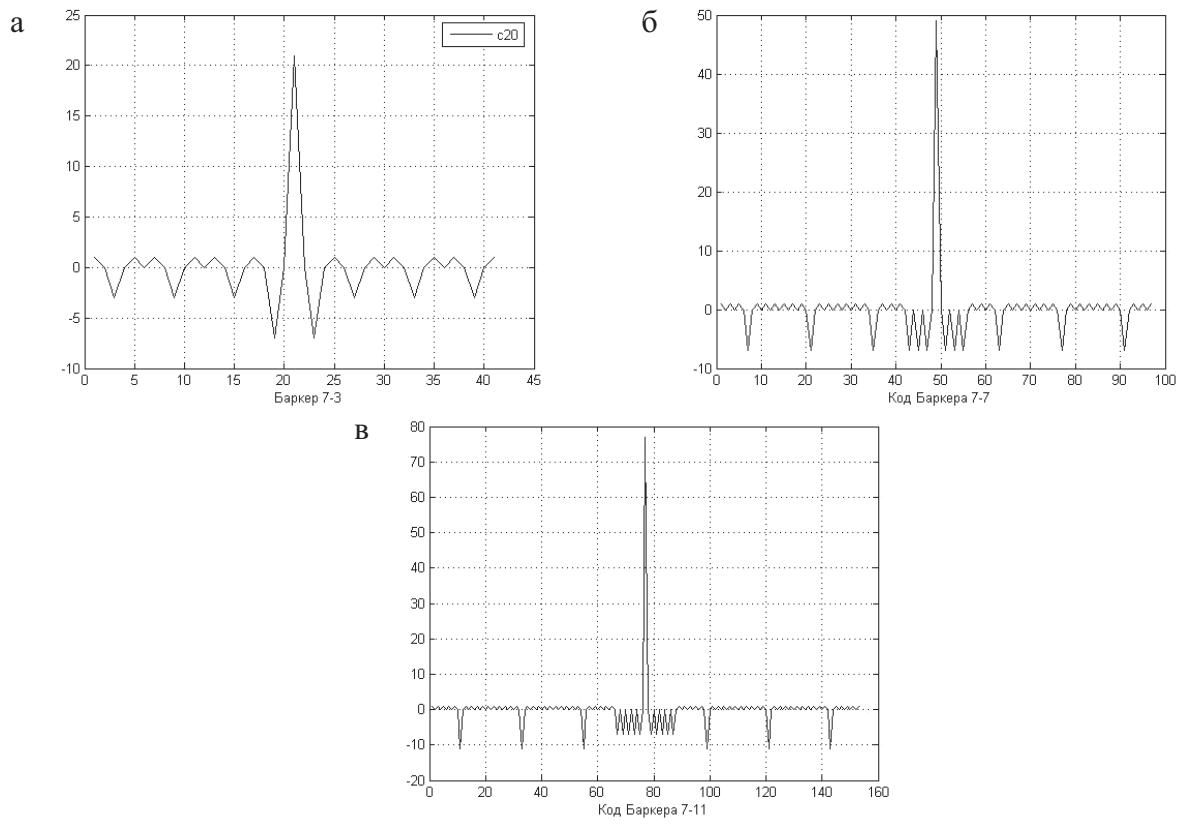
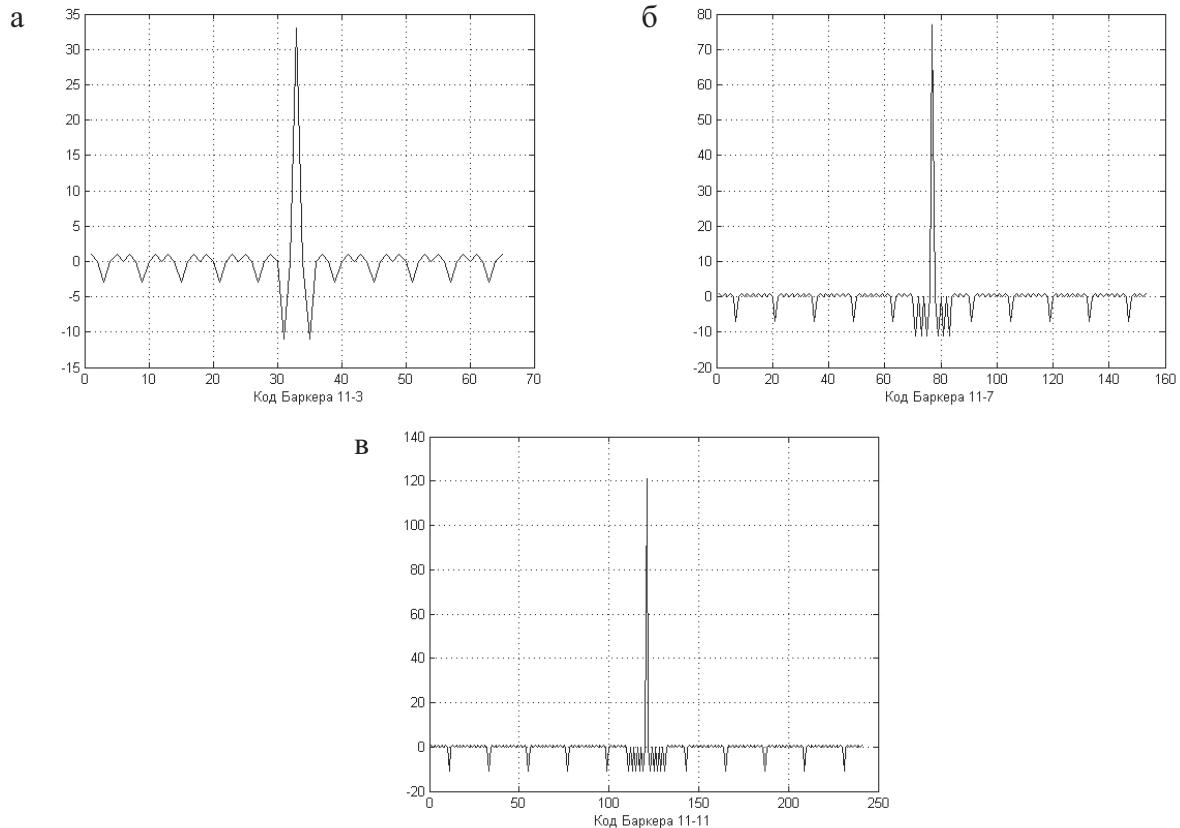


Рис. 1. АКФ сигналов 3–3 (а), 3–7 (б) и 3–11 (в)



**Рис. 2. АКФ сигналов 7-3 (а), 7-7 (б) и 7-11 (в)**



**Рис. 3. АКФ сигналов 11-3 (а), 11-7 (б) и 11-11 (в)**

Помехи снижают главный пик корреляционной функции и поднимают боковые пики, поэтому чем больше отношение высоты главного пика АКФ к боковым, тем выше вероятность правильного приема сигналов. Если сравнить это отношение у сигнала Баркера 13 с комбинированным сигналом Баркера 11–11, то видим, что оно в  $121/13 = 9,308\dots$  раз больше.

## 2. Результаты моделирования

Автор исследовал помехоустойчивость новых сигналов путем моделирования в программной среде LabVIEW [8]. Результаты приведены на рис. 4–9 [9].



Рис. 4. 11-элементный сигнал Баркера и его АКФ

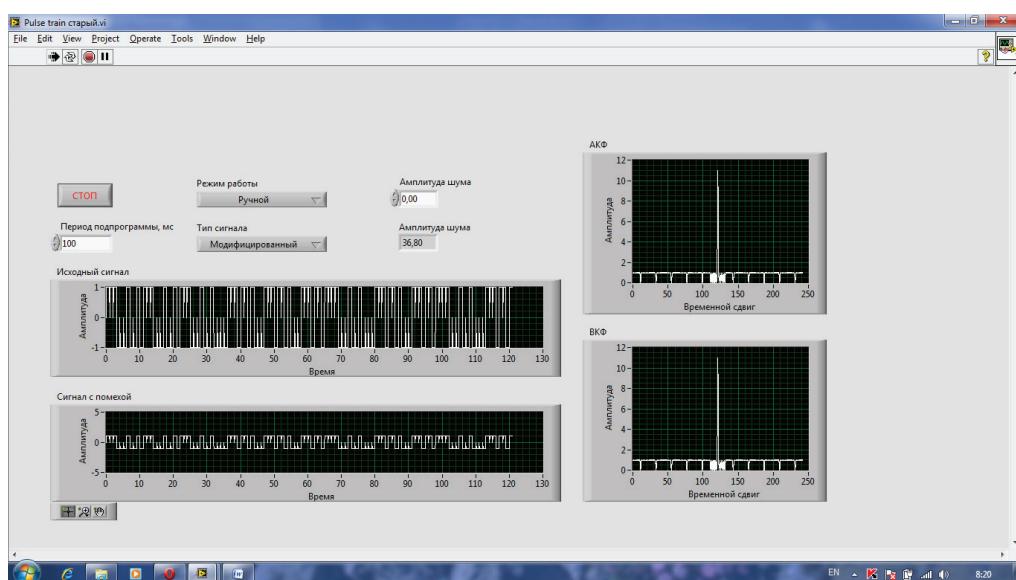
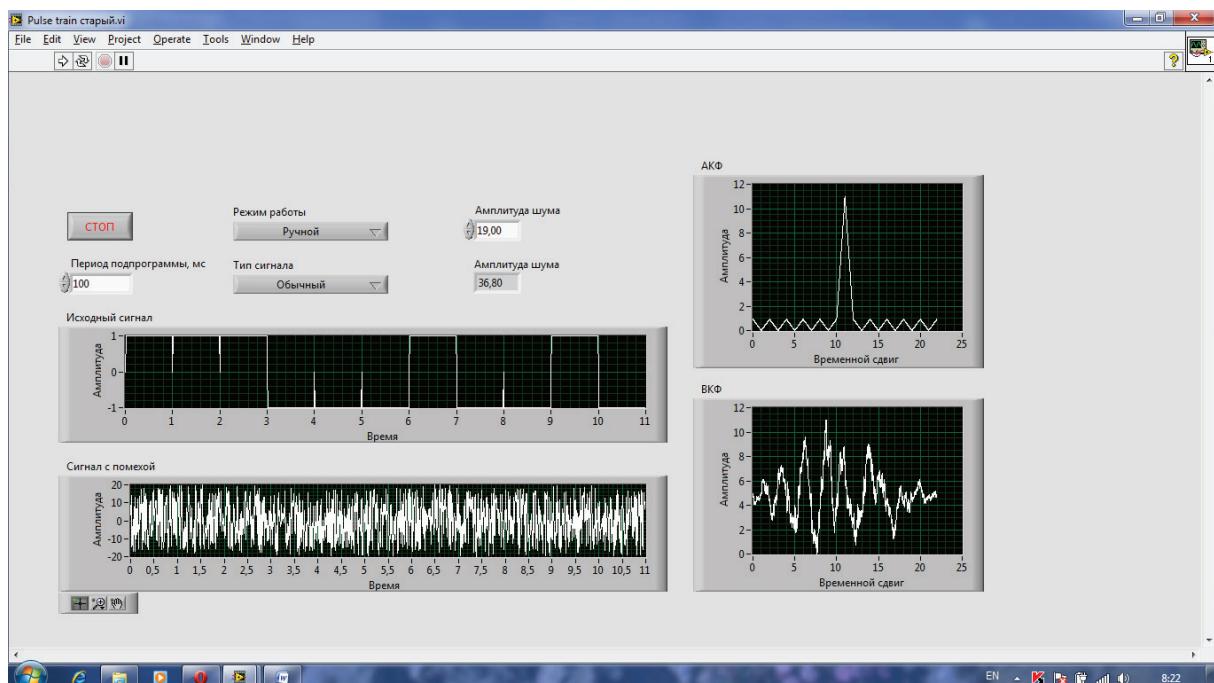


Рис. 5. Комбинированный сигнал Баркера 11–11 и его АКФ

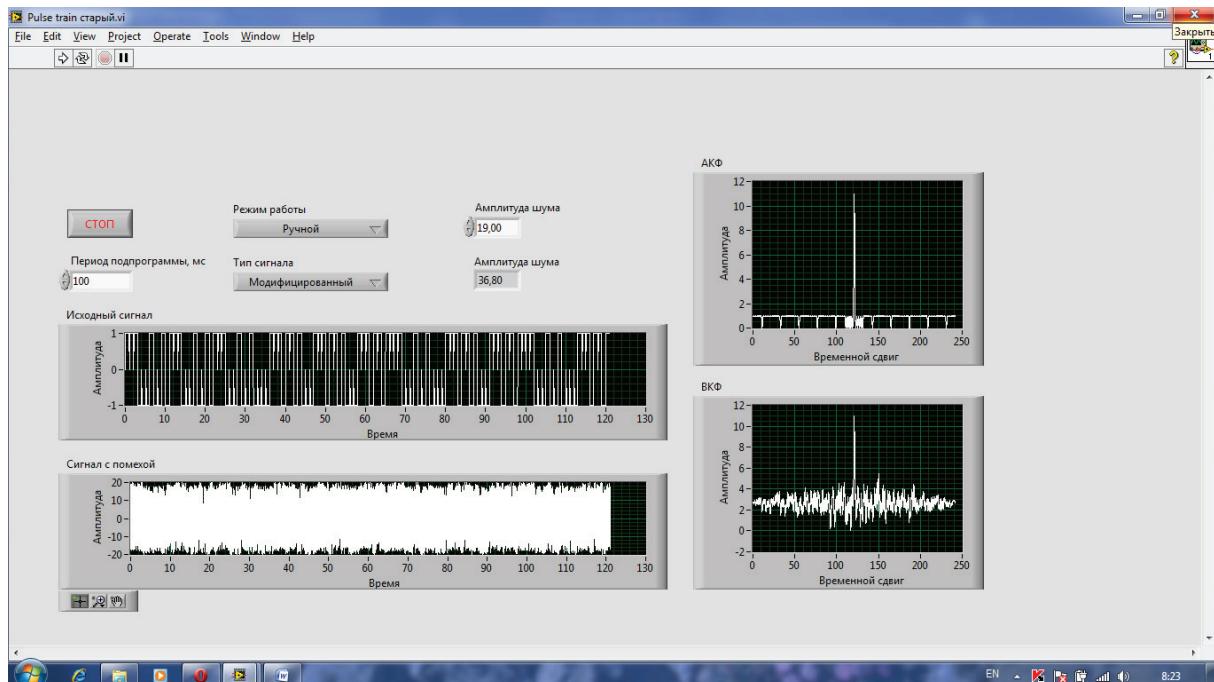


**Рис. 6.** 11-элементный сигнал Баркера + помеха ( $C/P = 1/14$ ) и функция взаимной корреляции (ФВК)

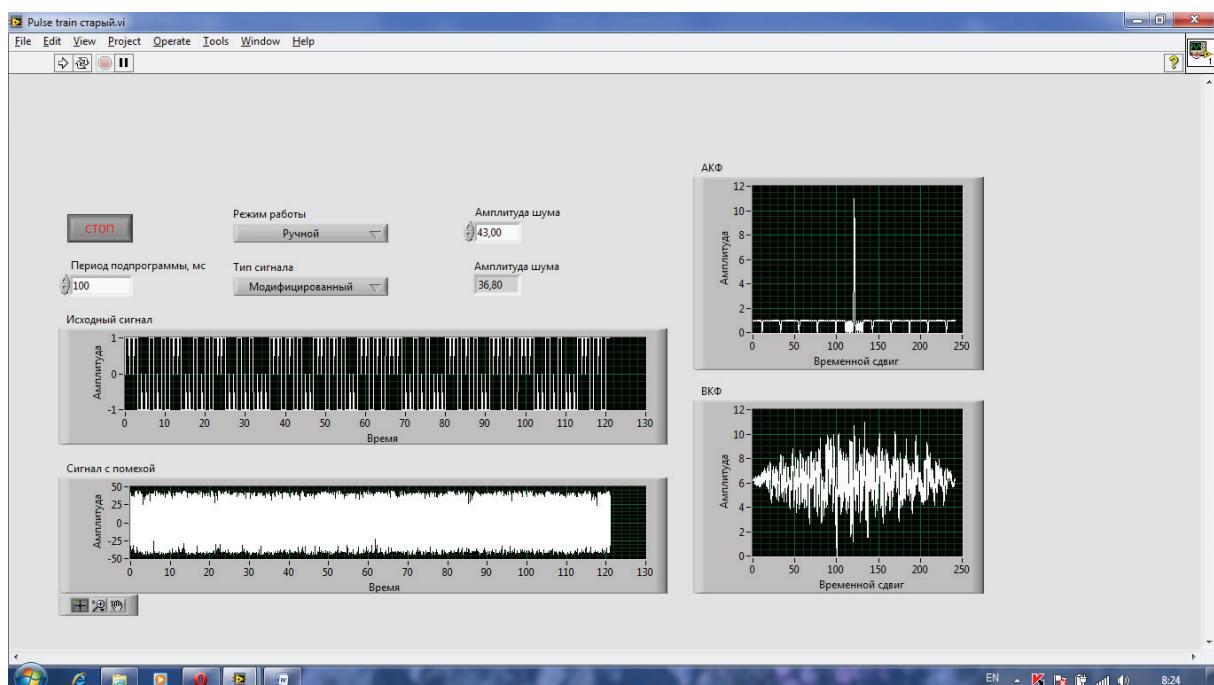


**Рис. 7.** 11-элементный сигнал Баркера + помеха ( $C/P = 1/19$ ) и ФВК

На рис. 7 видим, что при отношении  $C/P = 1/19$  сигнал Баркера 11 не обнаруживается, так как главный пик ФВК соизмерим с боковыми. Кроме того, это может привести к «ложной тревоге».



**Рис. 8.** Комбинированный сигнал Баркера 11–11 + помеха  
(С/П = 1/19) и ФВК



**Рис. 9.** Комбинированный сигнал Баркера 11–11 + помеха  
(С/П = 1/43) и ФВК

Комбинированный сигнал Баркера при этом же отношении С/П надежно обнаруживается, так как главный пик ФВК существенно превышает боковые (рис. 8).

Обнаружение нового сигнала затрудняется только при отношении С/П = = 1/43 (рис. 9).

Наиболее сложный из найденных сигналов имеет базу 121, при этом на практике применяются сигналы с базой 1000 и более, например М-последовательности (последовательности максимальной длины) [10].

В качестве таких сигналов повторно исследованы комбинированные (тройные) последовательности, т. е. в качестве первого сигнала взят канонический сигнал Баркера, а в качестве второго – комбинированный. Всего имеется 27 таких сигналов. Как показало моделирование, у 19 сигналов, в которых существует 3, отношение главного пика АКФ к боковым  $N$  не максимально (меньше базы сигнала), но при этом оно не хуже, чем у М-последовательностей. Для примера рассмотрим АКФ сигнала 7–7–3 (рис. 10).

Для данного сигнала при базе 147 отношение  $N = 20$ , что больше, чем  $\sqrt{147} = 12,12$  у М-последовательности такой же длины. Остальные 8 сигналов удовлетворяют нашему требованию. Самый длинный из найденных сигналов 11–11–11 имеет базу 1331, его АКФ приведена на рис. 11.

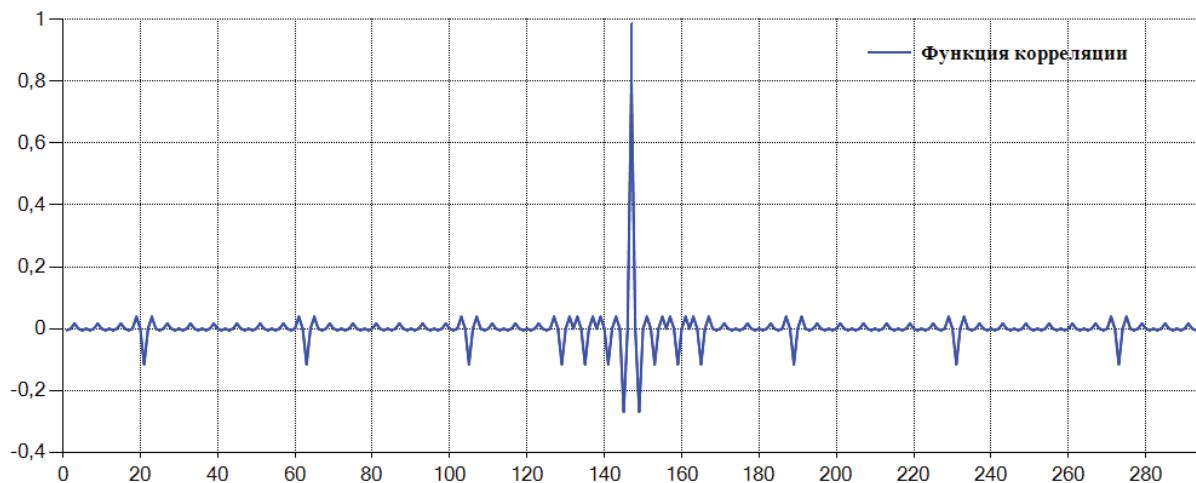


Рис. 10. АКФ комбинированного сигнала Баркера 7–7–3

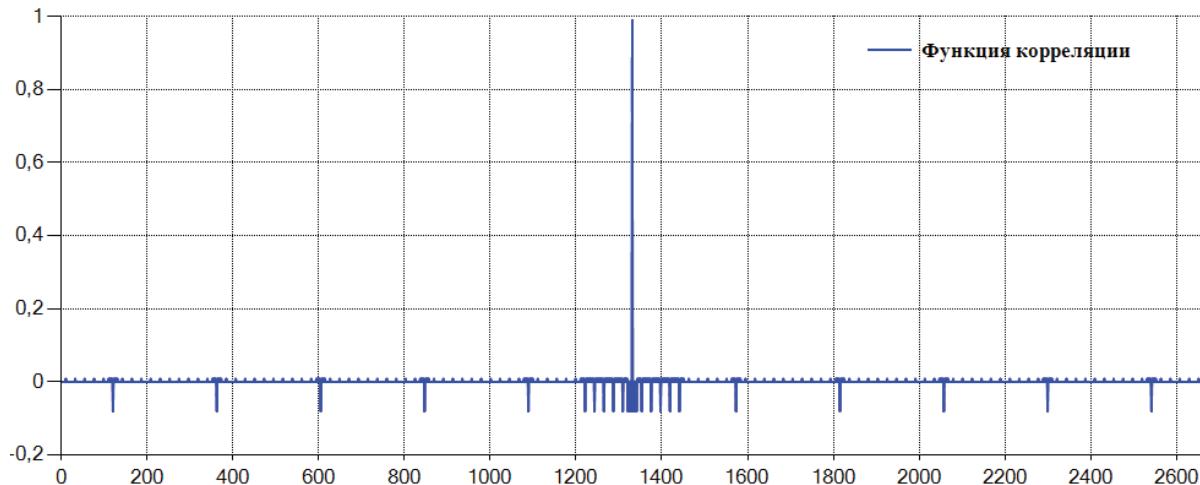


Рис. 11. АКФ комбинированного сигнала Баркера 11–11–11

Для новых сигналов предложены устройства формирования и оптимальной обработки [11] – генератор и оптимальный фильтр-обнаружитель [12, 13].

## Выводы

Сигналы, сформированные в соответствии с найденными последовательностями, могут быть надежно выделены из помех, во много раз более мощных, чем сами сигналы [14]. Такие сигналы предполагается применять в новых альтернативных каналах телемеханики железнодорожного транспорта, например, в PLC-R-каналах (по контактному проводу электрифицированных ж.д.), где уровень электромагнитных помех беспрецедентно высок [15].

## Библиографический список

1. Ли И. Применение корреляционного анализа для обнаружения периодических сигналов в шуме / И. Ли, Т. Читем, Дж. Виснер // Теория информации и ее приложения ; под ред. А. А. Харкевича. – М. : Гостехиздат ; Физматгиз, 1959. – С. 138–158.
2. Питерсон В. Теория обнаружения сигналов / В. Питерсон, Т. Бердсал, В. Фокс // Теория информации и ее приложения ; под ред. А. А. Харкевича. – М. : Гостехиздат ; Физматгиз, 1959. – С. 210–275.
3. Barker R. H. Group synchronizing of binary digital system / R. H. Barker // Commun. Theory. – L., 1953. – 273 p.
4. Eliahou S. Barker sequences and difference sets / S. Eliahou, M. Kervaire // L’Enseignement Math. – 1992. – Vol. 38. – P. 345–382.
5. Mossinghoff M. J. Wieferich pairs and Barker sequences / M. J. Mossinghoff // Des., Codes and Cryptography. – 2009. – T. 53, no. 3. – P. 149–163.
6. Turyn R. On Barker codes of even length / R. Turyn // Proc. IEEE. – Sept. 1963. – Vol. 51, no 9. – P. 1256.
7. Волынская А. В. Результаты математического моделирования процесса поиска кодовых последовательностей с заданными корреляционными свойствами / А. В. Волынская // Вестн. Урал. гос. ун-та путей сообщения. – 2009. – № 3–4. – С. 64–71.
8. Федосов В. П. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW / В. П. Федосов. – М. : ДМК-Пресс, 2007. – 456 с.
9. Волынская А. В. Новые помехоустойчивые сигналы для интеллектуального канала телемеханики / А. В. Волынская, П. М. Калинин // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 11, ч. 4. – С. 922–926.
10. Варакин Л. Е. Теория сложных сигналов / Л. Е. Варакин. – М. : Сов. радио, 1970. – 197 с.
11. Волынская А. В. Разработка устройств формирования и оптимальной обработки сложных двоичных сигналов для информационных систем железнодорожного транспорта / А. В. Волынская // Информационные технологии. – 2014. – № 2. – С. 65–70.
12. Волынская А. В. Генератор комбинированных сигналов Баркера : пат. № 2538279 РФ ; заявл. 2013137346 ; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1.

13. Волынская А. В. Обнаружитель комбинированных сигналов Баркера : пат. № 2538280 РФ ; заявл. 2013137347 ; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1.
14. Волынская А. В. Моделирование метода весового накопления сигнала для сетей передачи информации транспорта / А. В. Волынская, Б. С. Сергеев // ЭЭТ. – 2008. – № 3. – С. 2–6.
15. Волынская А. В. Предпосылки применения псевдослучайных сигналов-переносчиков в каналах телемеханики железнодорожного транспорта / А. В. Волынская, Б. С. Сергеев // Транспорт : наука, техника, управление : науч. инф. сб. РАН ВИНИТИ. – 2011. – Вып. 6. – С. 39–41.

## **Results of search of combined Barker signals with base more than 121**

Anna V. Volynskaya

,,Information technology and data protection“ department  
Ural state university of railway transport

The paper contains results of search of binary signals with optimal autocorrelation function as well as of computer modeling for estimation of their noise-immunity.

**Keywords:** complex binary signals; correlation receiving; barker codes; noise-immunity computer modeling.

### **Сведения об авторе**

**ВОЛЫНСКАЯ Анна Владимировна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и защита информации» Уральского государственного университета путей сообщения;  
*e-mail:* Anna-Volinskaya@mail.ru

© Волынская А. В., 2017

# *Электронное моделирование*

УДК 004.021+656.25

**Д. С. Марков, А. А. Лыков, В. Б. Соколов, Т. Ю. Константинова**

## **КОНЦЕПЦИЯ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ДИНАМИЧЕСКОГО ПОРЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

Предложена концепция синтеза модели порционного динамического моделирования (МПДМ) сложных систем массового обслуживания (ССМО). Концепция включает принципы построения моделей обслуживающих устройств и морфологической сетевой модели ССМО на основе порционной формализации потоков заявок. МПДМ развивает метод порционного моделирования, чтобы обеспечить возможность оценивать не только параметры загрузки ССМО и ее подсистем, но и временные характеристики процессов обслуживания заявок. В качестве инструментального средства реализации МПДМ выбрана среда процессного моделирования дискретных процессов в непрерывном времени – GPSS WORLD. Определены средства GPSS WORLD и технические приемы синтеза МПДМ с их использованием.

**Ключевые слова:** сложные системы массового обслуживания; заявка-порция; метод порционного динамического моделирования; модель обслуживающих устройств; морфологическая сетевая модель ССМО.

## **Введение**

Основные идеи метода порционного динамического моделирования (МПДМ) сложных систем массового обслуживания (ССМО) изложены в работах [1–3] и сформулированы на основе имитационных исследований ССМО, обладающих следующими свойствами:

- отдельные заявки имеют малый вес в процессе обслуживания;
- количество заявок, поступающих на входы системы и находящихся в процессе обслуживания, велико;
- количество входов и выходов системы велико;
- потоки заявок неравномерны во времени;

- интенсивность и неравномерность потоков заявок на разных входах системы различны;
- система обслуживания представляет собой сложную сеть с большим количеством разнородных обслуживающих устройств и накопителей;
- маршруты обслуживания заявок в системе разнообразны, сложны и определяются множеством логических условий разного вида.

К системам такого класса относятся: железнодорожная сеть по перевозкам грузов и пассажиров, метрополитен по обслуживанию пассажиропотоков, информационные и информационно-управляющие системы в хозяйстве железнодорожной автоматики и телемеханики по обработке информационных и диагностических сообщений [4–8] и т. п.

Задачи операционных исследований таких систем: определить узкие места в процессе обслуживания заявок, оценить дефицит (профицит) емкостей накопителей и пропускных способностей обслуживающих устройств (ОУ) с учетом плановых ремонтов, отказов и восстановлений, определить наличие и оценить характеристики очередей заявок на входах и внутри системы.

Предлагаемая в данной работе версия МПДМ должна, в отличие от предыдущей [3], позволять наряду с указанными операционными характеристиками оценивать затраты времени на обслуживание заявок. Очевидно, что МПДМ должна разрабатываться как сетевая модель ССМО [9], основными узлами которой являются модели обслуживающих устройств (МОУ). Синтез сетевой модели (соединение МОУ) предлагается реализовать на основе морфологической формализации имитационных моделей (ИМ) ССМО [10], что упрощает процедуры синтеза моделей систем с жесткой структурой, таких как метрополитен по обслуживанию пассажиропотоков.

Цели разработки МПДМ:

- сократить затраты труда на синтез ИМ и операционные исследования конкретных ССМО;
- обеспечить адекватность синтезируемых ИМ;
- сократить в десятки раз затраты машинного времени на проведение серий имитационных экспериментов для операционных исследований систем данного класса (в зависимости от размера порций заявок и свойств исследуемой системы) по сравнению с классической формализацией имитационных моделей ССМО на основе представления заявок как единичных объектов (ЕО).

## **1. Основные положения**

В соответствии со сформулированными требованиями синтез МДПМ предполагает разработку:

- модели внешней среды;
- МОУ порций заявок;

- сетевой модели обслуживания порций заявок на основе морфологической формализации ИМ ССМО.

Формализованная схема ССМО включает модель внешней среды на основе порционной формализации потоков заявок и модель собственно ССМО на основе МОУ и морфологической формализации ИМ.

Модель внешней среды  $V_T$  в МПДМ основывается на понятии «заявка-порция». Заявка-порция ( $P_i$ ) – это совокупность заявок ЕО, поступающих в систему за заданный интервал времени  $\Delta T_i$  и рассматриваемая как единый элемент  $P_i; i = \overline{1, I}$  потока, где  $i$  – индекс порции по расположению на оси времени от начала моделируемого периода, причем  $P_i = \sum p_{i,j}; j = \overline{1, J}$ , где  $p_{i,j}$  – порция заявок, поступивших за  $i$ -й интервал на  $j$ -й вход, а  $J$  – количество входов в ССМО.

Порция  $P_i$  описывается следующими характеристиками:

- функция  $\lambda t = f(t)$ , определяющая интенсивность поступления заявок ЕО от текущего времени;

• размер порции  $K_p = f(\lambda t)$  – количество ЕО в порции  $P_i$ . Максимальным размером порции является весь поток заявок за исследуемый период времени, например, за смену, сутки и т. п., минимальным – одна заявка (единичная порция). Размер порции от максимального до минимального значения выбирается в зависимости от задач конкретных исследований. Событие  $E(t + \Delta T_i)$  состоит в поступлении порции в систему в момент  $t + \Delta T_i$ , если предыдущая порция поступила в момент времени  $t$ .

Таким образом, в МПДМ поток заявок ЕО аппроксимируется потоком заявок-порций  $p_{i,j}$ , а случайным объектом является количество ЕО в порции  $K_p = f(\lambda t)$ .

Формализованная схема исследуемой системы как ССМО в соответствии с морфологическим подходом формируется на основе структурного описания  $S$ :

$$S = \{C_{j,m}^{\text{вх}}; U; H; R_m; C_{m,k}; O\},$$

где  $C_{j,m}^{\text{вх}}$  – множество связей элементов со входами ССМО;  $U$  – множество элементов  $u_m, m = \overline{1, M}$ , рассматриваемых в конкретном исследовании;  $H$  – множество накопителей  $h_z$ ,  $R_m$  – множество свойств  $m$ -го элемента  $m = \overline{1, M}$ ;  $C_{m,k}$  – множество связей  $m$ -го элемента с  $k$ -ми,  $m \neq k$ ;  $O$  – множество операций, выполняемых системой  $S$  по обслуживанию заявок-порций  $p_{i,j}$ .

Связи  $C_{m,k}$  формируют морфологическое описание исследуемой ССМО и могут быть как безусловными, так и условными. При безусловной связи заявка  $p_{i,j}$  без задержки передается от  $m$ -го элемента  $k$ -му. В случае условной связи переход  $p_{i,j}$  от  $m$ -го элемента  $k$ -му определяется значениями ждущих  $\alpha$ , логических  $q$  и вероятностных  $g$  логических условий, а также специфического только для порционной формализации вероятностного условия  $\beta$ . Условия

$\alpha, q, g$  являются классическими и не требуют пояснений. Выполнение условия  $\beta$  приводит к делению заявки-порции  $p_{i,j}$  на две, каждой из которых приписывается значение  $K_p$ , соответствующее вероятности данного условию  $\beta$ , и переход к следующему  $u_m$ .

## 2. Принципы и средства синтеза МПДМ-Г

В соответствии с [11] в качестве инструментального средства синтеза МПДМ выбрана среда имитационного моделирования дискретных процессов GPSS WORLD, поэтому модели присвоен идентификатор МПДМ-Г.

### Модель внешней среды $V_T$

Заявка-порция  $p_{i,j}$  имитируется динамическим объектом GPSS – транзактом ( $Z_{i,j}$ ), в параметры которого операторы ASSIGN записывают следующую информацию:

- $p1$  – индекс  $j$  входа ССМО, на который поступила порция  $p_{i,j}$ ;
- $p2$  – метка времени  $t_i$  поступления  $p_{i,j}$  в ССМО;
- $p3$  – величина интервала  $\Delta T_i$ ;
- $p5$  – величина  $K_p$  порции заявок по  $j$ -му входу для  $i$ -го интервала;
- $p10$  – время задержки транзакта на обслуживание устройством  $u_m$ .

Моделирование события  $E(t + \Delta T_i)$ , т. е. ввод транзакта в модель, выполняет для каждого  $j$ -го входа ССМО оператор GENERATE, в операнд А которого записывается значение  $\Delta T_i$ .

### Модель обслуживающих устройств

При разработке МОУ используют следующие параметры:

- $\lambda_{i,j}^c$  – среднюю интенсивность потока заявок за  $i$ -й интервал по  $j$ -му входу (среднее количество заявок ЕО в единицу времени, поступающих на  $j$ -й вход системы в течении  $i$ -го интервала);
- $\lambda_m = \sum \lambda_{i,j}^c$  – суммарную интенсивность потока заявок ЕО на входе  $m$ -го устройства;
- $\Pi_m$  – производительность  $m$ -го устройства (количество заявок ЕО, обслуживаемых устройством в единицу времени).

Концепция МПДМ-Г предусматривает представление в качестве заявок порций ЕО, поступивших в ССМО за заданный интервал времени  $\Delta T_i$ , что определяет ряд специфических требований к моделям ОУ  $u_m$ :

1. В многофазных ветвях сетевых моделей ССМО одна заявка-порция может одновременно занимать несколько ОУ, последовательно занимая и освобождая их в зависимости от времени выполнения операций каждым ОУ;

2. Момент освобождения  $u_m$  в многофазной ветви определяется соотношением времени выполнения операций данным и предыдущим ОУ. Так, если время выполнения операции по обслуживанию  $p_{i,j}$  предыдущим ОУ больше,

чем данным, то момент освобождения данного ОУ этой порцией не может наступить раньше освобождения предыдущего  $u_m$ ;

3. Одноканальное ОУ могут одновременно занимать более одной  $p_{i,j}$  в зависимости от соотношения суммарной интенсивности  $\lambda_m$  заявок-порций, поступающих на вход  $u_m$ , и его производительности  $\Pi_m$ . Одновременность понимается в смысле частичного совпадения времени обслуживания нескольких  $p_{i,j}$ , но не по времени их входа в ОУ;

4. При одновременном обслуживании нескольких  $p_{i,j}$  необходимо пересчитывать время их совместного пребывания в ОУ для каждой заявки-порции;

5. В ССМО с приведенными выше свойствами перед ОУ, как правило, имеются накопители  $h_z$ .

МОУ в среде GPSS могут разрабатываться на основе объектов аппаратной категории: одноканальное – «устройство», многоканальное – «память», двухпозиционное – «логический ключ». Использование «устройства» для синтеза МОУ невозможно, так как оно является одноканальным и может заниматься только одним транзактом, имитирующим ЕО, что противоречит требованию 3 к МОУ в МПДМ-Г. Целесообразно проанализировать возможность синтеза МОУ, отвечающей требованиям 1–5 с использованием многоканального объекта «память». Требования 1, 2, 5 определяют правила поведения МОУ как элемента сетевой модели ССМО, поэтому на первом этапе синтеза модели необходимо выполнить требования 3 и 4. Требование 3 предполагает реализацию одновременного обслуживания в МОУ нескольких транзактов-порций  $Z_{i,j}$ , возможное количество которых зависит от соотношения производительности ОУ  $\Pi_m$  и суммарной интенсивности порций заявок на его входе –  $\lambda_m$ . Важно, что  $\lambda_m$  определяется интенсивностью ЕО на интервале  $p_{i,j}$  и количеством  $p_{i,j}$  на входе ОУ. Такое представление потока заявок позволяет предложить следующий искусственный прием к использованию объекта «память» для синтеза МОУ:

- емкость памяти задается командой  $mou2 storage \Pi_m \cdot K$ ;
- занятие памяти с именем  $mou2$  транзактом  $Z_{i,j}$  выполняется оператором  $enter mou2, (p4 \cdot K)$ .

Возможность занятия МОУ транзактом  $Z_{i,j}$  проверяется оператором  $test ge r$mou2, (p4 · K), nscopit2$ .

Это означает, что при выполнении условия достаточности текущего количества элементов  $r$mou2$  транзакт займет память  $mou2$ , в противном случае он будет направлен в накопитель с именем  $nscopit2$ . В качестве накопителей используются списки пользователя, количество которых соответствует количеству накопителей в моделируемой системе.

Таким образом, общее количество элементов памяти определяется производительностью ОУ, а количество занимаемых элементов при входе  $Z_{i,j}$  – интенсивностью ЕО (параметр  $p4$  транзакта) на интервале, для которого задана  $p_{i,j}$ . Коэффициент  $K$  масштабирует значения  $\Pi_m$  и  $\lambda_{i,j}^c$  до целых значений с тре-

буемой точностью, так как выполнение процедур с памятью возможно только с целочисленными значениями количества элементов. Значение коэффициента  $K$  должно быть одним и тем же для всех МОУ, входящих в МПДМ-Г конкретной системы. Использование памяти и списков пользователя для представления накопителей позволило разработать МОУ, отвечающую требованиям 1–5 [12].

### *Морфологическая формализация МПДМ-Г*

МОУ являются узлами сетевой МПДМ. Для организации сетевой модели в работе предложен подход, основанный на морфологической формализации ССМО, цель которой – синтез моделирующей программы, не зависящей от свойств исследуемой системы, на основе формализованной схемы  $V_r, S$  как ССМО.

Для решения поставленной задачи МПДМ-Г должна отвечать следующим требованиям:

1) элементы системы, их связи, логика доступности связей (условные, безусловные), множество выполняемых элементами операций и их параметров должны описываться на уровне исходных данных моделирующей программы (МП);

2) моделирующий алгоритм (МА) должен представлять собой алгоритм обработки данных п. 1 о моделируемой системе как ССМО в процессе обслуживания заявок-порций;

3) МП должна включать генераторы потоков заявок-порций, имитирующих внешнюю среду  $V_r$  и библиотеку МОУ, позволяющих моделировать различные устройства исследуемой системы;

4) изменения данных п. 1 не должны приводить к изменению МА. Это означает, что при изменениях множества  $U$  элементов, структуры исследуемой или другой системы МП не должна модифицироваться в рамках моделирования ССМО.

Для реализации сформулированных требований в соответствии с формализованной схемой  $V_r, S$  в среде GPSS World [5] предложен следующий подход:

1) в GPSS-программу включается библиотека генераторов потоков заявок, предложенная в [6];

2) в GPSS-программу включается библиотека моделей обслуживающих устройств  $u_m$ ,  $m = 1, M$ , причем каждой модели присваивается код  $K_m^u = 1 \dots M$ ;

3) заявки-порции  $p_{i,j}$  отображаются транзактами (см. модель внешней среды);

4) операциям  $O_g$  множества присваиваются коды  $K_g^o = 1 \dots G$ ;

5) вводятся паспорта устройств системы  $S e_j$ , представляющие собой матрицу, идентификатором которой является код  $K_j^e = 1 \dots J$ . Паспорт устройства  $e_j$  содержит следующую информацию:

- в первом столбце первой строки записывается код  $K_m^u = 1 \dots M$  модели обслуживающего устройства  $u_m$ ;
- во второй строке записываются коды операций  $K_g^o = 1 \dots G$ , выполняемых данным устройством;
- в следующих строках матрицы записываются коды паспортов  $K_j^e$ , с которыми связан данный элемент по типу заявки (номера строк  $i + 2$ ), тем самым реализуются связи  $C_{m,k}$ ;
- в среде GPSS World паспорта устройств представляются матрицами ячеек  $MXj, j=1, J$ ;

6) вводится паспорт входа в систему, представляющий собой матрицу ячеек с одной строкой, в столбцах которой записываются коды  $K_j^e$  паспортов элементов, с которых начинается обслуживание заявки в системе, тем самым реализуются связи  $C_{j,m}^{bx}$ . В GPSS-программе паспорт входа представляется матрицей ячеек  $MX\$VHOD$ .

Коды  $K_g^o, K_j^e, K_m^u$  присваиваются элементам множеств  $O, E, U$  в произвольном порядке.

В сложных системах связи  $C_{j,m}^{bx} C_{m,k}$  могут быть «жесткими» (безусловными) или условными. Условные связи в зависимости от состояний системы могут быть доступными или недоступными в данный момент времени. Следует отметить, что связи  $C_{j,m}^{bx} C_{m,k}$  реализуются в GPSS-программе переходом транзакта от одного элемента к другому в соответствии с данными паспортов. Тогда «жесткая» связь означает безусловный переход транзакта от данного элемента к элементу-последователю. Для описания условных связей вводится объект оборудования языка GPSS – логический ключ (LK), каждому из которых присваивается код  $K_q^{LK}, q = \overline{1, Q}$ ; где  $Q$  – количество условных связей из множеств  $C_{j,m}^{bx} C_{m,k}$ .

Для установки ключей в требуемое состояние вводятся булевы функции, описываемые в языке GPSS объектом BVARIABLE:

$$K_q^{LK} \text{BVARIABLE } (f(s)),$$

где  $K_q^{LK}$  – идентификатор булевой переменной;  $f(s)$  – логическая функция состояний системы  $S$ .

Если  $K_q^{LK} \text{BV} = 1$ , то LR с кодом  $K_q^{LK}$  устанавливается в состояние «включено» ( $S$ ), в противном случае – в состояние «выключено» ( $R$ ). Включенный ключ означает доступность, выключенный – недоступность связи для данного транзакта. Для моделирования ситуации «отказ жесткой связи» также вводятся  $LK$  с кодами  $K_b^{LK}, b = \overline{1, B}$ , где  $B$  – количество жестких связей. На основе сформулированных положений авторами разработана GPSS-программа – морфологическая формализация ССМО, которая является совместно с МОУ основой синтеза МПДМ-G.

## **Выводы**

Предложенная в данной работе модель обслуживающих устройств на основе порционной формализации потоков заявок позволяет решить задачу синтеза сетевой модели как модели порционного динамического моделирования ССМО при сокращении в десятки раз затрат машинного времени на выполнение серий имитационных экспериментов. Сокращение затрат машинного времени очевидно и достигается за счет уменьшения количества событий в GPSS-модели пропорционально количеству единичных объектов, включенных в одну заявку-порцию. Синтез сетевой модели на основе МОУ предложено выполнять с использованием морфологической формализации, обеспечивающей настройку МПДМ-G для исследования конкретных ССМО на уровне базы данных без изменения МП.

Получены следующие результаты:

- сформулированы требования к МОУ заявок-порций;
- предложено в качестве основы МОУ использовать объект оборудования языка GPSS – память;
- предложено соотносить производительность обслуживающих устройств и интенсивность единичных объектов потоков заявок с объемами памяти;
- на основе использования памяти предложены решения по одновременному обслуживанию нескольких заявок-порций МОУ и перерасчету времени их обслуживания, одновременному занятию нескольких МОУ одной заявкой-порцией с организацией их последовательного освобождения по соотношению производительности обслуживающих устройств;
- введено понятие паспортов обслуживающих устройств и входов системы, позволившее достаточно просто морфологически формализовать сетевую модель ССМО в МПДМ-G;
- определен состав информации паспортов и средства GPSS для их обработки в процессе моделирования;
- введены понятия жестких и условных связей по входам и между элементами. Определены средства GPSS для их моделирования в МПДМ-G [12].

Перспективные направления работ:

- развитие МОУ для обеспечения их адекватности различным реальным обслуживающим устройствам, например эскалаторам метрополитена;
- разработка библиотек МОУ для синтеза МПДМ на основе морфологической формализации имитационных моделей ССМО;
- расширение состава реквизитов паспортов входа и элементов системы с целью более полного учета свойств устройств различных ССМО;
- совершенствование системы кодирования паспортов МОУ и связей между ними для ускорения процесса моделирования;
- разработка имитационной модели пересадочного узла метрополитена как МПДМ на основе МОУ;

- выполнение операционных исследований пересадочных узлов метрополитена на МПМД для оценки адекватности модели и выработки практических рекомендаций по организации работы устройств пересадочных узлов.

## **Библиографический список**

1. Василенко М. Н. Имитационная модель обслуживания пассажиропотоков на метрополитене / М. Н. Василенко, Д. С. Марков, В. Б. Соколов, К. Г. Сорокин // Конструирование, сертификация и техническая эксплуатация устройств и систем ж.-д. автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. ПГУПС. – СПб., 2003. – С. 17–25.
2. Марков Д. С. Определение загрузки станций и узлов Петербургского метрополитена в экспертной системе / Д. С. Марков, В. А. Яковлев, В. Б. Соколов // Автоматика и телемеханика железных дорог России. Техника, технология, сертификация : сб. науч. тр. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2009. – С. 45–50.
3. Марков Д. С. Метод порционного моделирования транспортных систем массового обслуживания / Д. С. Марков, В. Б. Соколов // Развитие элементной базы и совершенствование методов построения устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. научн. тр. – СПб. : ПГУПС, 2014. – С. 43–47.
4. Лыков А. А. Техническое диагностирование и мониторинг состояния устройств ЖАТ / А. А. Лыков, Д. В. Ефанов, С. В. Власенко // Транспорт РФ. – 2012. – № 5. – С. 67–72.
5. Ефанов Д. В. Некоторые аспекты развития систем функционального контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов // Транспорт Урала. – 2015. – № 1. – С. 35–40.
6. Ефанов Д. В. Становление и перспективы развития систем функционального контроля и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 1. – С. 124–148.
7. Нестеров В. В. Развитие систем СТДМ, АСУ-Ш-2 и АОС-ШЧ / В. В. Нестеров // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 12. – С. 45–46.
8. Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : моногр. / Д. В. Ефанов. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – 171 с.
9. Советов Б. Я. Моделирование систем / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – М. : Высш. шк., 2001. – 343 с.
10. Марков Д. С. Метод формализации имитационных моделей технологических процессов в хозяйстве автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте / Д. С. Марков, А. А. Лыков // Известия ПГУПС. – 2012. – Вып. 1. – С. 23–28.
11. Кудрявцев Е. М. GPSS WORLD. Основы имитационного моделирования различных систем / Е. М. Кудрявцев. – М. : ДМК-Пресс, 2004. – 317 с.
12. Булавский П. Е. Синтез GPSS-модели обслуживающих устройств сложных систем массового обслуживания на основе порционной формализации / П. Е. Булавский, Д. С. Марков, В. Б. Соколов, В. А. Соколов // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 3. – С. 442–455.

# **Concept and tools of dynamic portion modeling of complex mass service systems**

Dmitriy S. Markov, Andrey A. Lykov,  
Vadim B. Sokolov, Tatyana Yu. Konstantinova

*„Automation and remote control on railways“ department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

The concept of complex mass service systems (CMSS) portion dynamic modeling model (PDMM) synthesis is offered. Concept includes principles of servicers models and morphologic CMSS net model formation based on portion formalization of request flows. PDMM is a development of portion modeling method with the aim of provision of evaluation of CMSS and its subsystems load parameters as well as time characteristics of queuing processes. The environment of process modeling of discrete processes in continuous time GPSS WORLD was chosen as a tool for PDMM realization. Means of GPSS WORLD and technique of PDMM synthesis with its use are stated.

**Keywords:** complex mass service systems; request-portion; portion dynamic modeling method; servicers model; morphologic CMSS net model.

## **Сведения об авторах**

*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

*ЛЫКОВ Андрей Александрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* bastdrew@mail.ru

*СОКОЛОВ Вадим Борисович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* SVB9@yandex.ru

*КОНСТАНТИНОВА Татьяна Юрьевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* at-tanya@mail.ru

© Марков Д. С., Лыков А. А., Соколов В. Б., Константинова Т. Ю., 2017

# РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЫ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

**Г. Д. Даглдиян, Д. В. Швалов, Ю. В. Давыдов**

Работа посвящена методам распознавания объектов на топографической карте. Представлена последовательность действий, необходимых для поиска площадных условных знаков, а также рассмотрен алгоритм поиска и классификации других топографических знаков в уже распознанных областях. В качестве примера приведен результат обработки фрагмента карты с помощью метода «скользящего окна» и сверточной нейронной сети.

**Ключевые слова:** *распознавание образов; топографическая карта; нейронная сеть; сверточная нейронная сеть; скользящее окно.*

## Введение

В Ростовском государственном университете путей сообщения разработан прототип интерактивного тренажера камерального трассирования нового участка железнодорожной трассы [1]. Одна из задач преподавателя при использовании тренажера – предобработка топографических карт: выделение областей ключевых знаков, нанесение проверочных меток. Это трудоемкий процесс, потому что действия выполняются вручную (рис. 1). Поэтому актуально создание модуля автоматического распознавания объектов топографической карты и их сохранение в базе данных с привязкой к конкретной топографической карте и координатам на ней. Актуальность проблемы подтверждается результатами исследований, проводимых учеными Военного института (топографического) Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского и Уральского государственного университета путей сообщения [2–6].

## 1. Обработка цифровых изображений

Технология обработки цифровых изображений в общем случае содержит три этапа [7–9]:

1) предобработки – предварительной фильтрации и подготовки изображения (удаления шумов, устранения размытости, улучшения изображения);

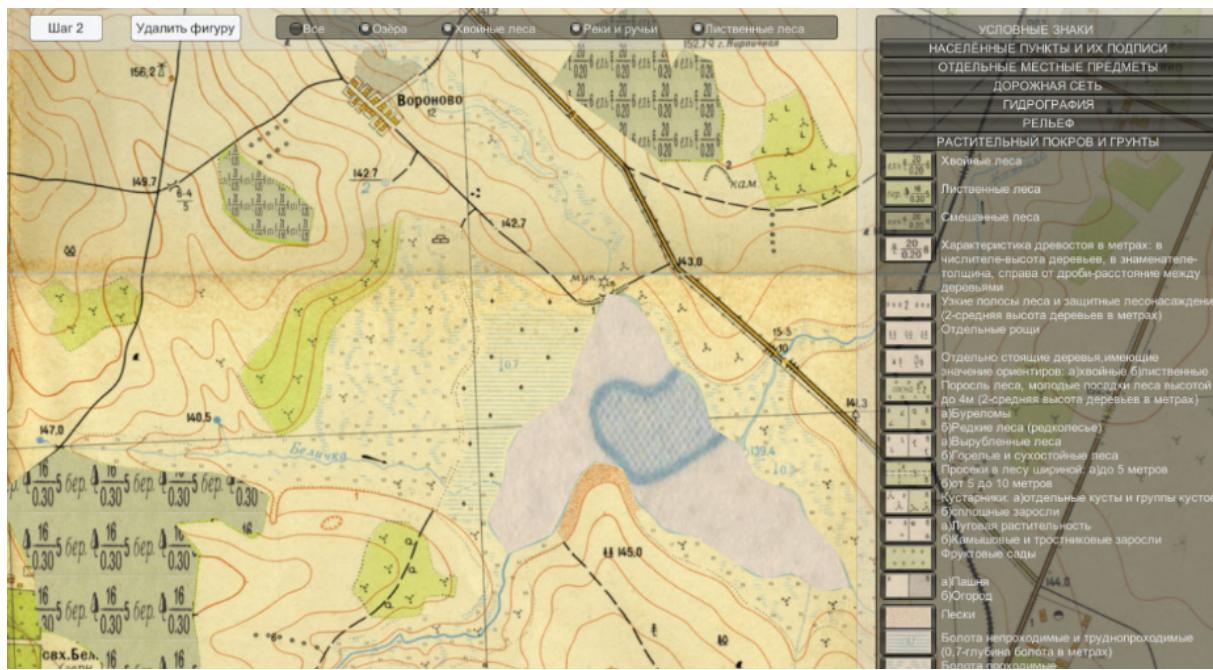


Рис. 1. Интерфейс преподавателя

2) сегментации – логической обработки результатов фильтрации (кластеризации, распознавания цветов, текстурного разделения);

3) принятия решений по алгоритму на основе логической обработки (обучения).

Применительно к распознаванию условных «площадных» знаков на топографической карте эта технология выглядит следующим образом:

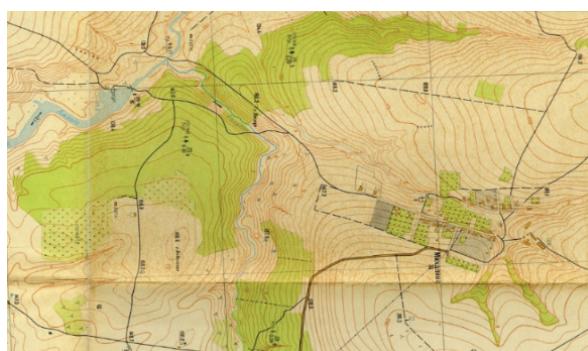
1) фильтрация карты (рис. 2а) – максимальное удаление «шумов» – практически исчезают изолинии и обозначения на площадных условных знаках (рис. 2б);

2) редукция цветов карты (рис. 3) – выделение всех «чистых» цветов на карте в два этапа:

- преобразование цветовой модели карты из RGB в HSV, в результате чего упрощается поиск доминантных цветов;

- приведение изображения в доминантных цветах;

а



б

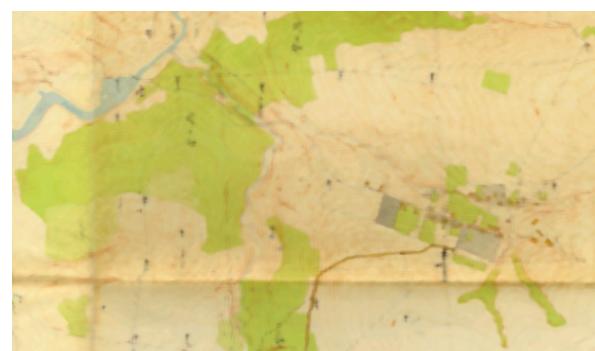


Рис. 2. Исходный фрагмент карты (а) и фрагмент после применения фильтра «медианное сглаживание» (б)

**Рис. 3.** Карта в доминантных цветах

- 3) фильтрация карты по цвету и бинаризация – удаляются все цвета, кроме выбранного, производится бинаризация результата;
- 4) контурный анализ – поиск контуров (рис. 4);
- 5) объединение результатов (рис. 5);
- 6) поиск и анализ других условных знаков в распознанных областях (рис. 6).

Для поиска и анализа искомых условных знаков предлагается использовать аппарат искусственных нейронных сетей, широко применяемый для распознавания образов. При решении таких задач сетями персептронного типа [10–13] возникает проблема, связанная с потерей информации при передаче данных из слоя в слой, причем с каждым слоем эта потеря усугубляется. Возможными последствиями могут быть искажение топологии изображения, т. е. взаимосвязей между его отдельными частями.



**Рис. 4.** Результат контурного анализа



**Рис. 5.** Результат объединения исходной карты с результатом контурного анализа

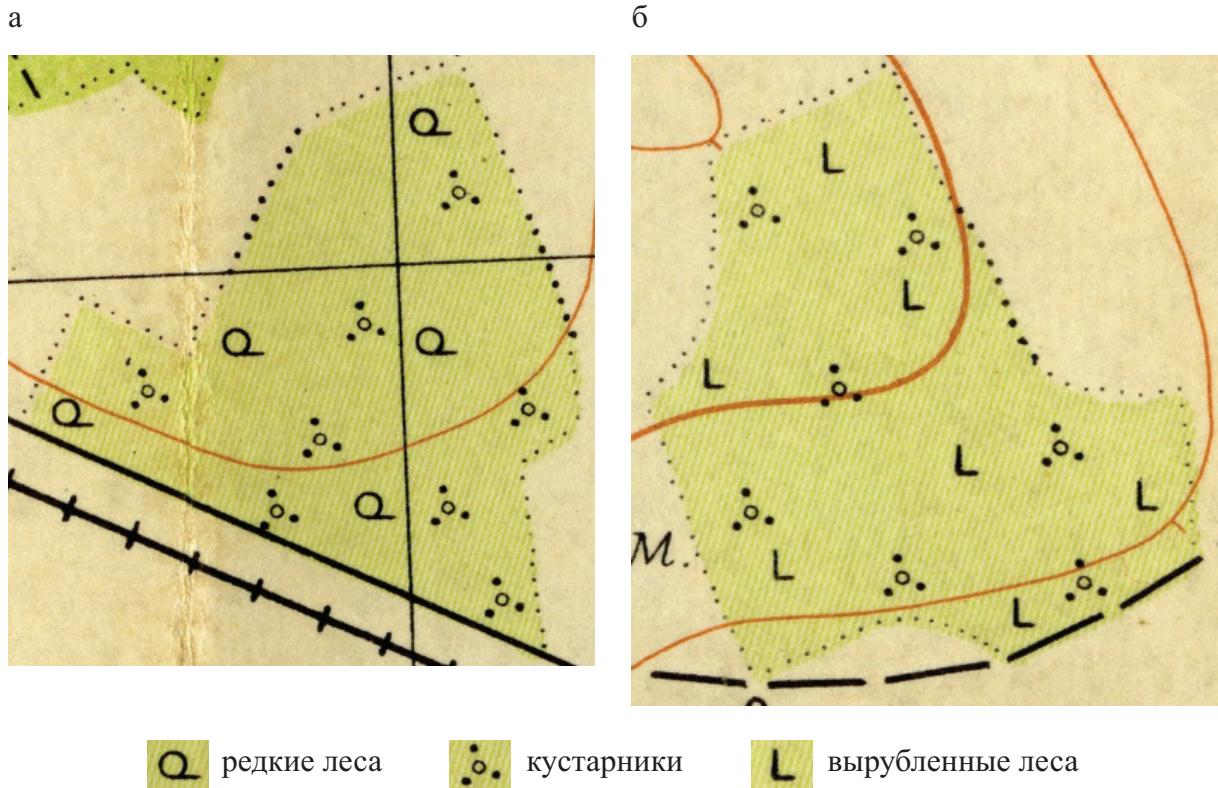
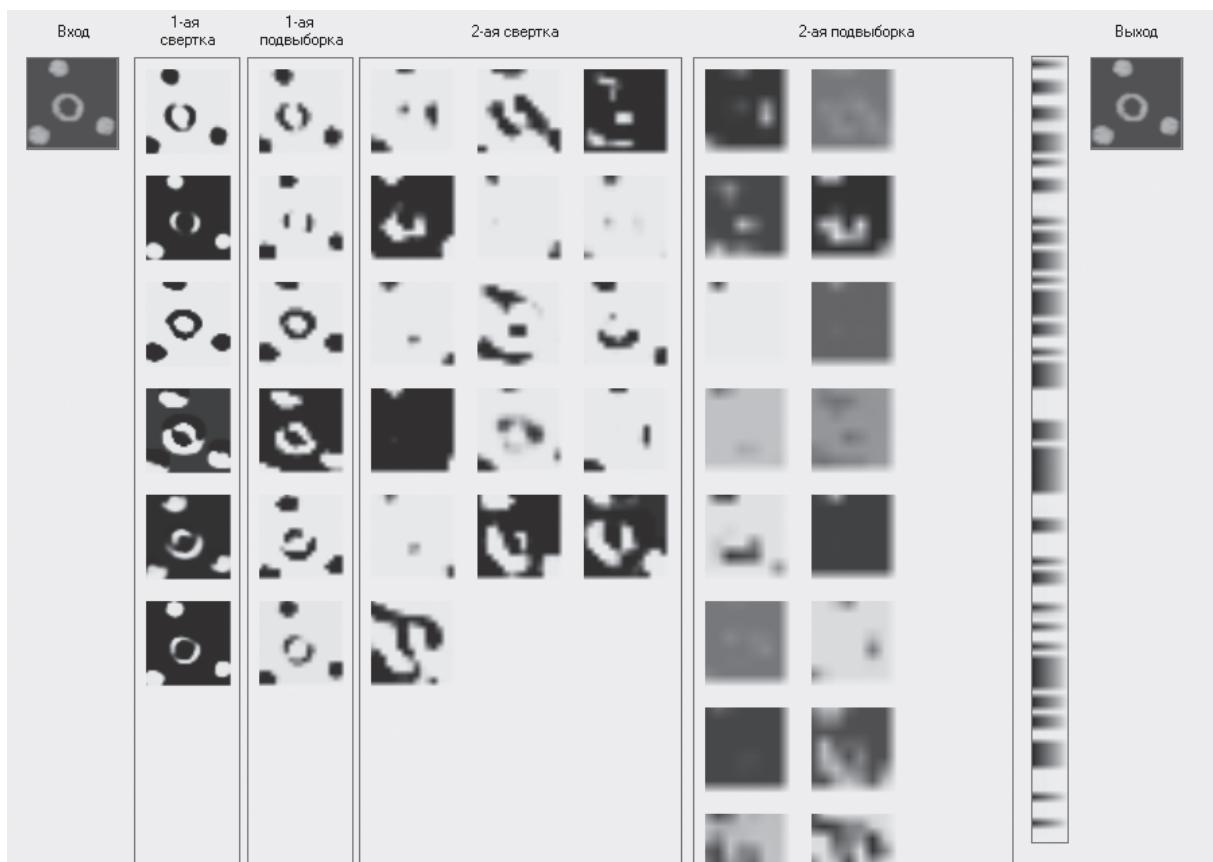


Рис. 6. Фрагмент топографической карты

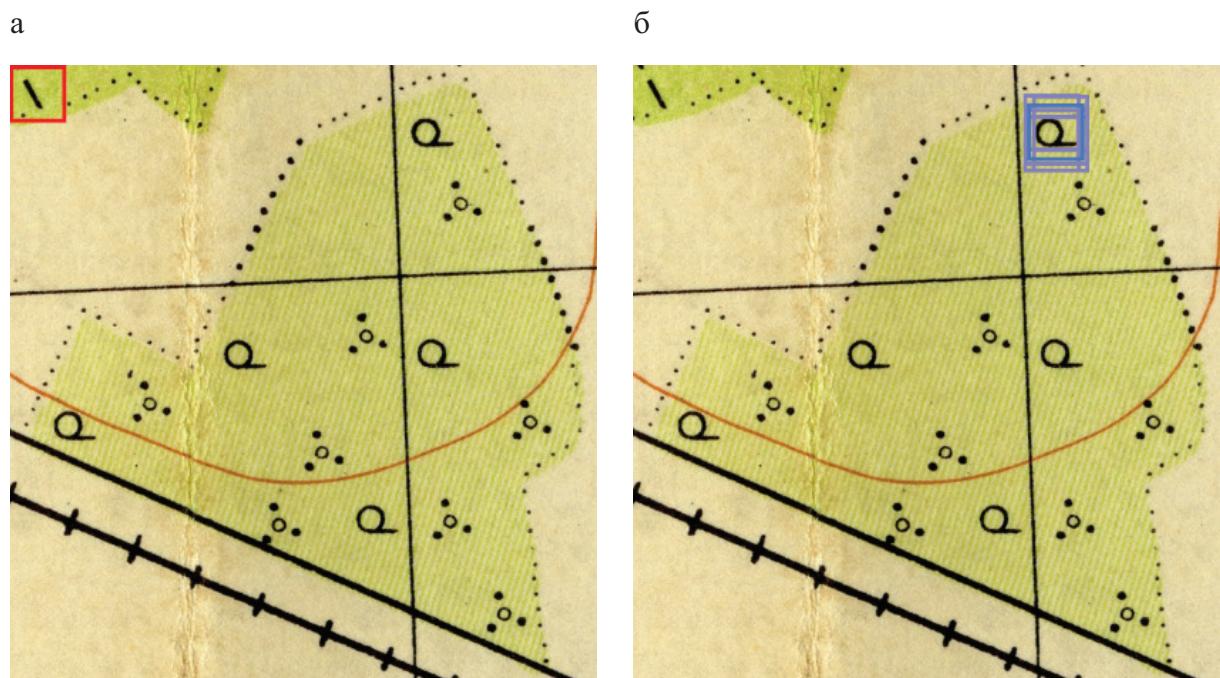
## 2. Применение нейронных сетей для обработки данных

Применение сверточных нейронных сетей [14–18] позволяет решить такую проблему. В таких сетях чередуются сверточные (C-layers) и субдискретизирующие слои (S-layers) и имеются полносвязные слои (F-layers) на выходе. Таким образом, сверточная нейронная сеть – это односторонняя многослойная нейронная сеть. Для обучения сети и активации нейронов используют стандартные методы (например, обратного распространения ошибки) и функции активации.

После обучения сверточной нейронной сети (рис. 7) необходимо найти искомые топографические символы на заранее распознанных областях карты. Для этого предлагается применить метод распознавания «скользящее окно», который эффективно используется в различных задачах компьютерного зрения и распознавания объектов [4, 19]. Действия выполняются по следующему алгоритму: «окно» размером меньшим, чем исходное изображение, двигается с некоторым шагом по изображению; на каждом шаге распознается фрагмент карты, находящийся в области «окна»; если обнаруживается один из эталонных объектов, то определяется его тип (рис. 8), если нет, то «окно» переходит на следующий шаг. Для распознавания и классификации объектов используется сверточная нейронная сеть.



**Рис. 7.** Процесс обучения сверточной нейронной сети



**Рис. 8.** Поиск методом «скользящего окна»:  
а) нет искомого объекта; б) неоднократное распознавание одного объекта

Как видно на рис. 8, в «скользящем окне» может не оказаться ни одного искомого объекта (рис. 8а) либо в нескольких «окнах» может распознаться один и тоже объект (рис. 8б). В первом случае идет дальнейший поиск объектов, во втором необходимо проанализировать расположение «скользящих окон»:

- если «окна» распознали разные типы объектов, то для каждого типа нужно определить расположение результирующего «окна» исходя из среднего арифметического значения расположения других «окон»;
- если «окна» распознали одинаковые типы объектов, то в зависимости от взаимного расположения «окон» и оценки достоверности распознавания определяется количество объектов, затем для каждого объекта вычисляется расположение результирующего «окна» и принимается окончательное решение о местоположении объекта.

Результат распознавания представлен на рис. 9.

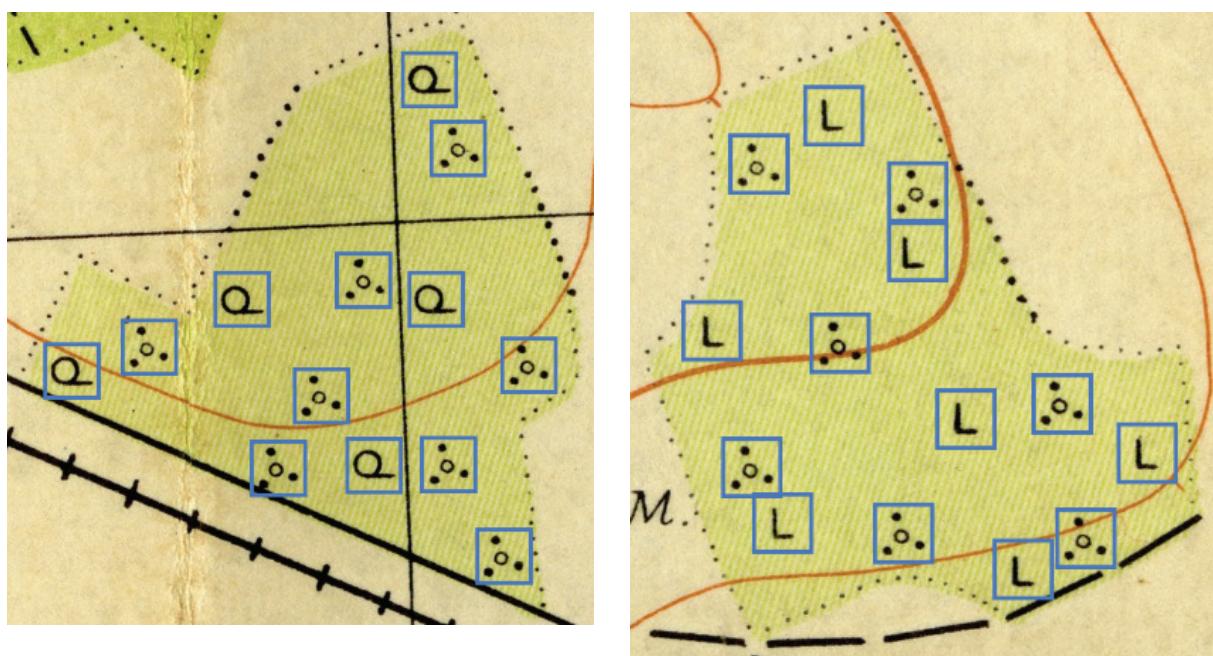


Рис. 9. Распознанные фрагменты топографической карты

## Выводы

После внедрения предлагаемых модификаций алгоритмического обеспечения тренажера работа преподавателя сводится к корректировке (при необходимости) формы и расположения эталонных объектов, которые сгенерировались автоматически на основе распознавания топографической карты.

## Библиографический список

1. Дагдиян Г. Д. Современные подходы и принципы построения тренажеров и обучающих комплексов для подготовки инженеров-проектировщиков // Г. Д. Дагдиян

- ян, Д.В. Швалов // Тр. междунар. науч.-практич. конф. «Транспорт-2016». – Ростов н/Дону : РГУПС, 2016.
2. Тарасян В. С. Интеллектуальная система анализа и преобразования топографических карт / В. С. Тарасян, Н. В. Дмитриев // Соврем. проблемы науки и образования. – 2015. – № 2. – URL : <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21614> (дата обращения 01.10.2016).
  3. Тарасян В. С. Система автоматизированного построения виртуальной модели местности по топографической карте / В. С. Тарасян, Н. В. Дмитриев // Молодежь в науке : Новые аргументы : сб. науч. работ II междунар. молодежного конкурса. Ч. I. – Липецк, 2015. – С. 62–65.
  4. Дмитриев Н. В. Автоматизированная система распознавания символов на топографических картах / Н. В. Дмитриев, В. С. Тарасян // Концепт. – 2016. – Т. 11. – С. 1876–1880. – URL: <http://e-koncept.ru/2016/86402.htm> (дата обращения 01.10.2016).
  5. Дмитриев Н. В. Автоматизированная система преобразования топографических карт в геоинформационную модель / Н. В. Дмитриев // Информационные технологии и нанотехнологии. – 2016. – С. 386–389.
  6. Волков А. В. Разработка методики автоматизированного дешифрирования изображений топографических объектов с использованием нейросетевых методов : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 25.00.34 / А. В. Волков ; С.-Петербург. гос. гор. ин-т им. Г. В. Плеханова. – СПб., 2006. – 20 с.
  7. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. М. Стокман. – М. : Бином. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.
  8. Местецкий Л. М. Математические методы распознавания образов : курс лекций / Л. М. Местецкий. – М. : МГУ, 2002–2004. – 85 с.
  9. Чабан Л. Н. Теория и алгоритмы распознавания образов : учеб. пособие / Л. Н. Чабан. – М. : Моск. гос. ун-т геодезии и картографии (МИИГАИК), 2004. – 71 с.
  10. Петров А. П. О возможностях перцептрона / А. П. Петров // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1964. – № 6.
  11. Галушкин А. И. Синтез многослойных систем распознавания образов / А. И. Галушкин. – М. : Энергия, 1974. – 368 с.
  12. Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive Foundation / S. Haykin. – 2-е изд. – М. : Williams, 2006. – 1104 с.
  13. Principles of training multi-layer neural network using backpropagation. – URL: [http://galaxy.agh.edu.pl/~vlsi/AI/backp\\_t\\_en/backprop.html](http://galaxy.agh.edu.pl/~vlsi/AI/backp_t_en/backprop.html) (дата обращения 01.10.2016).
  14. Lecun Y. Gradient-based learning applied to document recognition / Y. Lecun, L. Bottou, Y. Bengio, P. Haffner // Proc. IEEE. – 1998. – Vol. 86, no. 11. – P. 2278–2324. – URL : <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=726791&isnumber=15641> (дата обращения 03.10.2016).
  15. Matusugu M. Subject independent facial expression recognition with robust face detection using a convolutional neural network / M. Matusugu. – URL: [http://www.iro.umontreal.ca/~pift6080/H09/documents/papers/sparse/matsugo\\_etal\\_face\\_expression\\_conv\\_nnet.pdf](http://www.iro.umontreal.ca/~pift6080/H09/documents/papers/sparse/matsugo_etal_face_expression_conv_nnet.pdf) (дата обращения 01.10.2016).
  16. Zeiler M. Deconvolutional networks / M. Zeiler, D. Krishnan, G. Taylor, R. Fergus // CVPR'2010. – URL : <http://www.matthewzeiler.com/pubs/cvpr2010/cvpr2010.pdf> (дата обращения 03.10.2016).
  17. Солдатова О. П. Применение сверточной нейронной сети для распознавания рукописных цифр / О. П. Солдатова, А. А. Гаршин // Компьютерная оптика. – Т. 34, № 2. – URL: <http://journals.ssau.ru/index.php/computeroptics/article/view/1374/1387> (дата обращения 01.10.2016).

18. Друки А.А. Алгоритмы распознавания рукописных подписей на основе нейронных сетей / А. А. Друки, М. А. Милешин // Фундаментальные исследования.– 2014.– № 11–9.– С. 1906–1910.– URL : <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=35866> (дата обращения 01.10.2016).
19. Сойфер В. А. Компьютерная обработка изображений. Ч. 2. Методы и алгоритмы / В. А. Сойфер // Соросовский образовательный журнал. – № 3. – 1996. – С. 110–121.

## **Recognition of topographic map objects based on convolution neural networks**

Grigory D. Dagldiyen, Dmitry V. Shvalov

,,Automation and remote control on railway transport“ department

Rostov state transport university

Yury V. Davydov

,,Computing machinery and computerized systems of control“ department

Rostov state transport university

The article is about methods of recognition of objects on a topographic map. The sequence of actions needed for areal symbols search is presented and the algorithm of search and classification of another topographic symbols in recognized areas is observed. Authors adduce the result of map fragment processing using “sliding window” method and convolution neural networks as an example.

**Keywords:** *images recognition; topographic map; neural networks; convolution neural networks; sliding window.*

## **Сведения об авторах**

*ДАГЛДИЯН Григорий Дзарукович* – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» Ростовского государственного университета путей сообщения;

*e-mail:* dgd\_ui@rgups.ru

*ШВАЛОВ Дмитрий Викторович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» Ростовского государственного университета путей сообщения;

*e-mail:* atrwt@rgups.ru

*ДАВЫДОВ Юрий Владимирович* – аспирант кафедры «Вычислительная техника и автоматизированные системы управления» Ростовского государственного университета путей сообщения»;

*e-mail:* dav\_ui@rgups.ru

© Даглдиян Г.Д., Швалов Д.В., Давыдов Ю.В., 2017

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАССАЖИРОПОТОКА НА СТАНЦИИ «КИЕВСКАЯ» МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

В. О. Шарова

Проведен сравнительный анализ инструментов моделирования и методов моделирования транспортных потоков. Выявлены особенности моделирования пассажиропотока в метрополитене. Смоделирован пассажиропоток на станции метро «Киевская» Кольцевой и Арбатско-Покровской линий.

**Ключевые слова:** интеллектуальные транспортные потоки; транспортные процессы; 3D-моделирование; моделирование пассажиропотока в метрополитене; имитационное моделирование, математическое моделирование.

### Введение

В Москве, как и в любой столице мира, существуют проблема перенаселения и как следствие – транспортные проблемы. Хотя транспортная сфера города достаточно развита, она не справляется с потоками пассажиров в часы пик. Это обусловлено несколькими факторами: во-первых, в Москву стремятся как жители России, так и иностранные граждане, во-вторых, растет количество населения, в-третьих, транспортная организация города не продумана. На метрополитен на всех его направлениях ложится огромная нагрузка из-за огромного потока пассажиров.

В связи с этим в метрополитене люди скапливаются у турникетов, на платформах, в вестибюлях, это может привести к давке, а иногда – и к несчастным случаям. Некоторые станции изначально не были рассчитаны на такое количество пассажиров, на других неправильно организован пассажиропоток. Так, на некоторых переходах не хватает эскалаторов, что приводит к скоплению народа. Также, например, существуют станции, на которых потоки пассажиров пересекаются, что затрудняет передвижение пассажиров и в итоге – к заторам.

Решить имеющиеся проблемы можно как радикальными способами (перепланировкой станций, строительством дополнительных входов и выходов), так и совершенствованием управления (организацией и распределением пассажиропотока) [1]. Но перед тем как применять способ на практике, нужно проверить и оценить его эффективность. Для этого следует использовать математическое моделирование. Основные задачи математических моделей – прогнозировать, определять и оптимизировать все параметры функциониро-

вания транспортной сети, такие как интенсивность движения, объем перевозок, средняя скорость движения и пр. [2].

## **1. Сравнительный анализ инструментов моделирования и методов моделирования транспортных потоков**

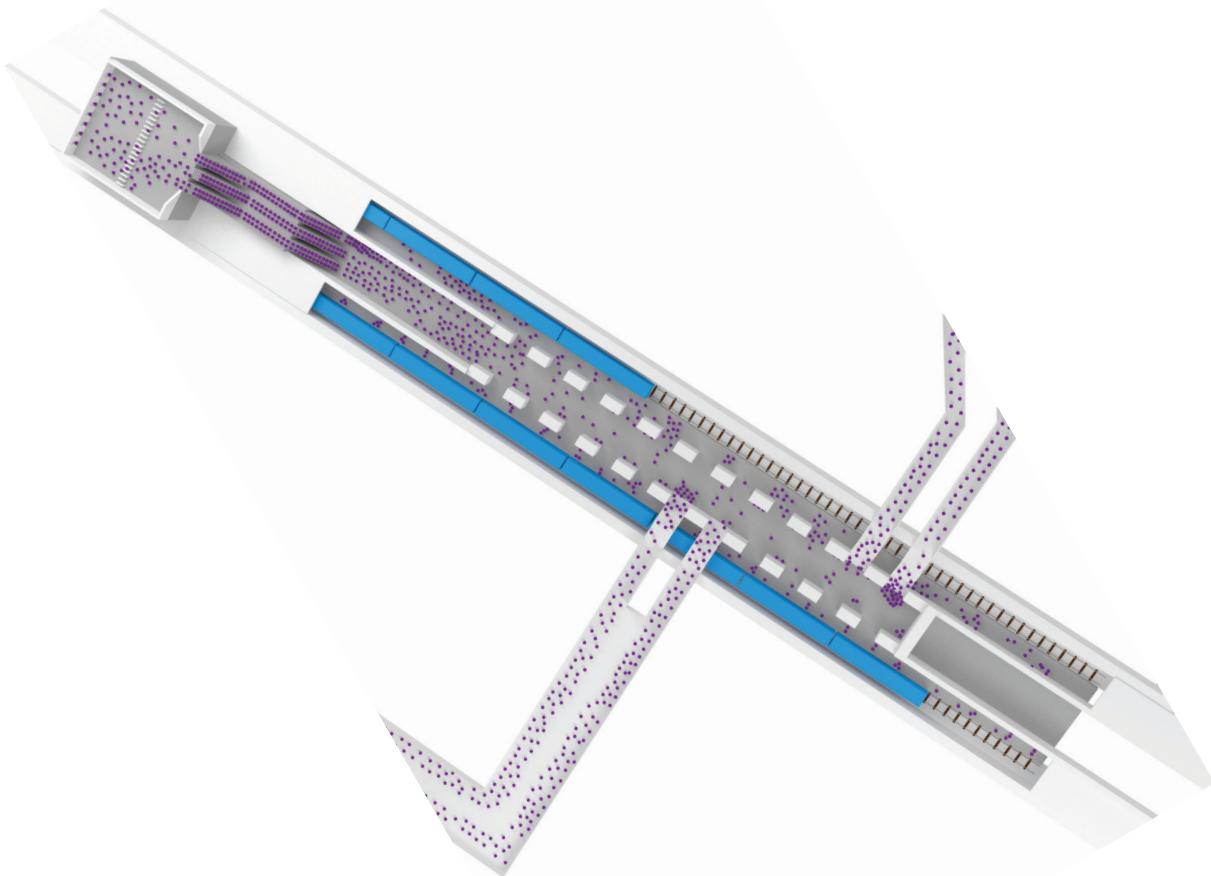
Для современных городов характерна низкая пропускная способность транспорта. Встает вопрос о комфорте и безопасности проезда. Как уже было сказано, один из вариантов решения проблем, связанных с потоком пассажиров в метрополитене, – это математическое моделирование. Математическую модель можно определить как приблизительное описание классов явлений или объектов реального мира на математическом языке [3]. Математическое моделирование – это не только исследование этих объектов и прогнозирование, но и метод познания окружающего мира, позволяющий управлять им [4].

Некоторые типы математических моделей часто применяются на практике при моделировании транспортных систем. Существует несколько классификаций математических моделей [5, 6]. В работе используется теория транспортных процессов В. В. Доенина, которая дает возможность моделировать именно интеллектуальные транспортные потоки, какими и являются потоки пассажиров в вестибюлях и переходах метрополитена [7]. К тому же гибкость и расширяемость этой теории позволяет при моделировании процессов и элементов описать особенности моделирования метрополитена [8, 9].

## **2. Моделирование пассажиропотока на станции метро «Киевская» Кольцевой линии**

Изначально была смоделирована станция метро «Киевская» Кольцевой линии (рис. 1). В модели представлены:

- вестибюль станции;
- турникеты на входе и на выходе (короткие белые отрезки, сквозь которые проходят пассажиры, представленные шарами; каждый шар – три-четыре рядом идущих пассажира);
- 3 эскалаторных полотна (соединяют вестибюль станции и зал с турникетами; на рис. 1 видно, что все три эскалаторных полотна целиком заполнены: пассажиры стоят с правой стороны и проходят с левой стороны каждого эскалатора);
- пара путей следования поездов;
- две пары переходов на станции метро «Киевская» Арбатско-Покровской и Филевской линий (на рис. 1 видно, что пассажиропоток по всем переходам весьма оживленный; значительные уплотнения шаров у переходов на другие станции демонстрируют затруднение движения прибывших пассажиров).



**Рис. 1.** Модель пассажиропотока на станции метро «Киевская» Кольцевой линии

Пассажиры в данной модели представлены в виде примитивных объектов – шаров, «sphere». В модели 1467 шаров. При разработке возникла проблема изображения людей, так как модель сделана в масштабе 1:1 и при просмотре после анимирования движения шаров не было видно, поэтому было решено объединить в один шар группы по 3-4 человека. Размер шара полностью совпадает с размером группы людей, что также позволяет отметить реалистичность модели [10, 11].

Конечно, при моделировании хочется точно описать поведение отдельных пассажиров, но при детальном исследовании пассажиропотока видно, что в большинстве люди перемещаются группами, преследуя одинаковые цели, например, перейти с Кольцевой линии станции метро «Киевская» на Арбатско-Покровскую, и наоборот.

На эскалаторных полотнах возможны две ситуации:

- на спуск пассажиров работают два эскалатора, а на подъем – один (см. рис. 1). Видно, что при одном работающем на подъем эскалаторе поток более плотный и при увеличении нагрузки эскалатор не справится;
- на подъем работают два эскалатора, на спуск – один. Получается ситуация, диаметрально противоположная предыдущей: поток пассажиров на спуск будет затруднен.

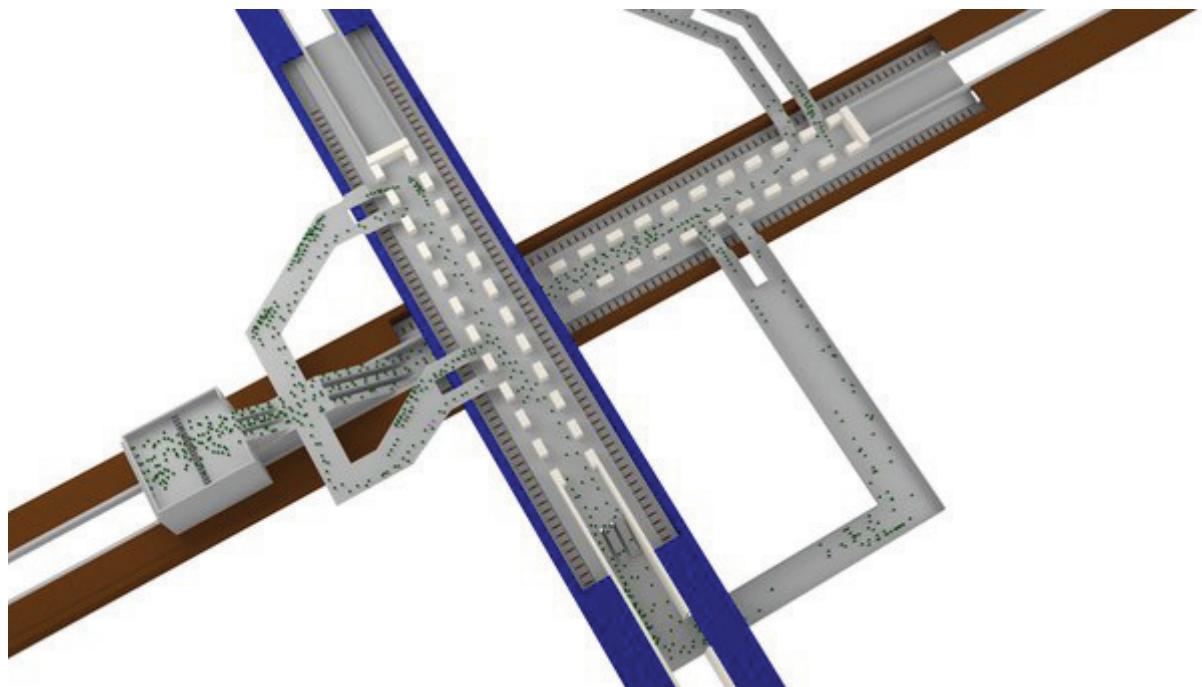
Также при детальном рассмотрении модели заметно, что движение потока пассажиров затруднено на переходе на станцию «Киевская» Филевской и Арбатско-Покровской линии в обоих направлениях.

### **3. Моделирование пассажиропотока на станциях метро «Киевская» Кольцевой и Арбатско-Покровской линий**

Макет станции смоделирован при помощи примитивов. Наиболее часто используемый примитив – «box», с помощью которого сделаны стены, пол и другие объекты. Всем примитивам вручную были заданы соответствующие масштабу размеры [12].

На модели станции «Киевская» Кольцевой линии (на рис. 2 нижняя) представлены:

- вестибюль;
- турникеты на вход и на выход;
- три эскалаторных полотна (соединяют вестибюль станции и зал с турникетами);
- пара путей следования поездов;
- две пары переходов на станции «Киевская» Арбатско-Покровской и Филевской линий.



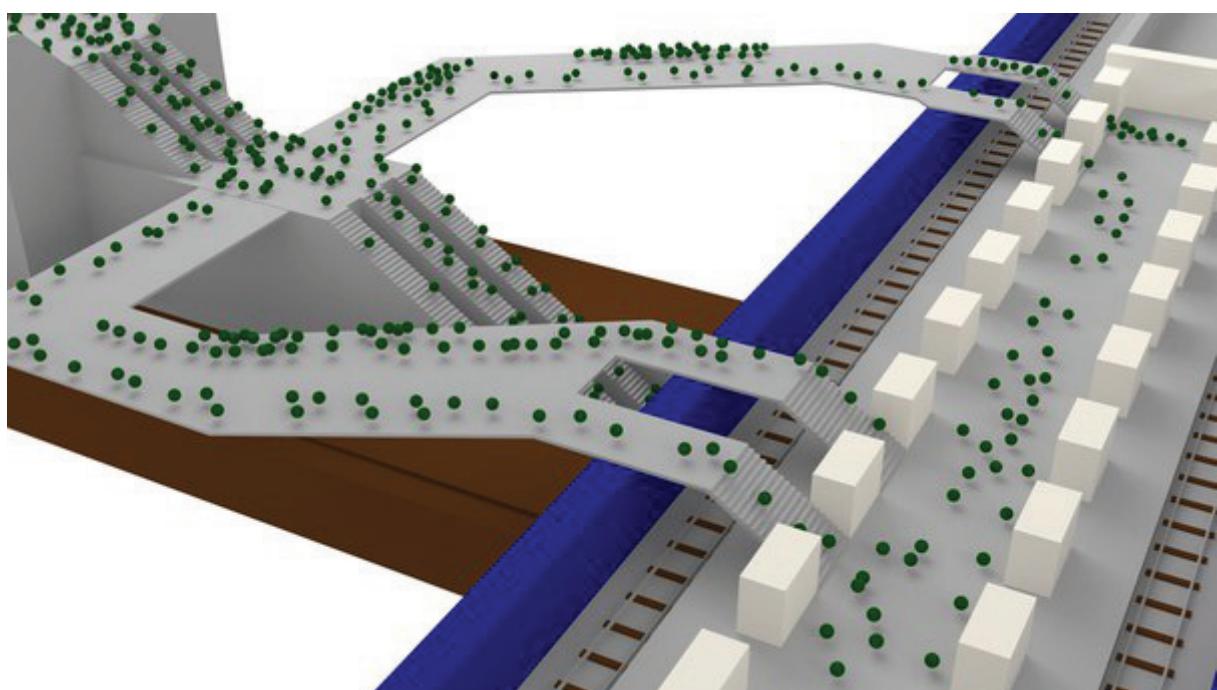
**Рис. 2.** Модель пассажиропотока на станции метро «Киевская» Кольцевой и Арбатско-Покровской линий

На модели станции «Киевская» Арбатско-Покровской линии (на рис. 2 верхняя) представлены:

- вестибюль;
- пара путей следования поездов;
- две пары переходов и переход в торце станции.

Эта модель подробно демонстрирует проблему перемещения пассажиров на представленных станциях и на переходах.

На рис. 3 приведен фрагмент модели пассажиропотока на станциях метро «Киевская» Кольцевой и Арбатско-Покровской линиях [13, 14]. Здесь хорошо видно распределение пассажиропотоков. Модель может быть полезной при изучении особенностей пассажиропотока на переходах станции в разных ситуациях.



**Рис. 3.** Фрагмент модели пассажиропотока на станциях метро «Киевская» Кольцевой и Арбатско-Покровской линий

## Выводы

В статье указаны проблемы, связанные с особенностями моделирования потоков пассажиров в метрополитене, представлены варианты их решения посредством введения более расширенного формального описания теории транспортных процессов. Показано, что более расширенное формальное описание позволяет решить проблемы, связанные с особенностями моделирования потоков пассажиров в метрополитене.

Используя программный пакет 3dsMAX, предназначенный для моделирования трехмерной графики, разработана модель пассажиропотока на станции метро «Киевская» Кольцевой и Арбатско-Покровской линий.

С моделированием потоков пассажиров на станциях и переходах метрополитена сопряжено множество задач, например, моделирование потоков пассажиров в целом, исследование показателей пропускной способности на конкретных отрезках станций или переходах. Представленная модель подробно описывает работу реальной станции московского метрополитена.

Ее можно использовать для исследования широкого круга проблем, прежде всего, неправильного распределения пассажиропотока. Примеры практической реализации модели демонстрируют перечисленные возможности в конкретных ситуациях.

## Библиографический список

1. Советов Б. Я. Моделирование систем : учеб. для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 2001. – 343 с.
2. Самарский А. А. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. – 2-е изд., испр. – М. : Физматлит, 2001. – 319 с.
3. Klar A. A hierarchy of models for multilane vehicular traffic I: Modeling / A. Klar, R. Wegener // SIAM J. Appl. Math. – 1999. – Vol. 59. – P. 983–1001.
4. Четверушкин Б. Н. Макро- и микроскопические модели для описания движения автотранспорта на многополосных магистралях / Б. Н. Четверушкин, М. А. Трапезникова, И. Р. Фурманов, Н. Г. Чурбанова // Труды МФТИ. – 2010. – Т. 2, № 4. – С. 163–168.
5. Евреенова Н. Ю. Моделирование пассажиропотоков в транспортно-пересадочных узлах / Н. Ю. Евреенова // Тр. междунар. науч.-практич. конф. «Проблемы и перспективы развития транспорта» : В 2 т. Т. 2. – М. : МИИТ, 2013. – С. 95–102.
6. Семенов В. В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса / В. В. Семенов. – М. : Ин-т прикладной математики им. М. В. Келдыша, 2004. – С. 12–24.
7. Иносэ Х. Управление дорожным движением / Х. Иносэ, Т. Хамада. – М. : Транспорт, 1983. – 248 с.
8. Greenberg H. An analysis of traffic flow / H. Greenberg // Oper. Res. – 1959. – Vol. 7. – P. 79–85.
9. Швецов В. И. Математическое моделирование транспортных потоков / В. И. Швецов // Автоматика и телемеханика. – 2003. – № 11. – С. 3–46.
10. 3 dsMAX. – URL: <http://www.autodesk.ru/products/3ds-max/overview>.
11. Доенин В. В. Адаптация транспортных процессов / В. В. Доенин. – М. : Компания Спутник+, 2009. – 219 с.
12. 3dsMAX. – URL: <http://www.autodesk.ru/products/3ds-max/overview>.
13. 3dsMAX. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Autodesk\\_3ds\\_Max3](https://ru.wikipedia.org/wiki/Autodesk_3ds_Max3).
14. Доенин В. В. Моделирование транспортных процессов и систем / В. В. Доенин. – М. : Компания Спутник+, 2012. – 288 с.

# **Simulation of passenger traffic on the Moscow subway station “Kievskaya”**

Valeria O. Sharova

*“Intelligent transport reference system” department  
Moscow State University of Railway Engineering*

In the article was conducted a comparative analysis of modeling tools and methods of modeling traffic flows. In the article were found special features of the passenger traffic in the subway. Passenger traffic of the metro station “Kievskaya” the Belt-line and the Arbatsko-Pokrovskaya line were modeled.

**Keywords:** *intelligent traffic flows; transport processes; 3-D modeling; simulation of passenger traffic in the subway; simulation models, mathematic simulation.*

## **Сведения об авторе**

*ШАРОВА Валерия Олеговна – бакалавр кафедры «Интеллектуальные транспортные системы» Московского государственного университета путей сообщения Императора Николая II;*  
*e-mail:* valeria.floki@mail.ru

© Шарова В.О., 2017

# ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ АПЕРИОДИЧЕСКИХ МАРШРУТНЫХ РАСПИСАНИЙ НА ЗЕМНОГО ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

**А. М. Горбачев**

Рассматривается проблема построения плановых апериодических расписаний городского электрического транспорта на уровне перевозчика. Приведены обзор исследований по данной тематике, основные отличия технологии построения расписаний в России от зарубежного опыта, на основе теории графов предложена формализация апериодических расписаний.

**Ключевые слова:** апериодическое расписание; математическая модель; городской электрический транспорт.

## Введение

Решение транспортных проблем современных городов связано с развитием городского общественного транспорта. Особенno важен маршрутный электрический транспорт, который перевозит большое число пассажиров. Основным документом, на основе которого формируется план работы перевозчика и рассчитываются компенсации, выделяемые из бюджета перевозчику, является расписание движения. Составление расписаний – трудоемкий процесс.

Первые попытки автоматизировать построение расписания городского транспорта (в частности, автобусов) в СССР предпринимались в 1960-е годы в Москве [1, 2], однако результаты этой работы не нашли широкого применения на практике [1]. Задача решалась для расписаний с двумя конечными станциями (без маневровых передвижений и командировочных рейсов). Движение между этими двумя станциями осуществлялось по одной основной трассе. Полный список ограничений приведен в [1]. Основными достижениями этих работ были матричное представление расписаний в виде модифицированной таблицы без обгонов, практическая реализация алгоритмов в виде программ для ЭВМ того времени и другие.

Результаты разработки современного программного обеспечения по автоматизации управления городским транспортом России приведены в [3–6].

## 1. Классификация расписаний

Классификация расписаний с технологической точки зрения приведена в [7]. В зависимости от математического аппарата, используемого для решения задачи синтеза, расписания движения можно разделить на периодические и апериодические.

Действие периодических (циклических) расписаний повторяется через определенный (обычно небольшой) промежуток времени  $\text{Period}$ . Математическая модель для периодических расписаний была предложена в [8]. В этой же работе приведено доказательство, что задача нахождения допустимого периодического расписания является NP-сложной. По этой причине используются различные эвристики и методы направленного поиска, имеющие в худшем случае экспоненциальную сложность. Необходимо отметить, что в контексте данной и других работ по теории расписаний под нахождением допустимого расписания понимается задача определения допустимого времени отправления и прибытия транспортных средств с учетом ограничений при известной структуре самого маршрутного расписания. В основной задаче теории расписаний количество рейсов каждого транспортного средства, интервалы технического обслуживания, стоянки для технического обслуживания, обеденных перерывов, смены транспортных бригад и т. д. входят в исходные данные. Проблемы построения и оптимизации периодических расписаний получили развитие во многих работах (например, [9–12]), так как данная модель обеспечивает наибольшее удобство для пассажира, задавая на промежутке времени стабильный интервал отправления транспортных средств  $T$ .

Апериодические (нециклические) расписания – это расписания, в которых отсутствует требование обязательного повторения событий. Под событиями применительно к транспорту понимается время прибытия ( $T_{Arr}$ ) и отправления с конечных станций ( $T_{Dep}$ ), ограничения по данной конечной станции накладываются, прежде всего, прибытиями и отправлениями предыдущих и следующих транспортных средств, а также другими событиями, которые различаются в математических моделях процессов организации движения. Решение такой задачи в общем виде для потоков под наименованием проблемы получения допустимого распределения (feasible distribution problem, FDP) найдено при помощи линейного программирования и впервые рассмотрено в [13]. Она решается на основе модифицированного алгоритма, впервые предложенного для решения задачи с раскрасками. Сложность алгоритма является полиномиальной. Вместе с тем, наложение дополнительных условий может свести задачу к NP-сложной. Такими примерами являются, в частности, построение расписаний с учетом маршрутов пассажиров [14] и (в некоторых случаях) наложение ограничений по пропускной способности [15].

В некоторых работах периодические расписания принято называть циклическими, а апериодические – нециклическими [8, 16].

## 2. Представление данных в модели и набор ограничений

Технология организации движения пассажирского транспорта в СССР и других странах Варшавского договора имела значительные отличия от европейской традиции: движение маршрутных транспортных средств преимущественно в общем потоке (соответственно, время хода значительно изменяется по периодам суток из-за заторов в движении), возможность закрепления бригад (водителя и кондуктора) за транспортными средствами, предоставление обедов бригадам во время стоянки транспортных средств на конечных станциях и т. д. [1]. Эти условия до сих пор ограничивают применение зарубежных пакетов программного обеспечения.

Для расписаний, учитывающих перечисленные ограничения, построение периодических расписаний с периодом  $Period$  является практически обоснованным только в том случае, когда в течение одного периода

$$T_D \approx T_{Tech} \approx T_{Ch} \approx T_{as}, \quad (1)$$

где  $T_D$  – максимальное время обеденной стоянки;  $T_{Tech}$  – время технической стоянки;  $T_{Ch}$  – время смены транспортной бригады;  $T_{as}$  – среднее время стоянки.

Как правило, (1) не исполняется, поэтому, чтобы избежать простоев транспортных средств на конечных станциях (при увеличении  $T_{Ch}$  до  $T_D$ ), целесообразно применять апериодические расписания, где технологические стоянки предоставляются не в часы пик.

Необходимость выполнения указанных ограничений объясняет актуальность разработки отдельных математических моделей для рассматриваемых расписаний.

Представим сеть городского транспорта (public transport network) в виде графа  $PTN = (CP; P)$ , который состоит из конечного множества контрольных точек  $cp_i \in \{CP\}$  и конечного множества отрезков, соединяющих эти контрольные точки  $p \in \{P\}$ , где  $p_i \in \{cp_i, cp_{i+1}\}$ , т. е. каждый отрезок соединяет две соседние точки (см. рис. 1).

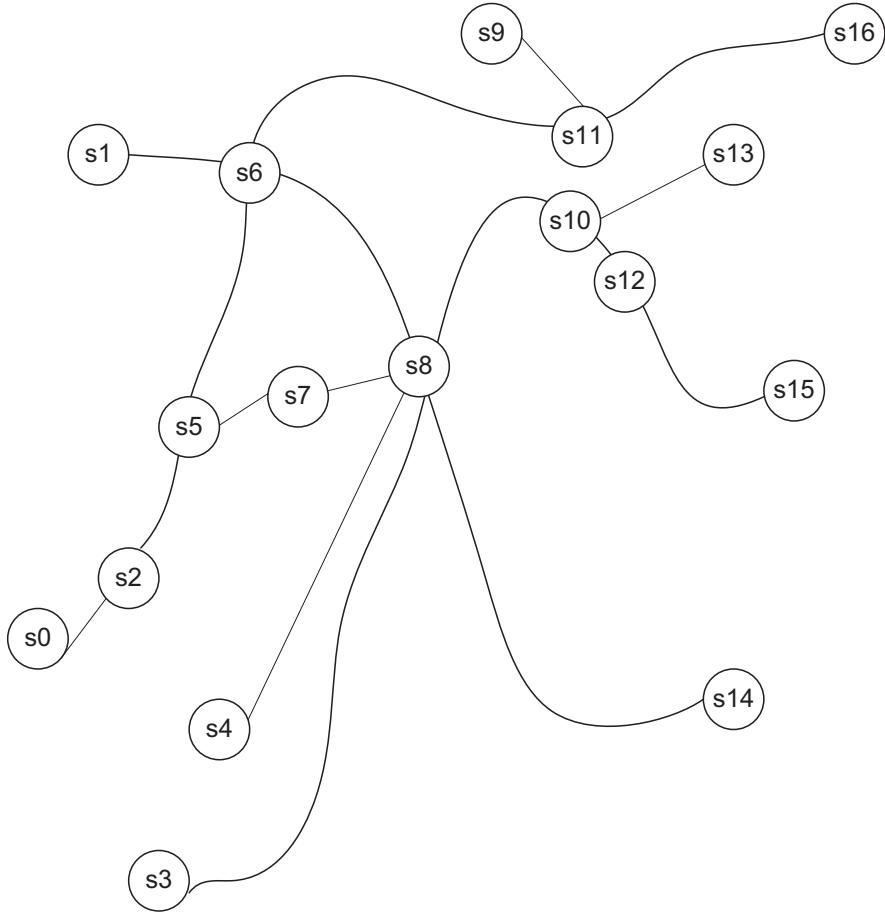
Множество контрольных точек состоит из множества конечных станций  $\{EndSt\}$  и множества остановочных пунктов  $\{Stops\}$ , где возможны стоянки:

$$\{CP\} = \{EndSt\} + \{Stops\}. \quad (2)$$

Две соседние точки могут быть соединены единственным ребром.

Так как на практике стоянки на остановочных пунктах входят во время пробега, в число контрольных точек (2) в нашем случае будет входить только множество конечных станций, где возможны стоянки (диспетчерские, или распорядительные, конечные станции):

$$\{CP\} = \{EndSt\} + \{Stops\} = \{EndSt\} + \{0\} = \{EndSt\}.$$



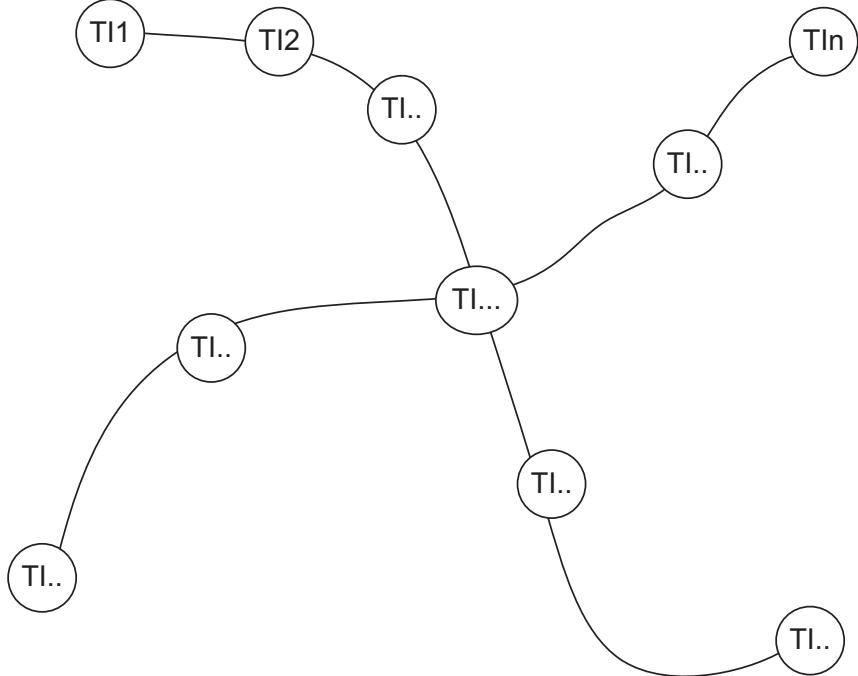
**Рис. 1.** Пример графа сети городского транспорта PTN

Для построения аналитической математической модели удобно перейти к графу в виде сети событий (event activity network, EAN), где каждый узел представлен одним независимым значением времени (см. рис. 2). На практике таковыми являются отправления с распорядительной станции, т. е. с такой станции, где можно изменять стоянки для выравнивания интервалов.

Изменение продолжительности стоянок в данной модели – это основной способ выравнивания интервалов движения. Время хода при этом в общем случае изменяется по периодам суток:

$$EAN = \{TI, [U, V]\},$$

где  $\{TI\}$  – множество элементов  $TI_i$ , где каждый элемент – независимо изменяемое значение времени (время отправления из диспетчерской);  $i$  – порядковый номер события, который изменяется от 1 до  $n$ , где  $n$  – число независимых параметров (отправлений с распорядительных станций);  $\{U\}$ :  $U_i = \Delta_{\min(i, i+1)}$  – минимальный промежуток времени, необходимый для перехода из состояния  $i$  в состояние  $i + 1$  (ограничение снизу на переход в новое состояние);  $\{V\}$ :  $V_i = \Delta_{\max(i, i+1)}$  – максимальный промежуток времени, в течение



**Рис. 2.** Пример графа сети событий EAN

которого возможен переход из состояния  $i$  в состояние  $i + 1$  (ограничение сверху на переход в новое состояние).

$$\Delta_{\min(i,i+1)} = \text{RunTime}(TI_i, \text{Matr}(TI_i)) + T_{\min S},$$

где  $\text{RunTime}(TI_i, \text{Matr}(TI_i, Dir))$  – функция прямого отсчета времени (подробнее см. [3, 17]);  $Dir$  – направление движения (0 – прямое, 1 – обратное);  $\text{Matr}(TI_i, Dir)$  – функция получения матрицы пробегов на время  $TI_i$  в направлении  $Dir$ ;  $T_{\min S}$  – ограничение на минимальное время стоянки на соответствующей конечной станции.

$$\Delta_{\max(i,i+1)} = \text{RunTime}(TI_i, \text{Matr}(TI_i)) + T_{\max S},$$

где  $T_{\max S}$  – ограничение на максимальное время стоянки на соответствующей конечной станции.

Также на каждое значение  $TI_i$  накладываются следующие ограничения:

$$\{TI_{\min}\} \leq \{TI\} \leq \{TI_{\max}\}, \quad (3)$$

где  $\{TI_{\min}\}$  – множество ограничений снизу для  $\{TI\}$ ;  $\{TI_{\max}\}$  – множество ограничений сверху для  $\{TI\}$ .

Каждому элементу  $\{TI\}$  соответствует по одному элементу из  $\{TI_{\min}\}$  и  $\{TI_{\max}\}$ . Все элементы  $\{TI_{\min}\}$  и  $\{TI_{\max}\}$  в (3) являются константами.

## **Выводы**

Предложенная формализация может быть основой алгоритмов синтеза и оптимизации расписаний на базе различных методов линейного и смешанного целочисленного программирования.

Предложенная формализация была использована в алгоритме выравнивания интервалов, реализованном в системе автоматизированного построения расписаний движения трамваев и троллейбусов (САПР РДТТ), внедренной в Санкт-Петербурге [18]. САПР РДТТ входит в состав автоматизированной системы управления городским электротранспортом [3].

## **Библиографический список**

1. Антошвили М. Е. Организация городских автобусных перевозок с применением математических методов и ЭВМ / М. Е. Антошвили, Г. А. Варелопуло, М. В. Хрущев. – М. : Транспорт, 1974. – 104 с.
2. Антошвили М. Е. Оптимизация городских автобусных перевозок / М. Е. Антошвили, С. Ю. Либерман, И. В. Спирин. – М. : Транспорт, 1985. – 102 с.
3. Василенко М. Н. Автоматизированная система управления городским электротранспортом / М. Н. Василенко, А. М. Горбачев, Р. Т. Мустафаев // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе : материалы XLII междунар. конф. молодых ученых «IT+SE'14». – Ялта ; Гурзуф, 2014. – С. 102–105.
4. Гуревич Г. А. Автоматический расчет расписаний движения наземного маршрутизированного транспорта / Г. А. Гуревич, С. Б. Перцович // Автотранспортное предприятие. – 2006. – № 5. – С. 38–41.
5. Гуревич Г. А. Новая версия автоматизированной общегородской системы формирования и сопровождения расписаний маршрутизированного транспорта / Г. А. Гуревич, Е. В. Финько, С. Б. Перцович // Автотранспортное предприятие. – 2010. – № 12. – С. 18–21.
6. Домбровский М. Ю. Рациональная методика формирования расписания движения подвижного состава городского электрического транспорта / М. Ю. Домбровский // Вестн. ИрГТУ. – 2013. – № 11 (82). – С. 15–19.
7. Горбачев А. М. Оптимизация построения расписаний городского электрического транспорта / А. М. Горбачев // Сб. материалов V междунар. науч.-практич. конф. ИнтеллектТранс-2015. – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. – С. 228–230.
8. Serafani P. A mathematical Model for Periodic Scheduling Problems / P. Serafani, W. Ukovich // SIAM J. Disc. Math. – 1989. – N 2 (4). – C. 550–581.
9. Cacchiani V. Non-cyclic train timetabling and comparability graphs / V. Cacchiani, A. Caprara, P. Toth // Operations Res. Lett. – 2010. – N 38 (3). – P. 179–184.
10. Cacchiani V. Nominal and robust train timetabling problems / V. Cacchiani, P. Toth // European J. Operational Res. – 2012. – N 219. – P. 727–737.
11. Liebchen C. The modeling power of the periodic event scheduling problem: Railway timetables and beyond / C. Liebchen, R. Möhring // Algorithmic Methods for Railway Optimization volume 4359 of Lecture Notes in Computer Science ; ed. F. Geraets, L. Kroon, A. Schoebel, D. Wagner, and C. Zaroliagis. – SpringerBerlin Heidelberg, 2007. – P. 3–40.

12. Liebchen C. Periodic Timetable Optimization in Public Transport. PhD thesis / C. Liebchen. – Berlin : Tech. Univ. Berlin, 2006.
13. Liebchen C. Performance of algorithms for periodic timetable optimization / C. Liebchen, M. Proksch, F. H. Wagner // Computer-aided Systems in Public Transp ; ed. G. Fandel, W. Trockel, M. Hickman, P. Mirchandani, S. Voß. – 2008. – Springer. Berlin Heidelberg, 2008. – P. 151–180.
14. Lindner T. Train Schedule Optimization in Public Rail Transport. PhD thesis / T. Lindner. – Braunschweig : Tech. Univ. Braunschweig, 2000.
15. Odijk M.A. A constraint generation algorithm for the construction of periodic railway timetables / M. A. Odijk // Transportation Res. Part B. – 1996. – N 30 (6). – P. 455–464.
16. Rockafellar R. T. Network Flows and Monotropic Optimization / R. T. Rockafellar. – Belmont : Athena Scientific, 1998.
17. Schmidt M. E. Integrating Routing Decisions in Public Transport Problems, Springer Optimization and Its Applications 89 / M. E. Schmidt. – NY : Springer Sci. + Bus. Media, 2014. – 386 c. DOI 10.1007/978-1-4614-9566-6\_2.
18. Горбачев А. М. Автоматизация синтеза расписаний городского электрического транспорта / А. М. Горбачев // Изв. ПГУПС. – 2014. – Вып. 4 (41). – С. 27–32.

## Formalization of presentation of ground urban electric transport aperiodic schedules

Alexey M. Gorbachev

*„Automation and remote control on railways“ department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

The paper is devoted to the problem of formation of planned aperiodic schedules of ground urban electric transport by carrier. The overview of previously performed researches of this problem is given as well as the main differences of schedule formation technologies in Russia and abroad. Formalization of aperiodic schedules based on graph theory is offered.

**Keywords:** aperiodic schedule; math model; urban electric transport.

### Сведения об авторе

*ГОРБАЧЕВ Алексей Михайлович* – кандидат технических наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Функциональная диагностика» кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* ag@agpage.ru

© Горбачев А. М., 2017

# *Техническое диагностирование и непрерывный мониторинг*

УДК 656.25

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АППАРАТУРЫ ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ**

**Г.А. Черезов, В.Б. Леушин, О.А. Кацюба**

Представлена математическая постановка задачи технического диагностирования аппаратуры тональных рельсовых цепей с использованием методов машинного обучения.

**Ключевые слова:** *техническая диагностика; тональная рельсовая цепь; распознавание; классификация.*

### **Введение**

Одно из направлений совершенствования устройств железнодорожной автоматики и телемеханики – модернизация методов и средств диагностирования аппаратуры за счет автоматизации процесса постановки диагноза, уменьшения времени диагностирования и исключения человеческого фактора.

В работах [1, 2] показана реализация тестового метода диагностирования аппаратуры тональной рельсовой цепи (ТРЦ), в которых объект диагностирования (ОД) представляется в виде диагностической модели [3], а для постановки диагноза используется разработанный алгоритм диагностирования.

В [4] показан подход к диагностированию, основанный на теории распознавания образов (machine learning), которая широко применяется в разных областях. Методы машинного обучения, которые в общем случае можно разделить на обучение «с учителем» и «без учителя», позволяют определять техническое состояние ОД с помощью разделения пространства признаков на области диагнозов.

В данной работе приводится математическая постановка задачи диагностирования аппаратуры ТРЦ и предлагаются возможные пути ее решения.

## 1. Математическая постановка задачи диагностирования

В общем случае задача распознавания формулируется следующим образом [5]. Пусть имеется некоторое множество образов  $U = \{x_i\}$ , а также некоторое подмножество  $X = \{\mathbf{x}_i\} \in \mathbb{R}^n$ , называемое пространством признаков, и оператор  $P: U \rightarrow X, P^2 = P$ . При этом во множестве образов  $U$  существует множество классов  $\Omega = \left\{ \omega_1, \dots, \omega_m \mid \bigcup_{i=1}^m \omega_i = U, \omega_i \cap \omega_j = \emptyset \forall i \neq j \right\}$ . Тогда чтобы классифицировать образ  $x \in U$  по классам  $\omega_1, \dots, \omega_m$ , необходимо найти функцию (алгоритм)  $a: U \rightarrow Y, Y = \{y_1, \dots, y_m\}$  – множество меток классов, т. е.  $a(x) = y_i$ , если  $x \in \omega_i$ .

Состояние ОД, в качестве которого выступает приемо-передающая аппаратура ТРЦ, характеризуется последовательностью измерений некоторой величины  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n$  с выходов множества контрольных точек  $k = \{1, 2, \dots, K\}$  и описывается множеством  $X = \{\mathbf{x}^k = (x_1^k, \dots, x_n^k)\}$ .

Сам ОД может находиться в одном из состояний (диагнозов), описываемых множеством  $D = \{d_1, \dots, d_m\}$ , для которого выполняется условие компактности. Решение задачи диагностирования заключается в нахождении функции  $a: X \rightarrow D, D = \{d_1, \dots, d_m\}$  или алгоритма, с помощью которых можно установить состояние ОД.

Состояние ОД описывается совокупностью сигналов с выходов контрольных точек, и задача диагностирования в общем случае может быть сведена к задаче классификации сигналов. При этом для повышения качества классификации необходимо построить информативное признаковое пространство.

## 2. Возможные способы решения задачи диагностирования

Признаковое пространство можно построить тремя способами:

1) используя коэффициенты преобразования Фурье [6]

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi nm/N},$$

где  $x(n)$  – дискретная последовательность значений, полученных дискретизацией во временной области непрерывного сигнала  $x(t)$ ;

2) используя коэффициенты вейвлет-преобразования [7, 8]

$$X(t_i) = \sum_{k=1}^{2^{N-M}} a_{m,k} \Phi_{m,k}(t_i) + \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{2^{N-M}} d_{m,k} \Psi_{m,k}(t_i),$$

где  $X(t_i)$  – последовательность отсчетов, полученных при дискретизации непрерывного сигнала с выхода контрольной точки ОД;  $M$  – число уровней разложения;  $a_{m,k}$  и  $d_{m,k}$  – коэффициенты разложения;  $\varphi_{m,k}$  и  $\psi_{m,k}$  – масштабирующие и вейвлет-функции, определяемые

$$\varphi_{m,k}(t) = \sqrt{2^m} \varphi(2^m t - k);$$

$$\psi_{m,k}(t) = \sqrt{2^m} \psi(2^m t - k),$$

где  $\sqrt{2^m}$  – нормирующий коэффициент;  $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots; m \in \mathbb{Z}$ ;

3) используя генетический алгоритм [9], где под признаком понимается вещественная функция от сигнала, представленная в виде суперпозиции последовательно применяемых операторов обработки сигнала. Признак, описывающий сигнал, будет иметь вид

$$B_{i_0}(A_{i_k}(\dots(A_{i_1}(\mathbf{x})))),$$

где  $\mathfrak{A}$  – множество операторов первого типа  $A_i \in \mathfrak{A} : \mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_s) \rightarrow \mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_p)$ ;  $\mathfrak{B}$  – множество операторов второго типа  $B_j \in \mathfrak{B} : \mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_p) \rightarrow z$ ;  $k \in \{1, 2, \dots\}$ ;  $A_{i_k}, \dots, A_{i_1} \in \mathfrak{A}$ ;  $B_{i_0} \in \mathfrak{B}$ .

На рисунке представлены признаковые пространства, сформированные по указанным способам.

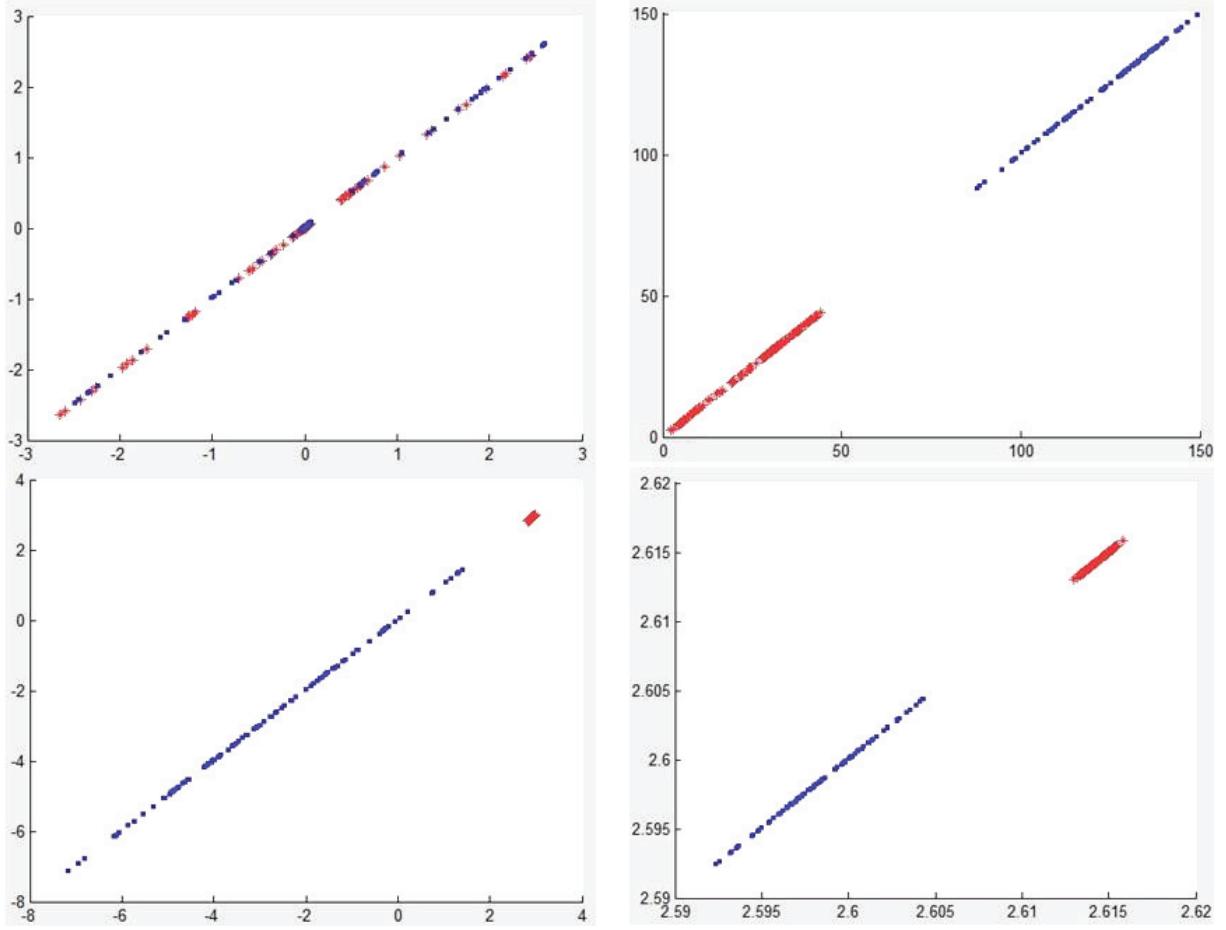
Выбор признакового пространства сопряжен с задачами машинного обучения, которые необходимо решить, чтобы распознавать состояние ОД.

В общем случае различают три задачи по определению состояния ОД [10]: диагноза, прогноза и генезиса. Их можно свести к задачам машинного обучения [11, 12].

При диагностировании приемо-передающей аппаратуры ТРЦ необходимо последовательно решить следующие задачи.

1. Классификации (обучения с учителем). Имеется обучающая выборка  $X^L = \{\mathbf{x}^i = (x_1^i, \dots, x_n^i)\}_{i=1}^L$ , где  $L$  – объем обучающей выборки. Требуется построить алгоритм (классификатор), который по вектору признаков  $\mathbf{x}$  вернул бы метку класса  $d_i$ . При этом возможны два случая: бинарной классификации, когда  $D = \{-1, +1\}$ , т. е. определяется исправное или неисправное состояние, и разделение на конечное число классов  $D = \{d_1, \dots, d_m\}$ . Последнее может быть сведено к решению  $m$  независимых задач бинарной классификации [13].

2. Кластеризации (обучения без учителя). Имеется обучающая выборка  $X^l = \{\mathbf{x}^i = (x_1^i, \dots, x_n^i)\}_{i=1}^l \subset X$  и некая функция расстояния  $\rho(x, x')$ . Требуется разбить выборку на непересекающиеся подмножества (кластеры)  $X = \bigcup_{j=1}^k d_k$ ,



Пространства признаков при бинарной классификации

$d_j \subset \{\mathbf{x}^i\}$ ,  $d_i \cap d_j = \emptyset$ . Кластеризация отличается от классификации тем, что метки классов  $d_i$  изначально не заданы, как, впрочем, может быть не задано общее число классов  $D$  [14].

3. Идентификации. Обучающая выборка  $X = \{\mathbf{x}^i\}_{i=1}^l$  характеризуется векторами признаков  $\mathbf{x}^i = (x_1^i, \dots, x_n^i)$ , обладающими некоторым свойством  $\lambda(\mathbf{x}) = 1$ . Требуется построить алгоритм, который по вектору признаков  $\mathbf{x}$  определил бы наличие свойств  $\lambda$  [15].

4. Прогнозирования. Обучающая выборка представляет собой набор измерений  $X = \{\mathbf{x}^i = (x_1^i, \dots, x_n^i)\}_{i=1}^L$  в определенные моменты. Требуется построить алгоритм, который вернул бы точечную оценку  $\{\hat{\mathbf{x}}^i\}_{i=n+1}^{n+q}$  или доверительный интервал  $\{(\mathbf{x}_-^i, \mathbf{x}_+^i)\}_{i=n+1}^{n+q}$  прогноза на заданную глубину  $q$ . При этом прогноз осуществляется по времени.

Для прогноза по признакам необходимо решить задачу восстановления регрессии. Обучающая выборка имеет вид  $X^L = \{\mathbf{x}^i = (x_1^i, \dots, x_n^i)\}_{i=1}^L$ . В качестве исходного объекта  $\mathbf{x}$  выступает непрерывная вещественновзначная переменная  $t$ . Требуется построить алгоритм, который по вектору признаков  $\mathbf{x}$  вернул бы точечную оценку значения регрессии  $\hat{t}$  или доверительный интервал  $(t_-, t_+)$  [16, 17].

## **Выводы**

Преимущество предложенного подхода к диагностированию аппаратуры ТРЦ, основанного на методах машинного обучения, заключается в возможности постановки диагноза по неполной начальной информации. Реализация методов машинного обучения с применением искусственных нейронных сетей дает возможность создать интеллектуальные системы диагностирования, которые будут способны к обучению, анализу данных и получению знаний. Предложенный подход не ограничивается только возможностью диагностирования аппаратуры ТРЦ: впоследствии его можно расширить на все многообразие аппаратуры, применяемой в хозяйстве автоматики и телемеханики, а также в железнодорожной отрасли в целом.

## **Библиографический список**

1. Черезов Г. А. Особенности диагностирования путевого приемника тональной рельсовой цепи : моногр. / Г. А. Черезов. – Самара : СамГУПС, 2016. – 89 с.
2. Черезов Г. А. Применение вейвлет анализа для оценки спектров сигналов / Г. А. Черезов, В. Б. Леушин, А. Г. Исаичева // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – Иркутск : ИрГУПС, 2015. – Т. 1. – С. 311–314.
3. Мозгалевский А. В. Техническая диагностика (непрерывные объекты) : учеб. пособие для вузов / А. В. Мозгалевский, Д. В. Гаскаров. – М. : Высш. шк., 1975. – 207 с.
4. Биргер И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер. – М. : Машиностроение, 1978. – 240 с.
5. Лепский А. Е. Математические методы распознавания образов : курс лекций / А. Е. Лепский, А. Г. Броневич. – Таганрог : Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 155 с.
6. Бендат Дж. Измерение и анализ случайных процессов / Дж. Бендат, А. Пирсол ; пер. с англ. Г. В. Матушевского, В. Е. Привальского. – М. : Мир, 1971. – 408 с.
7. Смоленцев Н. В. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB / Н. В. Смоленцев. – М. : ДМК-Пресс, 2009. – 448 с.
8. Дворников С. В. Метод распознавания радиосигналов на основе вейвлет-пакетов / С. В. Дворников, А. М. Сауков // Науч. приборостроение. – 2004. – Т. 14, № 1. – С. 85–93.
9. Власова Ю. В. Применение генетических алгоритмов в задаче классификации сигналов (приложение в BCI) / Ю. В. Власова // Сб. тезисов XVI междунар. науч. конф. Ломоносов – 2009. – М. : МАКС Пресс, 2009. – С. 17.
10. Сапожников Вал. В. Основы технической диагностики : учеб. пособие для студентов вузов ж.-д. транспорта / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – М. : Маршрут, 2004. – 318 с.
11. Ветров Д. П. Байесовские методы машинного обучения : учеб. пособие / Д. П. Ветров, Д. А. Кропотов. – URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/e/e1/BayesML-2007-textbook-1.pdf> (дата обращения 27.11.2016).
12. Ту Дж. Принципы распознавания образов / Дж. Ту, Р. Гонсалес ; пер. с англ. И. Б. Гуревич. – М. : Мир, 1978. – 411 с.
13. Воронцов К. В. Лекции по метрическим алгоритмам классификации / К. В. Воронцов. – URL: <http://http://machinelearning.ru/wiki/images/9/9d/Voron-ML-Metric.pdf> (дата обращения 27.11.2016).

14. Кулбараков М. А. К задаче распознавания образов без учителя в технической диагностике / М. А. Кулбараков // Молодой ученый. – 2014. – № 18. – С. 55–57.
15. Кацюба О. А. Теория идентификации стохастических динамических систем в условиях неопределенности : моногр. / О. А. Кацюба. – Самара : СамГУПС, 2008. – 119 с.
16. Hastie T. The Elements of Statistical Learning / T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman. – Springer, 2014. – 739 p.
17. Беркетов Г. А. Решение задач прогнозирования состояния и управления жизненным циклом сложных технических комплексов методами распознавания образов / Г. А. Беркетов, А. А. Микрюков, А. П. Цуркин // Статистика и экономика. – 2014. – № 1. – С. 138–143.

## **Mathematical formulation of the problem of voice frequency track circuits technical diagnostics**

Grigory A. Cherezov, Vitaly B. Leushin, Oleg A. Katsyuba

*,,Automation, remote control and communication on railway transport“ department, Samara state transport university*

The paper is devoted to the mathematical formulation of the problem of voice frequency track circuits' technical diagnostics with the use of machine learning methods.

**Keywords:** technical diagnostics; voice frequency track circuit; recognition; classification.

### **Сведения об авторах**

**ЧЕРЕЗОВ Григорий Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Самарского государственного университета путей сообщения;  
*e-mail:* grigoriy.cherezov@gmail.com

**ЛЕУШИН Виталий Бениаминович** – кандидат технических наук, профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Самарского государственного университета путей сообщения;  
*e-mail:* leushinu@rambler.ru

**КАЦЮБА Олег Алексеевич** – доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник Самарского государственного университета путей сообщения;  
*e-mail:* map@samgups.ru

© Черезов Г. А., Леушин В. Б., Кацюба О. А., 2017

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ТОКА ОБМОТКИ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ В ПРОЦЕССЕ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

**А. Г. Сукиязов, Б. Н. Просянников**

В статье рассматривается возможность повышения эффективности сервисного обслуживания контакторных систем железнодорожной автоматики за счет получения информации о механическом состоянии внутренних элементов на основании анализа формы тока обмотки в момент включения. На основании экспериментов с модельным объектом показано, что форма тока содержит информацию об условиях движения якоря контактора, упругих элементов и моментах взаимодействия с контактными узлами. Результаты исследований позволяют разработать методы диагностирования контакторных систем без демонтажа и вскрытия корпуса.

**Ключевые слова:** диагностика электромагнитных реле; магнитная муфта; контактор; форма тока; коммутационный аппарат.

## Введение

Среди широко распространенных элементов электрооборудования (ЭО) имеются электромагнитные коммутационные аппараты (КА), обеспечивающие проведение в электрооборудовании требуемых коммутаций электрических цепей, и электромагнитные исполнительные устройства (ЭМУ) (приводы, муфты, клапаны и т. п.). Системы электроснабжения обычно содержат значительное количество КА, используемых в качестве дистанционно управляемых ключевых элементов [1, 2]. При необходимости провести диагностику и сервис блоков, содержащих несколько КА, возникает ряд трудностей, преимущественно для объектов с несъемным (особенно – герметичным) корпусом. Демонтаж, вскрытие корпуса и т. п. требуют затрат времени, повышающих стоимость работ. В этой ситуации положительного эффекта можно достичь, проанализировав зависимость обмотки от времени действия тока в момент включения КА. При этом напряжение на обмотке может быть равно номинальному напряжению срабатывания, а может быть и существенно ниже. Подаваемый на обмотку ступенчатый импульс напряжения можно рассматривать как тестовый сигнал, а форму отклика тока обмотки – как диагностический сигнал. Из теории диагностики [3, 4] известно, что объект диагностирования может быть в неисправном состоянии (если хотя бы один его параметр не соот-

ветствует технической документации), сохраняя при этом работоспособность. Работоспособность неисправного КА представляет собой зарождение аварийной ситуации. Возможность реализации описанной тестовой диагностики КА позволяет, не разрушая его корпуса и не удаляя из рабочего блока, отделить работоспособное состояние от неисправного. Это повышает надежность ЭО.

Подключить тестовый сигнал к КА можно путем соответствующей коммутации без его демонтажа. Наблюдение формы тока обеспечивается осциллографическими методами [5]. Диагностирование по форме тока эффективно потому, что оно одновременно наблюдается для двух КА: исправного (эталонного объекта), помещенного в диагностический прибор, и контролируемого, находящегося в объекте. Для этого требуется цифровой двухлучевой осциллограф, который обеспечит запоминание эпюр тока на экране для последующего анализа. Кроме того, цифровой осциллограф позволяет фиксировать эпюры с последующей документацией результатов диагностики [6].

Диагностика КА по форме тока в обмотке может быть успешной благодаря наличию связи дефекта с эпюрой тока обмотки, а ее эффективность определяется тем, насколько полна база эпюр тока обмотки КА с дефектами, т. е. диагностической информацией. Благодаря изменениям магнитной системы в большинстве КА взаимодействие направляющих штоков якоря с контактной системой может проявиться в форме тока, что позволит делать диагностические выводы.

Положительный эффект от реализации предлагаемого решения возможен потому, что большинство КА содержит одну обмотку и достаточно развитую контактную систему, таким образом, подключиться к обмотке гораздо проще. Кроме того, можно и бесконтактно измерять форму тока [7].

Хотя особенности формы тока КА (катушки реле и других электромагнитных аппаратов радиоэлектронной аппаратуры) известны давно [8–12], работ по исследованию возможности применения этого явления для создания диагностических приборов электромагнитных аппаратов крайне мало. Примером такой работы может служить [5].

Предлагаемая работа призвана восполнить этот пробел, поэтому посвящена экспериментальному доказательству связи особенностей эпюры тока обмотки с наличием определенных дефектов внутри КА.

## **1. Пути реализации неразрушающего контроля КА**

Одним из вариантов реализации контроля параметров, режимов работы и диагностики технического состояния, не требующим существенных материальных затрат, может стать использование закономерностей изменения тока питания обмотки объекта диагностирования.

Практически все КА и ЭМУ представляют собой классический пример устройств с переменной геометрией магнитопровода. Управление этими

элементами заключается в подаче (или прекращении подачи) электрического тока в обмотку КА. При питании КА от источника постоянного напряжения ток в цепи сложным образом зависит от времени. Зависимость от времени тока в обмотке КА (в дальнейшем эту зависимость будем называть кинетикой тока) несет практически всю необходимую диагностическую информацию. Использование кинетики тока для контроля параметров работы и диагностики технического состояния ЭО (в том числе маломощных электромагнитных реле, асинхронных двигателей, статических преобразователей различного назначения и т. д.) исследовано и описано в ряде работ [7–9].

Как уже упоминалось, основным признаком КА и ЭМУ является наличие подвижной части магнитопровода (якоря), разделенного с неподвижной частью (обмоткой на магнитопроводе) воздушным зазором. При подаче питания на обмотку в результате магнитного взаимодействия между частями магнитопровода якорь перемещается и воздушный зазор схлопывается, при этом якорь выполняет механические функциональные действия (например, перемещает контакты контактной группы КА). В процессе функционирования ток обмотки КА изменяется от нуля до некоторого стационарного значения. Эти два значения тока являются основными для инженерного расчета обмотки КА конкретного типа. Однако регистрация только величины потребляемого тока не может дать необходимой информации о факте срабатывания и техническом состоянии КА. Эта информация содержится в параметрах переходного процесса срабатывания, который (для маломощных КА) занимает время ( $\tau$ ) порядка десятых долей секунды и содержит в качестве составляющих процесса переключения влияние упругих элементов и взаимодействия с контактной группой на форму тока.

Для общего случая математическая модель КА задается системой уравнений:

$$\begin{cases} i(t)R + w \frac{d\Phi(t, i(t), x(t))}{dt} = U \\ m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + 2\beta \frac{dx(t)}{dt} + cx(t) = F(x(t)) + b \cdot i(t), \end{cases}$$

где  $i(t)$  – кинетика тока обмотки;  $m$  – приведенная масса якоря;  $\beta$  – обобщенный коэффициент затухания;  $c$  – обобщенный коэффициент упругости;  $F(x(t))$  – позиционная механическая сила, действующая на якорь со стороны магнитопровода с обмоткой;  $b \cdot i(t)$  – сила, обусловленная током в обмотке КА;  $R$  – сопротивление обмотки;  $w$  – число витков обмотки;  $\Phi(t, i(t), x(t))$  – результирующий магнитный поток в магнитопроводе;  $U$  – напряжение на питющей обмотке КА.

Позиционно зависимая сила  $F(x(t))$  состоит из двух компонент: движущей силы магнитного взаимодействия якоря и силы сопротивления движе-

нию, обусловленной взаимодействием якоря с пружиной и с контактной группой:

$$F(x(t)) = F_{\text{магн}}(x(t)) - F_{\text{сопр}}(x(t)).$$

Фактически именно сила  $F(x(t))$  несет основную информационную нагрузку. При сервисном обслуживании и контроле параметров КА необходимо решить обратную задачу: по форме зависимости тока в обмотке КА от времени  $i(t)$  получить информацию о позиционно зависимой силе  $F(x(t))$  и, сравнив ее с заданным (эталонным) видом данной функции, сделать диагностический прогноз. В дальнейшем для краткости будем называть форму тока  $i(t)$  кинетикой тока.

Очевидно, любое движение якоря в процессе работы КА отражается на кинетике тока. Это связано с тем, что, во-первых, при подключении обмотки к источнику питания возникает переходной процесс, обусловленный индуктивностью и активным сопротивлением обмотки. Во-вторых, нарастающий в обмотке ток создает магнитное поле, намагничивающее все элементы магнитопровода. В-третьих, взаимодействие магнитных полей обмотки и якоря приводит к возникновению механической силы, приводящей к движению якоря с переменным ускорением, так как сила зависит и от первоначальной координаты якоря, и от времени. Кроме того, техническое состояние механических элементов КА также влияет на мгновенное значение силы  $F(x(t))$ . В-четвертых, движение намагниченного якоря создает в обмотке КА дополнительный ток вследствие э.д.с. электромагнитной индукции.

Все эти причины приводят в разное время срабатывания КА к небольшим «добавкам» к переходному процессу тока обмотки, создаваемого источником питания. На практике эти «добавки» выглядят как деформация кинетики тока. Естественно предположить, что если изменение технического состояния КА связано с одним из перечисленных физических факторов, то регистрация изменений в кинетике тока обмотки позволит определить причину их появления.

## 2. Экспериментальное исследование лабораторного макета

В связи с этим представляет интерес практическое исследование возможности использования кинетики тока обмотки КА в переходном режиме для выявления природы дефектов и прогноза его работы в реальном времени при штатном функционировании.

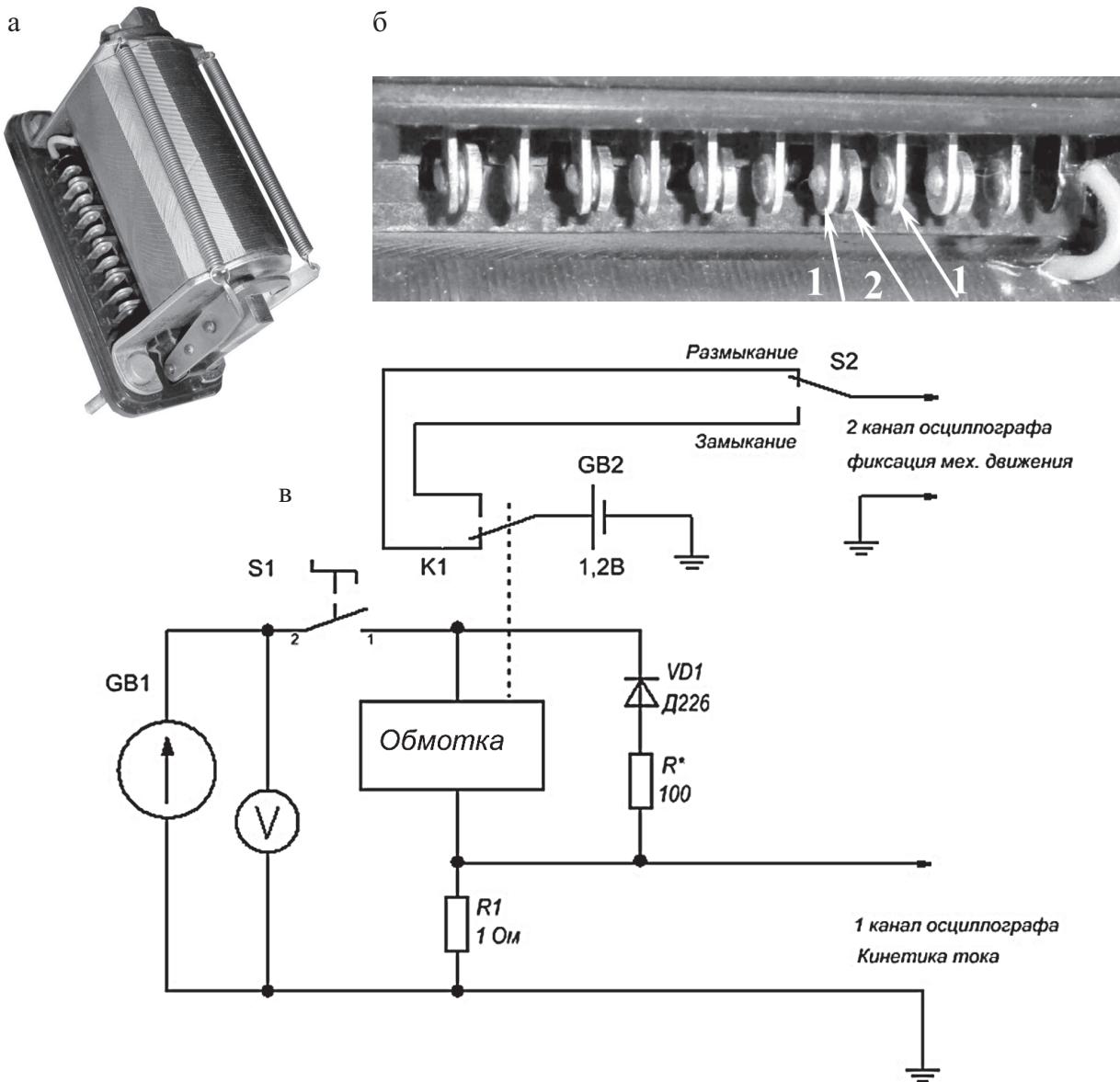
Как уже отмечалось, в настоящее время эксплуатируется большое количество КА различных типов, которые объединяются в группы (электромагнитные муфты, клапаны и т. п.). Внутри каждой группы имеется своя классификация, в том числе по конструктивным особенностям, поэтому для получения

диагностических алгоритмов определения состояния объекта по кинетике тока обмотки при включении КА необходимо исследовать каждую разновидность КА в указанном направлении. Данная работа носит принципиальный характер и посвящена детальному экспериментальному исследованию, как влияет изменение механического состояния элементов КА на кинетику тока якоря, и доказательству возможности диагностики предлагаемым путем.

В связи с этим в качестве модельного объекта выбрано электромагнитное реле типа 8Э146А27В [13], которое предназначено для коммутирования электрических цепей постоянного и переменного тока в радиотехнических устройствах и в аппаратуре автоматики. Номинальное напряжение питания обмотки составляет 27 В постоянного тока. Конструкция магнитопровода этого реле аналогична КА релейного типа с тянувшим якорем (например, управляемого дистанционно замка) и удобна для введения в эксперимент различных моделей деструктивных процессов. Магнитопровод с обмоткой выполнен в форме соленоида, а якорь – в форме втягивающегося цилиндра с конической опорной поверхностью.

Реле 8Э146А27В (внешний вид и контактная группа представлены на рис. 1а, б) снабжено системой контактов с перекидываемой перемычкой. Система рычагов, связанных с якорем, перебрасывает перемычку между двумя парами неподвижных контактов. В начальный момент (до подачи напряжения питания) перемычка замыкает первую пару контактов. После подачи напряжения питания якорь приходит в движение. Сначала первая пара контактов размыкается (этот момент можно считать началом движения якоря), а в конечном положении движения якоря замыкается вторая пара контактов. Если фиксировать эти моменты, то можно измерить непосредственно время срабатывания ЭМУ и связать его с особенностями кинетики тока обмотки в переходном режиме. Задействование контактов в схеме исследования вызвано необходимостью достоверно установить диагностическую информацию в кинетике тока обмотки при включении КА. В дальнейшем при практическом использовании метода эта необходимость отпадает, так как контроль и диагностика КА в штатных условиях будут происходить только путем регистрации кинетики тока и ее анализа без демонтажа КА и вскрытия корпуса.

Для исследований была разработана экспериментальная установка (рис. 1в). Ток обмотки регистрируется осциллографом по величине падения напряжения на эталонном резисторе  $R1$ , чтобы получать информацию непосредственно о перемещении якоря и иметь возможность выявлять корреляцию между изменениями в кинетике тока и состоянием контактных групп КА. Синхронно с регистрацией кинетики тока фиксировалось положение контактов. При этом раздельно исследовались контактная группа на размыкание и на замыкание. Информацию о начале движения якоря определяют контакты на размыкание, а об окончании движения – на замыкание. Регистрация кинетики в проводимых исследованиях производилась двухлучевым USB-осциллографом АКИП-4107 [6]. Исследуемые контакты переключали

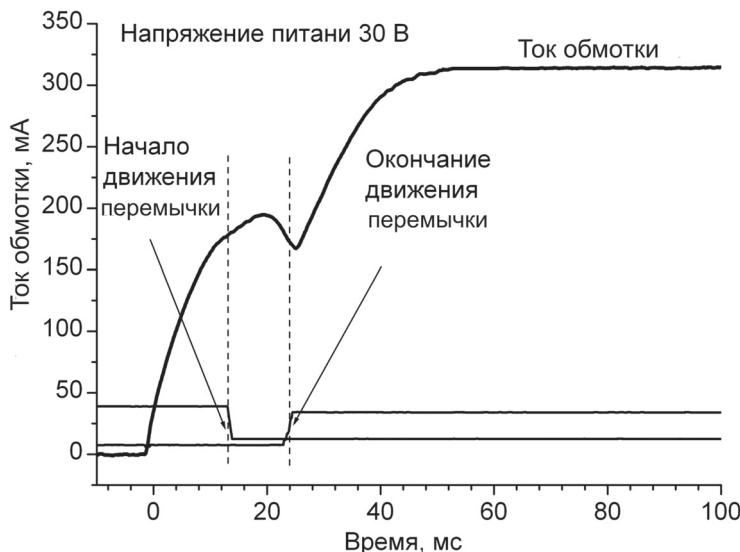


**Рис. 1.** Внешний вид модельного электромагнитного КА (а, б) и схема экспериментального исследования (в); 1 – неподвижные контакты; 2 – перемещающаяся перемычка

переключателем  $S_2$ . Процесс измерения запускали кнопкой  $S_1$  после установления заданного напряжения питания обмотки.

Очевидно, что наибольший интерес для диагностирования КА имеет кинетика тока включения, так как ток выключения менее информативен и требует специальных способов анализа, поэтому в результатах исследования рассматривается только кинетика переходного процесса включения КА.

Как уже отмечалось, в первом приближении кинетика тока обмотки исследуемого модельного КА по наличию характерных участков соответствует большинству типов аналогичных устройств. На рис. 2 представлена кривая кинетики тока обмотки при включении реле с номинальным напряжением 27 В, отражающая связь кинетики тока с фазами движения якоря, привязанными к перемещению контактной группы.



**Рис. 2.** Кинетика тока обмотки при включении модельного КА

Кривая кинетики тока имеет ряд характерных участков. Участок 0–13 мс отражает процесс нарастания тока в обмотке. В соответствующий момент времени (13 мс) происходит непосредственное срабатывание реле – контактная перемычка начинает движение с некоторым запаздыванием. Участок 13–24 мс соответствует наиболее активному движению якоря. Окончание процесса замыкания контактов должно происходить раньше окончания движения якоря. В конце процесса срабатывания якорь «дожимает» перемычку при уже замкнутом состоянии контактов. Для подтверждения этого заключения исследованы кинетика токов обмотки и состояние контактов для нескольких значений напряжения питания. Результаты эксперимента представлены на рис. 3.

Как следует из иллюстраций, уменьшение напряжения питания приводит к увеличению времени срабатывания. Особый интерес представляет кинетика тока обмотки при напряжении питания 18 В (рис. 3г): переходный процесс размыт, момент начала движения якоря в кинетике тока не выражен, однако момент окончания движения фиксируется четко. Следовательно, даже при предельно низком напряжении питания реле в кинетике тока его обмотки присутствует информационная компонента, отражающая движение якоря. При этом повышается чувствительность кинетики к взаимодействию якоря с упругими элементами контактной группой КА. Благодаря этому возможна диагностика их состояния при специально пониженном напряжении питания.

Если напряжение питания еще меньше и перемещение якоря отсутствует, то никаких аномалий в кинетике тока нет. Она соответствует и отражает чисто индуктивный характер обмотки реле (на рис. 3 не показана).

Таким образом, использование контактной группы позволяет выявить аномалии в кинетике тока обмотки и связать их с фазами движения якоря, что впоследствии на практике позволит выделять диагностическую информацию из кинетики уже без использования контактных групп.

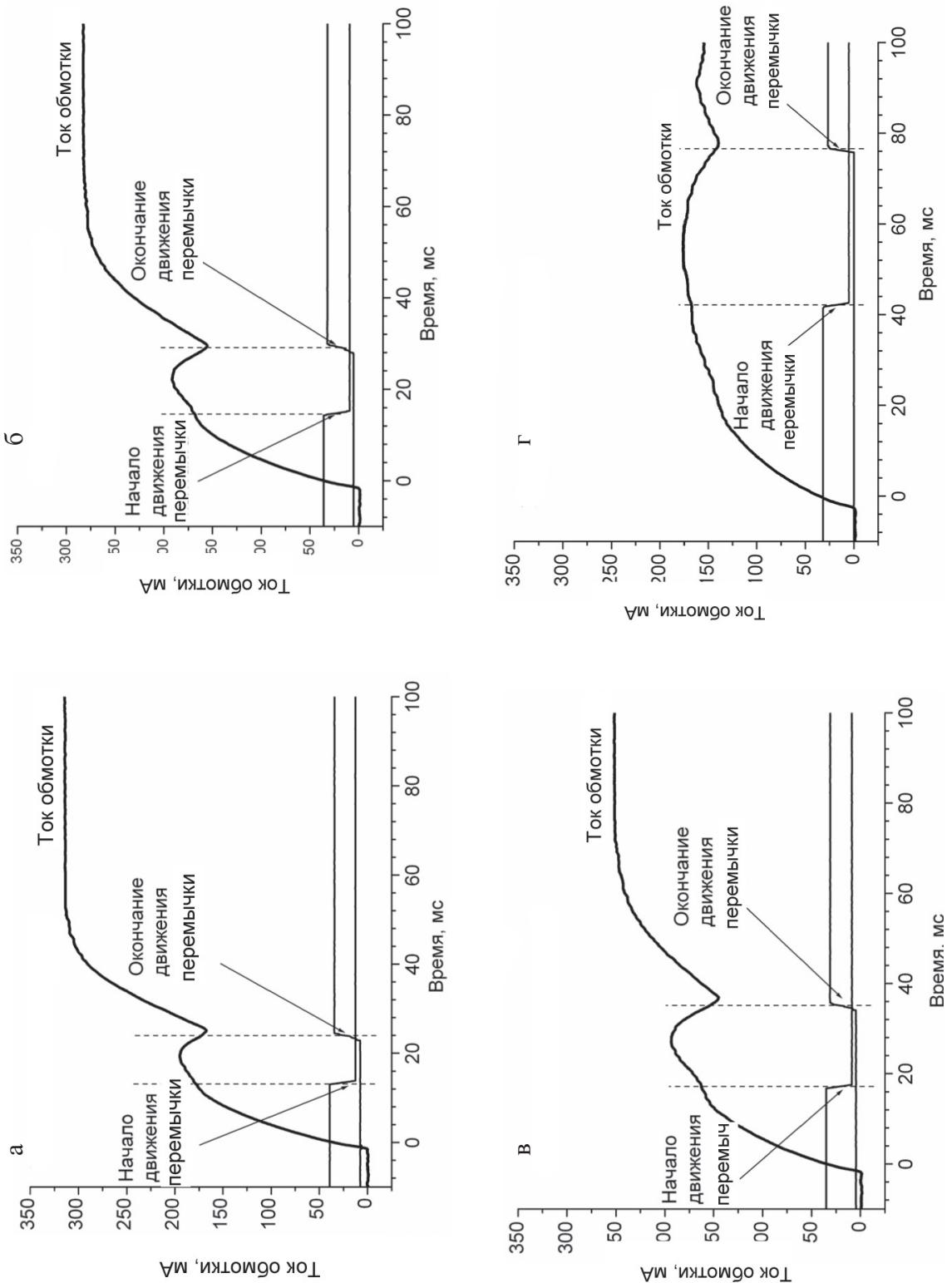
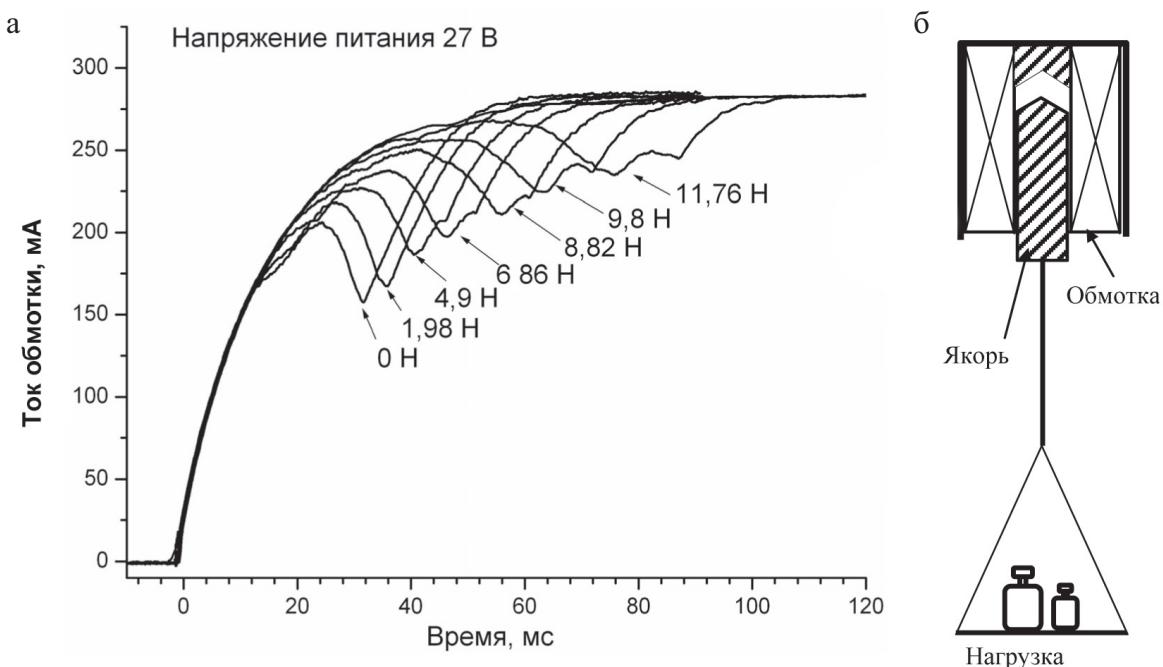


Рис. 3. Зависимость кинетики тока обмотки от величины питающего напряжения: при 30 В (а), 27 В (б), 25 В (в), 18 В (г)

В экспериментальной установке была предусмотрена возможность механически воздействовать на якорь и моделировать возникновение дефектов. Это также позволило установить наличие диагностической информации в кинетике тока обмотки. Схема введения возмущения в движение якоря приведена на рис. 4. Упругие элементы реле на рис. 4 не показаны. Кроме грузов заданной массы якорь можно нагружать устройствами, реализующими инерционные и вязкостные силы.



**Рис. 4.** Изменение кинетики тока обмотки при увеличении постоянной силы, препятствующей движению якоря (а), и схема создания нагрузки (б)

Как показали эксперименты, анализ кинетики тока обмотки КА позволяет исследовать характер движения якоря и время срабатывания реле при наличии механической нагрузки, а также зависимость этого времени от величины нагрузки. Величина напряжения питания обмотки выбрана равной номинальному напряжению (27 В). Постоянная сила, препятствующая перемещению якоря, изменялась в интервале значений от 1,98 Н до 11,76 Н. Результаты влияния постоянной силы на кинетику тока обмотки представлены на рис. 4.

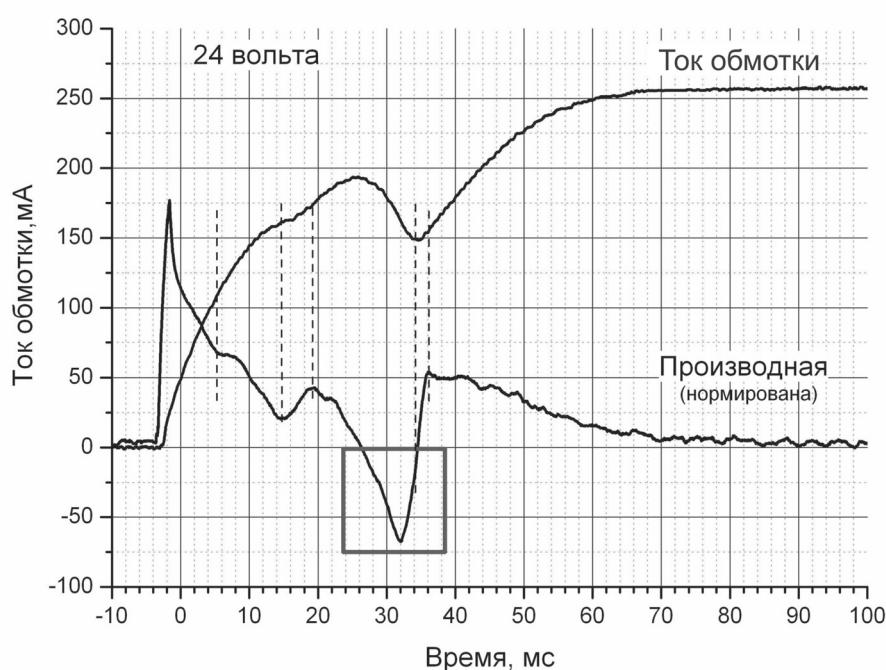
Как следует из эпюра, механическая нагрузка увеличивает время срабатывания реле и время движения якоря. Кроме того, характер движения якоря изменяется, что также может быть объяснено действием внешней силы. Как видно из рис. 4, появление постоянной механической нагрузки, препятствующей движению якоря, приводит к размытию минимума на переходном процессе и к изменению его формы. Если же величина силы оказывается большой и КА не в состоянии ее преодолеть, то характерные участки в кинетике размываются полностью и кинетика становится «гладкой», как при недостаточной величине питающего напряжения.

Таким образом, анализ кинетики тока обмотки позволяет сделать вывод, что она содержит много информации о состоянии КА, а не только о времени срабатывания.

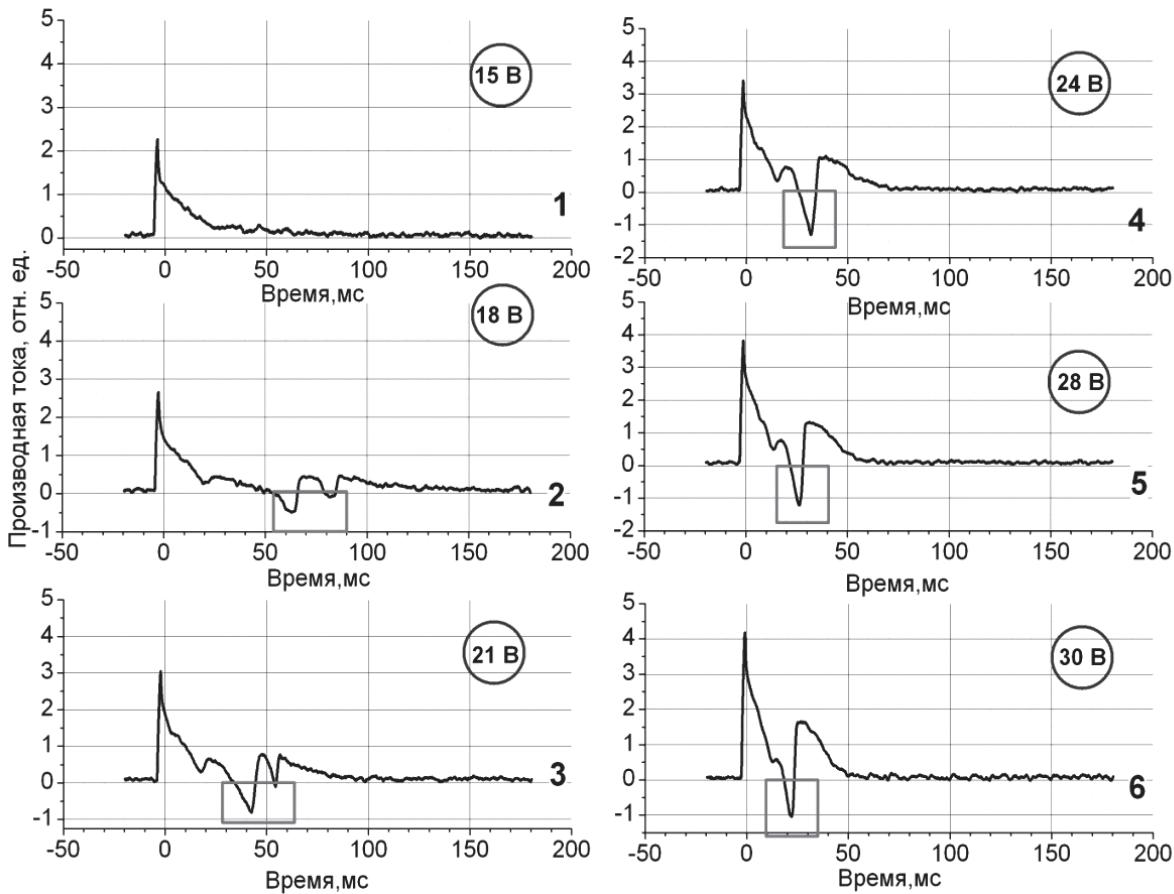
При реализации алгоритмов контроля технического состояния и режимов работы КА информация, содержащаяся в кинетике тока обмотки при срабатывании КА, может быть получена бесконтактно размещением, например, на питающем КА проводе магниточувствительных датчиков. Одним из наиболее распространенных типов таких устройств являются датчики индукционного типа, подключаемые к токоподводящему проводу по схеме трансформатора тока аналогично [14]. В этом случае сигнал с выхода датчика будет представлять собой производную сигнала тока обмотки, которая более четко выделяет положение всех особенностей кинетики тока и позволяет точнее фиксировать наличие внутренних дефектов КА. Для подтверждения этого одновременно записаны кинетика тока обмотки и его производная. Производную тока обмотки находили с помощью дифференцирующей RC-цепочки. Сравнение кинетики тока и производной представлено на рис. 5.

Первым объективным признаком работы КА в штатном режиме может служить отрицательное значение сигнала кинетики производной (рис. 5). Этот участок обведен квадратной рамкой.

Кинетика производной тока обмотки весьма чувствительна к величине питающего напряжения. Наличие области отрицательного значения сигнала, попадающего на область активного движения якоря, подтверждает возможность ее использования для автоматизации диагностики. Зависимость сигнала производной тока обмотки от величины питающего напряжения представлена на рис. 6.



**Рис. 5.** Взаимосвязь особенностей кинетики тока обмотки и кинетики ее производной



**Рис. 6.** Зависимость кинетики производной тока обмотки от величины напряжения питания

Если напряжение питания статора недостаточно, то якорь не двигается и КА не срабатывает. На рис. 6 этой ситуации соответствует график 1–15 В. По мере увеличения напряжения питания появляется и соответствующим образом изменяется область отрицательного знака производной кинетики тока обмотки.

Необходимо отметить, что экспериментально полученные авторами зависимости характерны для большинства типов КА, содержащих обмотку и контактные группы, и различаются лишь масштабными коэффициентами.

## Выводы

Применение технических средств бесконтактного неразрушающего контроля не требует проведения доработок в ЭО (а значит, и его вывода из эксплуатации), а также позволяет диагностировать функциональные элементы ЭО в темпе изменения состояния контролируемого объекта [15].

При решении задачи неразрушающего контроля параметров и режимов работы, а также при диагностике технического состояния КА авторы уста-

новили закономерности изменения кинетики токопотребления обмотки типового КА при введении тестовых дефектов.

Исследования подтвердили наличие в кинетике тока обмотки при срабатывании КА характерных участков, соответствующих различным фазам работы, в частности, явно выделен участок активного движения якоря в момент срабатывания.

Кинетика кривой тока обмотки КА весьма чувствительна к влияющим факторам, в частности, к изменению питающего напряжения или к появлению механического воздействия на якорь, препятствующего его перемещению. Во всех исследованных случаях кривая кинетики тока претерпевает деформации, характер которых позволяет уверенно идентифицировать возникшую ситуацию.

Чтобы повысить достоверность и глубину анализа формы кривой кинетики тока, а также обеспечить возможность автоматизировать этот процесс, предложено преобразовывать сигнал тока с помощью его дифференцирования. Полученные кривые производных тока в большем количестве содержат характерные участки, также пригодные для анализа и более точно отражающие изменения в состоянии контролируемого КА.

## Библиографический список

1. Епифанов А. П. Электромеханические преобразователи энергии / А. П. Епифанов.– СПб. : Лань, 2004.– 208 с.
2. Алиев И. И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию / И. И. Алиев.– М. : Высш. шк., 2002.– 255 с.
3. Основные направления технической диагностики. – URL : [http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/NTS/VAGON//OSN\\_TD/METOD/14/frame/3.htm](http://edu.dvgups.ru/METDOC/GDTRAN/NTS/VAGON//OSN_TD/METOD/14/frame/3.htm) (дата обращения 05.02.2013).
4. Сафарбаков А. М. Основы технической диагностики : учеб. пособие / А. М. Сафарбаков, А. В. Лукьянов, С. В. Пахомов.– Иркутск : ИрГУПС, 2006.– 216 с.
5. Корсунский Г. М. Применение метода осциллографического анализа динамических характеристик электромагнитных реле для его технической диагностики / Г. М. Корсунский, А. Ф. Мироненко, П. Ф. Федорец // Техника средств связи. – 1979. – Вып. 5 (38). – С. 41–51.
6. Цифровые запоминающие осциллографы. АКИП-4107 и др. Руководство пользователя.– М. : ЗАО ПРИСТ, 2009. – 124 с.
7. Сукиязов А. Г. Устройство бесконтактного контроля временных параметров электромагнитного элемента / А. Г. Сукиязов, Б. Н. Просянников. А. с. 1688298 СССР.– № 4661973/07 ; заявл. 10.03.1989 ; опубл. 30.10.1991, Бюл. № 40.
8. Ступель Ф. А. Электромеханические реле. Основы теории, проектирования и расчета / Ф. А. Ступель.– Харьков : Изд-во Харьков. ун-та, 1956.– 355 с.

9. Казаков Л. А. Электромагнитные устройства РЭА / Л. А. Казаков. – М. : Радио и связь, 1991. – 352 с.
10. Захаров О. Г. Поиск дефектов в релейно-контакторных схемах. Ч. 1 / О. Г. Захаров. – М. : НТФ Энергопрогресс, 2010. – 96 с. (Библиотечка электротехники : приложение к журналу «Энергетик». Вып. 4 (136)).
11. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / В. А. Андреев. – М. : Высш. шк., 2006. – 639 с.
12. Сидоров В. А. Современные задачи диагностирования технического состояния механического оборудования / В. А. Сидоров // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2010. – № 3. – С. 47–52.
13. Келим Ю. М. Электромеханические и магнитные элементы систем автоматики / Ю. М. Келим. – М. : Высш. шк., 1991. – 304 с.
14. Сукиязов А. Г. Функциональное диагностирование асинхронного электропривода / А. Г. Сукиязов, Б. Н. Просянников // Тр. междунар. науч.-практич. конф. «Транспорт-2015». Ч. 2. – Ростов-на-Дону, 2015. – С. 120–122.
15. Андреев Ю. А. Преобразователи тока для измерений без разрыва цепи / Ю. А. Андреев, Г. В. Абрамзон. – Л. : Энергия. Ленингр. отд., 1979. – 144 с.

**Use of transition process of switching devices  
coil current for their technical state diagnostics  
during maintenance**

Alexander G. Sukijazov,  
„Radionics“ department  
Don state technical university

Boris N. Prosjannikov  
„Automation and remote control on railway transport“ department  
Rostov state transport university

The paper is devoted to the possibility of railway automation and remote control switching systems maintenance efficiency increase by considering the information about mechanical condition of inner elements based on analysis of coil current shape in the moment of switching on. On the base of experiments with model object authors has shown that current shape contains information about contactor armature movement, elastic elements and moments of interaction with contact nodes. Research results allow developing methods of contactor systems diagnostics without dismantling and chassis intrusion.

**Keywords:** *electromagnetic relay diagnostics; magnetic coupling; contactor; current shape; switching devices.*

## **Сведения об авторах**

*СУКИЯЗОВ Александр Гургенович* – кандидат физико-математических наук, профессор Донского государственного технического университета;  
*e-mail:* pro\_suk@mail.ru

*ПРОСЯННИКОВ Борис Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» Ростовского государственного университета путей сообщения;  
*e-mail:* pronik-51@mail.ru

© Сукиязов А.Г., Просянников Б.Н., 2017

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СТРЕЛОЧНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

**Д. В. Зуев, С. В. Бочкарев, С. В. Белоусов, М. К. Селезнёва**

Рассмотрен процесс разработки диагностических моделей на основе метода много-критериальной оценки диагностических параметров и метода теории нейронных сетей. Для метода многокритериальной оценки приведены средние значения диагностических параметров для различных состояний стрелочного переводного устройства с электродвигателем постоянного тока. Представлены графики, характерные для этих состояний. Проведен анализ отличительных особенностей двух методов. Описан планируемый эффект реализации методов.

**Ключевые слова:** техническое диагностирование; анализ диагностической информации; нейронная сеть; техническое состояние; обнаружение отказов.

### Введение

Задачей систем технического диагностирования и мониторинга (СТДМ) является автоматическое определение состояния системы (устройства) с точки зрения надежности и технологии работы, а в случае отказа или предотказного состояния – фиксация этого состояния для дальнейшего анализа и выработки стратегии его устранения.

Применяемые сегодня системы и приборы, имеющиеся методики и алгоритмы выявления технических состояний, обнаружения отказов и фиксации предотказных состояний несовершенны. Технологиям дистанции сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) и центров мониторинга приходится анализировать диагностическую информацию «ручным» способом ввиду низкой степени автоматизации этого процесса, после чего выдавать рекомендации электромеханикам СЦБ по восстановлению и поддержанию работоспособного состояния устройств СЦБ. Данный подход неэффективен в силу влияния человеческого фактора и большого количества диагностической информации. К тому же количество контролируемых параметров стрелочного переводного устройства (СПУ) (тока, времени и усилия перевода, контроля крайнего положения стрелки, сопротивления изоляции) и методы их анализа в СТДМ позволяют фиксировать только проявление неисправности (увеличения времени перевода стрелки, потери контроля и др.), но не указывают на ее причину и место возникновения.

В настоящее время ведутся работы по повышению автоматизации процесса обработки информации. В СТДМ [1–4] на базе аппаратно-программного комплекса диспетчерского контроля (АПК-ДК) используется логико-временная модель обработки диагностической информации по состоянию индикации на АРМ технолога. Модели позволяют описывать изменение состояния устройств по индикаторам, по последовательности изменения индикации делают вывод о техническом состоянии объекта диагностирования [5].

Задача этой работы – определить техническое состояние СПУ и характер его неисправности разными методами. В качестве диагностического признака будем рассматривать характеристику тока перевода СПУ  $y = f(x)$ , представленную в виде массива значений  $X$ , ограниченную размерностью  $N$ . На выходе получим оценку технического состояния СПУ.

## 1. Метод многокритериальной оценки

В [6] изложен метод многокритериальной оценки диагностического параметра. На его основе было выделено  $N$  диагностических критериев параметра (ДКП) ( $d_1, d_2, \dots, d_n$ ) с допустимыми диапазонами изменения  $\Delta d_1\{C_i\}, \Delta d_2\{C_i\}, \dots, \Delta d_n\{C_i\}$  (см. таблицу). Допустимые диапазоны изменения критериев  $\Delta d_1\{C_i\}, \Delta d_2\{C_i\}, \dots, \Delta d_n\{C_i\}$  для рассмотренных технологических ситуаций и неисправностей  $C_i$  образуют диагностические области  $O$  в  $n$ -мерном пространстве. Далее для каждого графика тока перевода стрелки рассчитываются ДКП (координаты  ${}^0d_1, {}^0d_2, \dots, {}^0d_n$ ). Полученная точка наносится на диагностическое пространство и рассчитывается кратчайшее расстояние  $r$  до выделенных диагностических областей  $O_1-O_k$ . Принадлежность этой точки к одной

### Анализ тока перевода

Вид неисправности	Значение параметра							
	Среднее	Дисперсия	Флуктуация	Угол тренда	Время	Экстремумы	Мин.	Макс.
Загрязнение коллекторного узла	2,298	0,186	0,075	-30,387	119,434	0,736	0,143	0,127
Неисправность стрелочного перевода (загрязнение башмаков)	3,077	0,430	0,057	18,197	204,602	0,457	0,099	0,092
Короткое замыкание якоря двигателя	3,207	0,189	0,139	-40,416	138,818	0,620	0,183	0,179
Исправный перевод	1,962	0,157	0,088	-27,602	96,619	0,568	0,138	0,146
Искрение щеток ЭД	1,730	0,384	0,359	-42,014	144,369	0,593	0,165	0,170
Требуется осмотр запирающего механизма	1,817	0,239	0,031	28,743	190,069	0,320	0,065	0,069

из областей ( $C(^0d_1, ^0d_2, \dots, ^0d_n) \in O_1 \dots O_k$ ) позволяет определить соответствующее техническое состояние СПУ.

Описанный метод обладает существенными недостатками:

- отсутствует универсальный выбор диагностических критериев анализируемой характеристики, что приводит к временным затратам на исследование каждого диагностического параметра множества устройств железнодорожной автоматики и телемеханики;
- при изменении количества диагностических критериев приходится корректировать алгоритм анализа диагностического параметра;
- отсутствует обоснованный выбор метрики, используемой для определения расстояния до области.

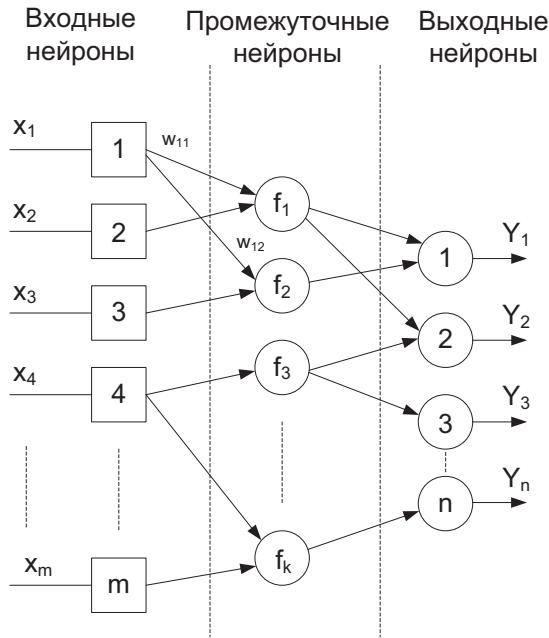
## 2. Метод теории нейронной сети

Рассмотрим другой подход для решения описанной задачи – использование методов теории нейронных сетей [7], которые лишены перечисленных недостатков. Методы нейронных сетей уже показали высокую эффективность при применении в других задачах автоматики и телемеханики, таких как распознавание технической документации [8–11]. Данные модули прошли испытания и успешно используются в ведении технической документации [12–15] на российских железных дорогах.

Нейронная сеть является универсальным классификатором, ее принцип работы следующий. Пусть дана обучающая выборка  $\{(X_i, Y_i) \mid i = 1 \dots l\}$ , где  $X_i \in R^m$  – характеристика,  $Y_i \in R^n$  – идентификатор класса. Требуется определенным способом построить такое отображение  $F: R^m \rightarrow R^n$ , что  $F(X_i) = Y_i$ . Отображение  $F$ , построенное определенным способом, называется нейронной сетью.

Функционально нейроны в сети делятся на три типа: входные, выходные и промежуточные. Входные нейроны получают сигнал от внешнего источника, промежуточные обрабатывают сигнал, выходные реализуют внешний отклик сети. На рис. 1 представлена нейронная сеть прямого распространения. Такая сеть состоит из нескольких слоев, каждый из которых, в свою очередь, состоит из нескольких нейронов.

Нейронная сеть строится как суперпозиция линейных комбинаций некоторых функций, называемых функциями активации, после чего коэффициенты линейных комбинаций при помощи методов нелинейной оптимизации подбираются таким образом, чтобы  $F(X_i) = Y_i$ . По вложенности функций нейронная сеть делится на слои, а по количеству функций в составе линейной комбинации – на нейроны. Коэффициенты линейной комбинации называются синоптическими коэффициентами. Процесс подбора синаптических коэффициентов называется обучением сети (рис. 2) [16, 17].



**Рис. 1.** Архитектура нейронной сети



**Рис. 2.** Процесс обучения сети

В случае успешного обучения сеть не всегда обучается именно тому, что от нее требовалось. Необходимо проверять ее при помощи тестовой выборки, отличной от исходных входных наборов. Если на тестовой выборке нейронная сеть показывает положительный результат, то сеть обучена правильно.

По теореме Колмогорова – Арнольда, любая непрерывная функция может быть аппроксимирована двухслойной нейронной сетью, следовательно, можно построить универсальный классификатор, свободный от недостатков аналитического метода.

### 3. Выбор диагностического параметра и анализ его особенностей для синтеза диагностической модели

Для определения технического состояния (объекта диагностирования – ОД) с использованием нейронной сети рассмотрим стрелочный электропривод (СЭП) с двухпроводной схемой управления стрелки.

В настоящее время все применяемые на сети железных дорог РФ СТДМ позволяют непрерывно контролировать только некоторые параметры схемы управления СЭП:

- наличие крайнего положения стрелки;
- время перевода стрелки;
- ток перевода стрелки.

Из перечисленных диагностических параметров для обучающей выборки используем график тока перевода стрелки. Набор графиков для обучения должен удовлетворять некоторым условиям:

- отражать истинное состояние ОД;
- не содержать противоречивых данных, которые могут привести к плохому обучению сети.

Скорость обработки информации позволяет с высокой точностью отследить изменение тока во время работы двигателя. Форма тока определяется состоянием обмотки якоря, обмотки возбуждения, щеточно-коллекторного устройства и состоянием механических частей электродвигателя и стрелочного привода.

Рассмотрим входные наборы СЭП, классы, характеризующие исправную (рис. 3а) и неисправную работу стрелки.

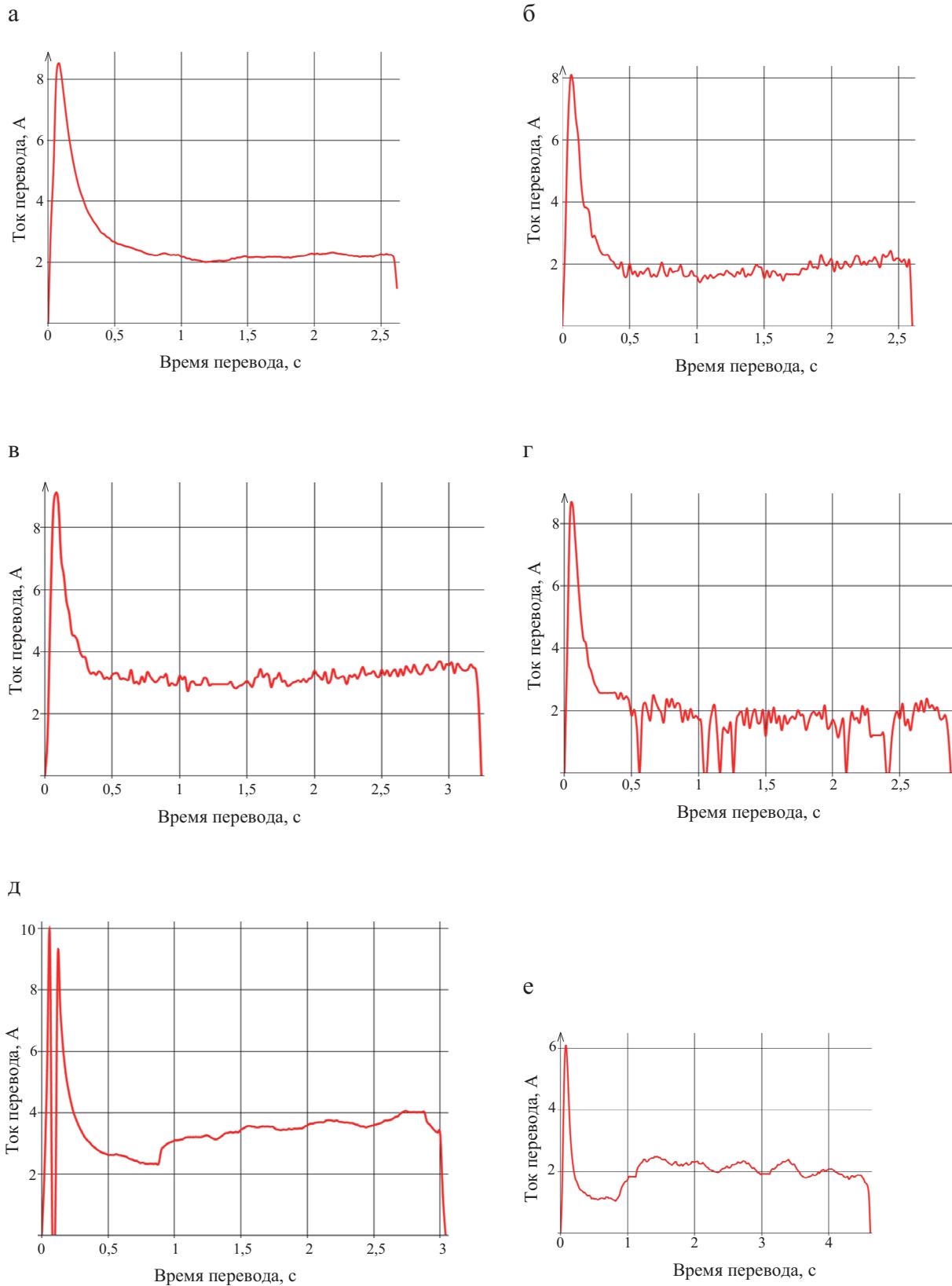
При этом состояние, описывающее неисправную работу, подразделяется на пять подклассов:

- загрязнение коллекторного узла (рис. 3б);
- короткое замыкание якоря двигателя (рис. 3в);
- искрение щеток ЭД (рис. 3г);
- неисправность стрелочного перевода (рис. 3д);
- неисправность запирающего механизма (рис. 3е).

Исходные данные взяты из архива комплекса задач «Мониторинг» СТДМ на базе АПК-ДК и программными средствами расширены до 37 049 обучающих примеров, которые полностью и точно отражают процесс перевода стрелки. Архитектура сети для решения данной задачи представлена на рис. 1.

## 4. Сравнение методов

Каждый метод обладает своими особенностями. Важной характеристикой двух методов является то, что нейронная сеть автоматически подбирает диагностические критерии, о которых неизвестно человеку, тогда как в методе многокритериальной оценки человек сам выбирает признаки. В первом случае, когда сеть с ошибкой распознает тестовую выборку, ее необходимо загрузить для обучения, во втором случае человеку необходимо добавлять диагностические критерии до тех пор, пока безошибочно будет распознаваться тестовая выборка. Для нейронной сети синтез происходит автоматически, для метода многокритериальной оценки подбирается вручную.



**Рис. 3.** Графики тока перевода:

- исправное состояние;
- загрязнение коллекторного узла;
- короткое замыкание якоря двигателя;
- искрение щеток ЭД;
- неисправность стрелочного перевода;
- неисправность запирающего механизма

Работа обоих методов проверялась на тестовом наборе из 457 графиков, не вошедших в обучающую выборку. Метод теории нейронных сетей показал на 10 % больше верно диагностированных тестовых графиков, чем метод многокритериальной оценки. Оба метода просты в использовании, скорость распознавания данных в обоих методах высока. При этом время обучения для нейронной сети велико и может достигать от нескольких часов до нескольких дней из-за большого объема и схожести обучающей выборки. В методе многокритериальной оценки обучение заключается в расчете выделенных диагностических критериев, соответственно, скорость обучения высока. Основные временные затраты в аналитическом методе приходятся на выбор диагностических критериев.

## **Выводы**

Исследования графиков тока перевода показали, что для разработки диагностической модели их анализа можно использовать метод многокритериальной оценки и метод теории нейронных сетей. Метод теории нейронных сетей обладает более высокой достоверностью (на 10%) по сравнению с методом многокритериальной оценки. Разность в достоверности распознавания графиков тока перевода двумя методами может быть обусловлена динамичностью и гибкостью нейросетевого метода, т. е. в нем автоматически выделяется достаточное количество диагностических критериев, которые наиболее чувствительны к изменениям в графике, а также отсутствует выделение фиксированных диагностических областей с определением кратчайшего расстояния до них.

Реализация методов анализа тока перевода позволяет:

- перейти на техническое обслуживание СПУ «по состоянию», при этом сокращается количество регламентных работ, установленных инструкцией ЦШ-720-09, тем самым уменьшается влияние человеческого фактора и так называемых послепрофилактических отказов;
- автоматически определить неисправности СПУ, сокращающие время восстановления исправного работоспособного состояния, и, как следствие, уменьшить вероятность задержки поезда;
- повысить надежность работы СПУ за счет своевременного обнаружения предотказных состояний;
- сократить нагрузки на технологов центров мониторинга.

## **Библиографический список**

1. Лыков А. А. Техническое диагностирование и мониторинг состояния устройств ЖАТ / А. А. Лыков, Д. В. Ефанов, С. В. Власенко // Транспорт РФ.– 2012.– № 5.– С. 67–72.

2. Ефанов Д. В. Некоторые аспекты развития систем функционального контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов // Транспорт Урала. – 2015. – № 1. – С. 35–40.
3. Ефанов Д. В. Становление и перспективы развития систем функционального контроля и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 1. – С. 124–148.
4. Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : моногр. / Д. В. Ефанов. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – 171 с.
5. Ефанов Д. В. Основы построения и принципы функционирования систем технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов, А. А. Лыков. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2012. – 59 с.
6. Бочкарев С. В. Метод определения технического состояния устройств железнодорожной автоматики / С. В. Бочкарев, А. А. Лыков // Изв. ПГУПС. – 2012. – Вып. 4 (33). – С. 38–45.
7. Зорич В. А. Математический анализ / В. А. Зорич. – Ч. 1. – М. : Изд-во МЦНМО, 2012. – 720 с.
8. Матушев А. А. Распознавание структуры монтажных схем ЖАТ / А. А. Матушев, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2015. – № 10. – С. 4–7.
9. Василенко М. Н. Методы выделения текстовых выражений принципиальных электрических схем железнодорожной автоматики и телемеханики / М. Н. Василенко, Р. А. Ковалев // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 4. – С. 540–541.
10. Матушев А. А. Распознавание структуры монтажных схем ЖАТ / А. А. Матушев, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2015. – № 10. – С. 4–7.
11. Благовещенская Е. А. О сходимости методов обучения нейронных сетей / Е. А. Благовещенская, Д. В. Зуев // Материалы XIX междунар. конф. по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС' 2015). – Алушта, 2015. – С. 130–131.
12. Василенко М. Н. Безбумажная технология ведения технической документации ЖАТ / М. Н. Василенко, Д. В. Зуев, В. В. Кудрявцев, В. Г. Трохов // Автоматика, связь, информатика. – 2014. – № 4. – С. 34–35.
13. Василенко М. Н. Развитие электронного документооборота в хозяйстве АТ / М. Н. Василенко, В. Г. Трохов, Д. В. Зуев, Д. В. Седых // Автоматика связь, информатика. – 2015. – № 1. – С. 14–16.
14. Балуев Н. Н. Проблемы внедрения отраслевого формата / Н. Н. Балуев, М. Н. Василенко, В. Г. Трохов, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 3. – С. 2.
15. Седых Д. В. Учет работы приборов с помощью АРМ-УРП / Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 3. – С. 7–8.
16. Круглов В. В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. – М. : Физматлит, 2001. – 201 с.
17. Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive Foundation / S. Haykin . – 2 ed. – Macmillan Coll Div, 1994.

# **Research of diagnostic information analysis methods for point machine fault detection**

Denis V. Zuev, Sergey V. Bochkarev,  
Sergey V. Belousov, Maria K. Seleznyova

*„Automation and remote control on railways“ department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

Authors describe methods of diagnostic information analysis for point machine fault detection. Results of application of these methods are adduced.

**Keywords:** technical diagnostics; diagnostic information analysis; neural network; technical state; fault detection

## **Сведения об авторах**

*ЗУЕВ Денис Владимирович* – руководитель НТЦ-САПР кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* zuevdv@gmail.com

*БОЧКАРЕВ Сергей Владимирович* – кандидат технических наук; инженер-проектировщик ООО «КИТ»;  
*e-mail:* bochkareffSV@yandex.ru

*БЕЛОУСОВ Сергей Владимирович* – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* bsv992@gmail.com

*СЕЛЕЗНЁВА Мария Константиновна* – студент факультета «Автоматизация и интеллектуальные технологии» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* selezneva\_97@bk.ru

© Зуев Д. В., Бочкарёв С. В., Белоусов С. В., Селезнёва М. К., 2017

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА СРЕДСТВАМИ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДИСПЕТЧЕРСКОГО КОНТРОЛЯ В ПЕТРОЗАВОДСКОЙ ДИСТАНЦИИ СИГНАЛИЗАЦИИ, ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ И БЛОКИРОВКИ

**А. Р. Зозуля**

Рассмотрен вопрос об эффективности используемой на Октябрьской железной дороге системе функционального контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, а также о методах устранения данного несовершенства. Приводятся данные по отказам, которые можно устраниить при модификации алгоритма обработки данных, получаемых применяемой системой диагностирования.

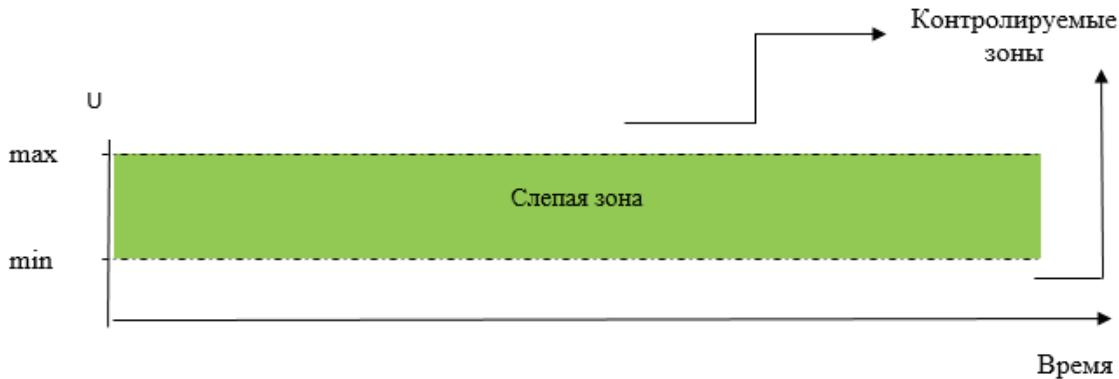
**Ключевые слова:** система технического диагностирования и мониторинга; аппаратно-программный комплекс диспетчерского контроля; снижение количества отказов; неисправность «ложная занятость» рельсовой цепи; неисправность «ложное срабатывание устройств контроля схода подвижного состава».

## Введение

Современные системы технического диагностирования и мониторинга (СТДМ) идут по пути повышения уровня автоматизации анализа диагностической информации и увеличения точности прогнозирования [1–5]. С этой целью создаются новые диагностические приборы [6–9], в программное обеспечение систем внедряются алгоритмы обработки диагностической информации, основанные на логико-временных моделях [10, 11]. Они адаптируются к конкретному объекту мониторинга, выполняют роль анализатора получаемой диагностической информации и выдают на экраны автоматических рабочих мест мониторинга информацию о текущих и предстоящих событиях [12, 13]. Остановимся на рассмотрении системы «Аппаратно-программный комплекс диспетчерского контроля» (АПК-ДК), разработанной на кафедре «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения в начале 1990-х годов, широко распространенной на сети железных дорог Российской Федерации [14, 15].

В данный момент в СТДМ, используемой на полигоне Октябрьской железной дороги (ОкЖД), а именно в системе АПК-ДК, измеряемые параметры контролируются только за пределами определенных границ – минимальных и максимальных значений, устанавливаемых на этапе проектирования системы мониторинга. Из-за такого метода диагностирования многие неисправно-

сти остаются незамеченными, так как отсутствует контроль параметра в так называемой слепой зоне (рис. 1).



**Рис. 1.** Отображение зон мониторинга на данный момент

Это обстоятельство затрудняет работу электромеханика сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) и технолога ситуационного центра (центра мониторинга), так как данным сотрудникам приходится анализировать в действительности не возникающие события и тратить много времени на анализ реальной обстановки в работе средств автоматики [16].

Имеется ряд процессов, которые в течение некоторого времени воздействуют на работу устройства, не приводя ее характеристику к границам предотказа. Среди таких случаев – неисправность изолирующего стыка (одна из более частых причин – налипание стружки на изостыки). Такая неисправность постепенно влияет на значение рабочего напряжения на выходе путевого приемника (ПП) тональной рельсовой цепи. При этом напряжение на ПП изменяется в пределах нормы, но не является нормальным для своего состояния. С течением времени напряжение на ПП падает ниже своего нормального состояния, путевое реле отключается и сигнализирует о занятости рельсовой цепи – «ложной занятости», которая приводит к сбою в графике движения поездов. Также примером этого процесса является неисправность устройств контроля схода подвижного состава (УКСПС), а именно неисправность «ложное срабатывание» УКСПС, которое возникает при незамеченной на планках устройства старой трещине, образованной ранее от сильных вибраций или зимой от сильных наледей на локомотиве. При перечисленных неисправностях система не сигнализирует об угрозе неисправности.

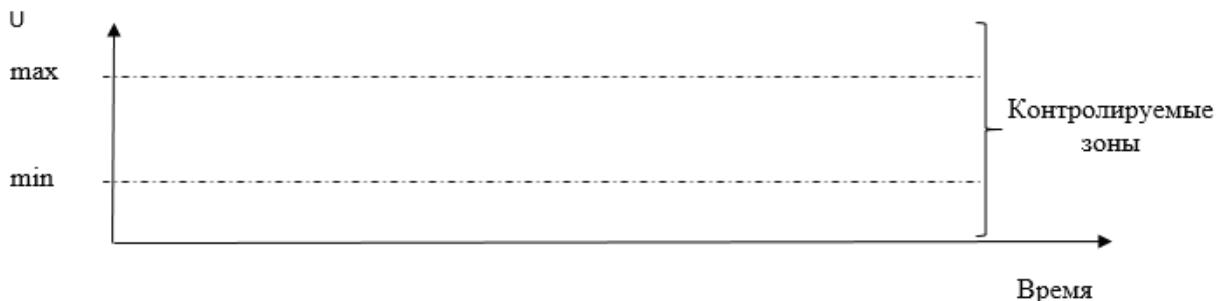
Учитывая нагрузку движения на главном ходу ОкЖД (линия Санкт-Петербург – Москва), неисправности по вине дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД» абсолютно недопустимы. При диагностировании параметров таких устройств, как ПП и УКСПС, не только по минимальной и максимальной границам, но и в рамках нормального состояния, ряд возможных отказов и даже предотказов, можно предотвратить.

## 1. Автоматизация анализа диагностируемых параметров

Изначально акцент был сделан только на реализацию алгоритма для мониторинга напряжения на выходе ПП, так как больше 70 % отказов с ложной занятостью приходится на пробой изолирующего стыка, вследствие чего падает напряжение на выходе ПП [16].

Далее при сборе статистических данных по отказам дирекции инфраструктуры ОкЖД было установлено, что более 80 % отказов, которые приходятся на неисправности УКСПС по вине дирекции инфраструктуры, вызвано изломами стоек датчика при наличии старой трещины. То есть от больших вибраций при движении и зимой при наледи на локомотиве УКСПС подвергается незначительному надлому, который не контролируется СТДМ. Несмотря на то, что данное устройство является дополнительным средством обеспечения безопасности движения поездов, его исправность напрямую воздействует на основные средства обеспечения безопасности, а именно на электрическую централизацию. Такие ситуации приводят к отказу, задержкам поездов и большим финансовым потерям.

Суть нововведения заключается в том, что СТДМ контролирует параметр не только по заданным границам, но и относительно своего среднего значения, тем самым устраняя так называемую слепую зону (рис. 2) [17].



**Рис. 2.** Контролируемые зоны мониторинга параметров  
после модификации алгоритма

При нестабильном – для своего нормального состояния – поведении характеристики системы сигнализирует об угрозе неисправности оператору (ШЧД или ШЧДМ), который сообщает о возможной неисправности электромеханику СЦБ. В ходе оперативных действий персонала удастся снизить количество отказов в дирекции инфраструктуры, избежать возможных задержек поездов, которые недопустимы по пути проследования скоростного поезда «Сапсан». Для компании ОАО «РЖД» наличие такого метода диагностирования является отличной возможностью снизить количество отказов, устранив большое количество задержек поездов, сохранить деньги компании. Но во время приехавший поезд – это не только сэкономленные денежные средства компании, но и ее имидж.

## **2. Технико-экономическое обоснование**

Учитывая тот факт, что за первую половину 2016 г. по вине дирекции инфраструктуры во внимание берутся такие отказы, как ложная занятость рельсовой цепи и неисправность УКСПС, было задержано 153 поезда грузового и пассажирского движения. Время отказов было разным: от 7 мин до 6 ч 36 мин. Задержка грузовых поездов на общее время 95 ч 33 мин, пассажирских – на 8 ч 1 мин, поездов пригородного сообщения – на 5 ч 20 мин. Учитывая стоимость простоя поездов, дирекция инфраструктуры потеряла только на этом порядке 300 тыс. руб. без учета оплаты труда рабочему персоналу, который в некоторых случаях выходил на устранение вне рабочего времени. Также финансовые потери дирекции инфраструктуры из-за отказов без простоя поездов составили около 1400 тыс. руб. Таким образом, за полгода был понесен убыток от перечисленных отказов около 2 млн руб. Задержки поездов пассажирского движения привели к ухудшению статуса компании в глазах потребителей. Также были собраны статистические данные об отказах с 2014 г. по июнь 2016 г. Данные, представленные в таблице, отражают потери дирекции инфраструктуры только от выплаты за сам отказ.

**Данные по отказам за период с 2014 г. по июнь 2016 г.**

Анализируемый год	Ложное срабатывание УКСПС	«Ложная занятость» рельсовой цепи	Ущерб дирекции инфраструктуры от выплаты за сам отказ, руб.
2016	99+	731+	1 516 410
2015	173	1270	2 636 361
2014	209	1176	2 530 395
Итого			6 683 166

Таким образом, при внедрении описанной технологии компания имеет возможность не только сэкономить денежные средства, повысить безопасность движения на полигоне ОкЖД, но и улучшить качество труда рабочих и повысить свой статус в глазах клиентов компании.

## **Выводы**

Используя СТДМ и новый подход к диагностированию параметров устройств, можно увязать ежедневную работу с непредвиденными ситуациями. Такой метод использования АПК-ДК дает возможность грамотно распределить время рабочего персонала.

При использовании данной технологии нет необходимости внедрять новые технические средства, а затраты на усовершенствование алгоритма обработки измеряемых параметров невелики.

Подводя итог, стоит отметить, что незначительное изменение алгоритма экономит деньги, повышает качество работы сотрудников, позволяет держать имидж компании на должном уровне за счет снижения количества отказов. Также, используя описанный метод диагностики параметров устройств, можно увязать АПК-ДК с составлением суточного плана, а это, в свою очередь, забота не только о внешних, но и о внутренних клиентах.

## Библиографический список

1. Ефанов Д. В. Автоматизация контроля на стрелках / Д. В. Ефанов, Н. А. Богданов // Мир транспорта. – 2011. – № 2. – С. 54–59.
2. Ефанов Д. В. Метод автоматизации проверки логики функционирования объектов диагностирования в системах удаленного контроля и мониторинга / Д. В. Ефанов // Транспорт Урала. – 2014. – № 3. – С. 58–62.
3. Ефанов Д. В. Некоторые аспекты развития систем функционального контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов // Транспорт Урала. – 2015. – № 1. – С. 35–40.
4. Ефанов Д. В. Становление и перспективы развития систем функционального контроля и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 1. – С. 124–148.
5. Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : моногр. / Д. В. Ефанов. – СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – 171 с.
6. Чухонин В. М. Автоматизированный контроль усилия перевода стрелки / В. М. Чухонин, Б. Л. Горбунов, Д. В. Ефанов, В. Г. Алексеев // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 7. – С. 2–4.
7. Иванов А. А. Новые приборы регистрации параметров устройств железнодорожной автоматики в системе АПК-ДК (СТДМ) / А. А. Иванов, А. К. Легоньков, В. П. Молодцов // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1, № 3. – С. 282–297.
8. Иванов А. А. Автомат диагностики силовых параметров стрелочного электропривода / А. А. Иванов, А. К. Легоньков, В. П. Молодцов // Сб. тр. науч.-практич. конф. «Проблемы безопасности и надежности микропроцессорных комплексов» ; под ред. Вал. В. Сапожникова. – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. – С. 110–117.
9. Иванов А. А. Техническое диагностирование устройств автоматики и телемеханики в метрополитенах / А. А. Иванов, А. К. Легоньков, В. П. Молодцов // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 3. – С. 391–412.
10. Ефанов Д. В. О методе выявления логических ситуаций в системах технической диагностики и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщения. – 2010. – № 4. – С. 66–71.
11. Ефанов Д. В. Метод кодирования состояний диагностируемых объектов / Д. В. Ефанов // Изв. ПГУПС. – 2010. – Вып. 2. – С. 74–85.
12. Ефанов Д. В. Мониторинг параметров рельсовых цепей тональной частоты / Д. В. Ефанов, Н. А. Богданов // Транспорт Урала. – 2013. – № 1. – С. 36–42.
13. Ефанов Д. В. Техническое диагностирование и мониторинг устройств автоматики в метрополитенах // Автоматизация в промышленности. – 2014. – № 3. – С. 4–8.
14. Молодцов В. П. Системы диспетчерского контроля и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : учеб. пособие / В. П. Молодцов, А. А. Иванов. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2010. – 140 с.

15. Ефанов Д. В. Основы построения и принципы функционирования систем технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : учеб. пособие / Д. В. Ефанов, А. А. Лыков. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2012. – 59 с.
16. Зозуля А. Р. Предупреждение неисправностей в системах технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / А. Р. Зозуля // Сб. тр. науч.-практич. конф. «Проблемы безопасности и надежности микропроцессорных комплексов» ; под ред. Вал. В. Сапожникова. – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. – С. 136–149.
17. Зозуля А. Р. Модификация алгоритма выявления предотказных состояний в системе технического диагностирования и мониторинга устройств автоматики на полигоне Октябрьской железной дороги / А. Р. Зозуля // Материалы юбилейной XV Санкт-Петербург. междунар. конф. «Региональная информатика – 2016», Санкт-Петербург, 26–28 окт. 2016 г. – СПб. : СПОИСУ, 2016. – С. 297–298.

**Improvement of the health monitoring technology  
by the means of hardware-software complex  
of supervisory control in Petrozavodsk signaling department**

Anna R. Zozulia

*Petrozavodsk signaling department of Octyabrskaya  
infrastructure direction – structural unit of Central infrastructure  
direction – branch of JSC “RZD”*

Author observes the problem of efficiency of railway automation and remote control diagnostic systems used on the Octyabrskaya Railway and of means of avoiding this imperfection. Author gives the information on the faults that could be eliminated by the modification of obtained from diagnostic system data processing algorithm.

**Keywords:** technical diagnostics and monitoring system; hardware-software complex of supervisory control; reduction of number of faults; “wrong occupation of track circuit” fault; “wrong triggering of rolling stock descent check devices” fault.

**Сведения об авторе**

ЗОЗУЛЯ Анна Романовна – инженер по эксплуатации технических средств 1 категории, Петрозаводская дистанция сигнализации, централизации и блокировки (ШЧ-17);

e-mail: annarz2493@yandex.ru

© Зозуля А. Р., 2017

# *Железнодорожные станции и узлы*

УДК 656.2

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СТАНЦИИ**

**Н. Н. Романов, Р. А. Пантелейев, М. Г. Яшин**

Предлагается изучить методику оценки пропускной способности станции с позиции системного анализа. При этом станция рассматривается как сложная техническая система, основная функция которой – реализация перевозочного процесса. Принято, что наличная пропускная способность станции носит вероятностный характер. С высокой степенью вероятности она описывается нормальным законом распределения. Следовательно, для более достоверной оценки пропускной способности станции необходимо использовать системный подход к анализу структуры процессов станции и к вероятностной оценке параметров ее функционирования, а также нормальный закон распределения случайной величины пропускной способности станции.

**Ключевые слова:** наличная пропускная способность станции; техническая оснащенность станции; интенсивность поездопотока.

### **Введение**

Цель данной статьи – формирование системного вероятностного подхода к оценке пропускной способности железнодорожной станции.

Пропускная способность железнодорожной станции определяется наиболее вероятным числом грузовых поездов (отдельно без переработки и с переработкой) и заданным числом пассажирских поездов, которые станция может пропустить за сутки по всем прилегающим к ней направлениям при условиях работы, обеспечивающих полное использование имеющихся технических средств [1].

В настоящее время расчет пропускной способности технической станции формируется на основе данных об интенсивности поступления поездов с прилегающих участков и анализа структуры суммарного поездопотока (транзитные поезда  $n_{tp}$ ; поезда, прибывающие в переработку  $n_{per}$  и др.). При этом

пропускная способность станции рассчитывается с учетом данных, которые должны соответствовать условиям работы, заданным на расчетный период. Такими данными принято считать [1]:

- схемы станции и техническо-распорядительный акт станции;
- технические нормы и технологический процесс работы станции;
- техническое оснащение станции и прилегающих участков;
- исходные данные для расчета размеров движения в виде диаграммы поездопотоков.

Таким образом, схема станции является основным источником информации, используемым при оценке ее пропускной способности. Структурный анализ [2] выявил главенствующие элементы, определяющие пропускную способность станции. К ним относятся средства управления стрелками и сигналами, т. е. средства сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ); путевое развитие станции (т. е. количество приемо-отправочных путей); количество бригад подсистемы технического обслуживания.

## **Оценка пропускной способности технической станции**

Сегодня при расчете пропускной способности элементов железнодорожных станций используются разные подходы. Наибольшее распространение получили аналитический и графический методы.

Суть аналитического метода определяется зависимостью

$$N_h = \frac{1440 - t_{\text{тех}}}{t_{\text{зан}}}, \quad (1)$$

где  $N_h$  – наличная пропускная способность; 1440 – число минут в сутках;  $t_{\text{зан}}$  – время, затрачиваемое на обслуживание одного поезда или пары поездов;  $t_{\text{тех}}$  – время, расходуемое на обслуживание потребностей, непосредственно не связанных с движением поездов (техническое обслуживание, ремонт в «окно», уборка снега, борьба с гололедом и т. д.).

Практика показала, что расчленение системы на отдельные элементы с целью выявления «узких мест» без учета их взаимной связи и реакций на отказы часто приводило к снижению надежности результатов. Поэтому в конце 1970-х годов исследователи при обосновании методики оценки пропускной способности железных дорог поставили вопрос о необходимости учитывать уровень надежности технических средств (локомотивов, вагонов, СЦБ и др.) [3–5]. В связи с этим в 1981 г. при подготовке инструкции по оценке пропускной способности железных дорог в формулу (1) был введен нормированный для различных режимов работы коэффициент  $\alpha_h = (0,83 - 0,96)$ , учитывающий влияние отказов в работе технических средств на пропускную способность:

$$N_h = \frac{1440 - t_{tex}}{t_{зан}} \alpha_h.$$

По оценкам специалистов, введение в формулу (1) вероятностной составляющей  $\alpha_h$  сделало ее более объективной и позволило получать более точные результаты [6–10].

При использовании графического метода расчета пропускной способности элемента железной дороги строится графическая модель перевозочного процесса (график движения поездов, суточный план-график). Его преимущество – возможность учета обслуживания поездов всеми устройствами во взаимной связи. Принято считать, что он в большей мере соответствует принципам системного подхода. Однако опыт организации эксплуатационной работы показывает, что у этого метода есть недостатки: трудоемкость построения модели, большие затраты времени и квалифицированного труда. Кроме того, технические отказы элементов системы приводят к нарушению всей технологической последовательности операций на станциях и участках, поэтому на практике принято чаще использовать аналитический метод, позволяющий оперативно оценивать пропускную способность станций и выявлять ограничивающие ее «узкие места». Вместе с тем и данному методу, особенно в условиях высокой интенсивности и значительной неравномерности движения поездопотоков, присущи недостатки, главный из них – недостаточная объективность оценки пропускной способности. В результате пропускная способность ряда участков и станций, определенная описанными методами, использовалась не более чем на 75–80 %. Попытки уменьшить межпоездные интервалы на одной из линий Донецкой железной дороги привели к снижению размеров движения поездопотока более чем на 30 % [11]. Из-за неудовлетворительного развития станций и узлов Белорусской железной дороги пропускная способность имеющихся двухпутных линий реализовывалась только на 50–55 % [12].

В результате сложившейся на некоторых железных дорогах обстановки возникла настоятельная необходимость решить научную проблему объективной оценки пропускной способности железнодорожных станций и обосновать методы повышения этой способности. В короткие сроки железнодорожные институты сделали следующее [11, 12]:

- детально изучили, обобщили и трансформировали аналитические методы расчета пропускной способности, применяемые на зарубежных железных дорогах (Великобритании, Германии, Японии и др.). С 1980-х годов начали применять методики приближенного расчета с учетом коэффициента использования пропускной способности;
- в практику эксплуатационной работы железных дорог начали внедрять вероятностные методы оценки процессов функционирования станционных элементов, что закономерно привело к более объективным результатам оценки пропускной способности дорог;

- разработали системные имитационные модели функционирования железнодорожных направлений, позволившие более рационально использовать пропускную способность элементов железных дорог и более эффективно управлять движением поездопотоков требуемой интенсивности;
- в основу методов оценки пропускной способности железных дорог положили теорию транспортных потоков. Так, Д. Ю. Левин [13] предложил учитывать реакцию железной дороги на ее загрузку потоком поездов.

Представляется важным рассмотреть процесс насыщения поездопотоком устройств железнодорожной станции.

В настоящее время расчет пропускной способности технических станций базируется на данных об интенсивности поступления поездов с прилегающих участков и на структуре поездопотока (транзитные поезда  $n_{tp}$ ; поезда, прибывающие в переработку  $n_{нep}$  и др.). На основании имеющихся данных определяется суммарное время занятия постоянных устройств, устанавливается степень их использования и по расчетам определяется результативная пропускная способность станции.

При этом предполагается, что интервал поступления поездов обязательно удовлетворяет условию

$$J_{вх} \leq \frac{t_{обr}}{\tau}, \quad (2)$$

где  $t_{обr}$  – технологическое время обработки поездов, мин;  $\tau$  – количество устройств, на которых параллельно могут осуществляться операции по обработке поездов, ед.

Вместе с тем опыт эксплуатации железных дорог показывает, что в процессе их функционирования может возникнуть ситуация (разрушение элементов и устройств; отказ средств СЦБ; резкое увеличение интенсивности поступления поездов и др.), приводящая к невыполнению условия (2). Такие ситуации приводят к простоям поездов, концентрации на участках большого количества поездов, к затратам значительного времени на ликвидацию подобных ситуаций, так как данное развитие событий незамедлительно оказывается на загруженности всего участка, подобно волне, возникающей от брошенного в воду камня.

Возрастание интенсивности поездопотока может привести к насыщению станционных устройств поездами, тогда станция будет вынуждена прекратить прием поездов. Это произойдет в том случае, если будет нарушено условие

$$\beta = n(t_0) + n_{вх}(T_p) - n_{вых}(T_p), \quad (3)$$

где  $\beta$  – количество путей в приемоотправочном парке, ед.;  $n(t_0)$  – количество поездов, находящихся в приемоотправочном парке на момент времени  $t_0$ , ед.;  $n_{вх}(T_p)$  – количество поездов, прибывающих для обслуживания на техниче-

скую станцию за расчетный период  $T_p$ , ед.;  $n_{\text{вых}}(T_p)$  – количество выведенных со станции за период  $T_p$  поездов, ед.

Такая ситуация может сложиться на станции, если пропускная способность приемоотправочного парка, которая зависит от числа приемоотправочных путей, располагает недостаточным резервом.

Преобразуем выражение (3) с учетом интервалов входящего на станцию и выходящего со станции потока поездов:

$$\beta = n(t_0) + \frac{T_p}{J_{\text{вх}}} - \frac{T_p}{J_{\text{вых}}},$$

где  $J_{\text{вх}}$  – интервал поступления поездов на станцию, мин;  $J_{\text{вых}}$  – интервал выхода поездов из приемоотправочного парка, мин. Отсюда получаем:

$$\beta = n(t_0) + T_p \left( \frac{1}{J_{\text{вх}}} - \frac{1}{J_{\text{вых}}} \right). \quad (4)$$

Величины, обратные интервалам, приведенные в скобках, представляют собой интенсивность поступления поездов в систему и выхода из системы, т. е. прибытия на станцию и убытия со станции. Обозначим интенсивность поступления поездов через  $A$ , а интенсивность убытия – через  $B$ . Тогда выражение (4) примет вид

$$\beta = n(t_0) + T_p(A - B). \quad (5)$$

Очевидно, что при  $n(t_0) = \beta$  все приемоотправочные пути в парке заняты, и прием поездов будет невозможен.

Преобразуем выражение (5):

$$\begin{aligned} \beta - n(t_0) &= T_p(A - B); \\ \frac{\beta - n(t_0)}{T_p} &= A - B; \\ \frac{\beta - n(t_0)}{T_p} + B &\geq A. \end{aligned} \quad (6)$$

Из выражения (6) видно, что пропускная способность станции в значительной степени зависит от числа путей в приемоотправочном парке и от интенсивности потока поездов.

С учетом сказанного пропускная способность технической станции может быть определена зависимостью

$$N_{\text{тс}} = \frac{1440\beta}{t_{\text{обр}}},$$

где  $\overline{t_{\text{обр}}}$  – математическое ожидание времени обработки поезда на станции, мин.

$$\overline{t_{\text{обр}}} = \overline{t_{\text{оп}}} + \overline{t_{\text{от}}},$$

где  $\overline{t_{\text{оп}}}$  – среднее время выполнения операций по обработке прибывшего поезда, мин;  $t_{\text{оп}}$  – средняя продолжительность ожидания обслуживания, мин.

Важно подчеркнуть, что принятые сегодня методы оценки пропускной способности элементов железных дорог полностью базируются на детерминированной основе. Однако опыт эксплуатации железных дорог, исследования [3, 6, 11, 12] свидетельствуют, что поезда перемещаются с разными скоростями, обслуживаются на станциях с большими временными колебаниями. В связи с этим можно утверждать, что наличная пропускная способность станций носит явно выраженный вероятностный характер и с высокой степенью достоверности описывается нормальным законом распределения [11].

Тогда наличную пропускную способность можно определить по зависимости

$$N_{\text{tc}} = \bar{N} \vartheta \pm \tau_{\beta} \sigma_N \sqrt{\vartheta}, \quad (7)$$

где  $\bar{N}$  – средняя пропускная способность одного пути приемоотправочного парка, поездов/сутки;  $\vartheta$  – число путей, выделенных для обработки транзитных поездов, ед.;  $\sigma_N$  – среднеквадратичное отклонение наличной пропускной способности пути приемоотправочного парка, поездов/сутки;  $\tau_{\beta}$  – табличный коэффициент для вычисления доверительного интервала с определенной степенью достоверности.

Для определения среднеквадратичного отклонения наличной пропускной способности одного пути приемоотправочного парка следует воспользоваться формулой из работы [11]:

$$\sigma_N = \frac{\sigma(t_{\text{обр}}) \left( \sqrt{4T_p \overline{t_{\text{обр}}} + 9\sigma^2(t_{\text{обр}})} + 3\sigma(t_{\text{обр}}) \right)}{2\overline{t_{\text{обр}}}}, \quad (8)$$

где  $\sigma(t_{\text{обр}})$  – среднеквадратичное отклонение продолжительности обслуживания одной транспортной единицы.

## Выводы

Таким образом, с учетом анализа приведенного материала можно сделать вывод, что расчеты по зависимости (7) с использованием результатов, полученных по зависимости (8), позволяют оценить наличную пропускную

способность технической станции с определенной, наперед заданной достоверностью.

Интерес в плане оценки наличной пропускной способности технической станции представляет метод, предложенный и обоснованный профессором Н. Н. Романовым и реализованный в работах [11, 12].

## Библиографический список

1. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог (утв. 10.11.2010 г. № 128) / ОАО «РЖД». – М. : Техинформ, 2011. – 125 с.
2. Романов Н. Н. Влияние надежности технических средств регулирования движения поездов на пропускную способность железнодорожных направлений в интересах обороны страны / Н. Н. Романов, Р. А. Пантелеев // Сб. ст. межвуз. науч.-практич. конф. «Специальная подготовка транспорта в интересах обороны страны : актуальные проблемы и перспективы совершенствования». – Петергоф : ВИ (ЖДВ и ВОСО), 2016. – С. 18–29.
3. Батурина Л. П. Исследование вопросов использования и усиления пропускной способности группы линий с общим грузопотоком : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М. : МИИЖТ, 1978. – 32 с.
4. Писанко А. С. Вопросы усиления пропускной способности железных дорог / А. С. Писанко // Сб. науч. тр. РИИЖТа ; под общ. ред. А. С. Писанко. – Ростов-на-Дону : РИИЖТ, 1979. – С. 23–46.
5. Козлов И. Т. Пропускная способность и надежность железных дорог / И. Т. Козлов // Вестн. ВИИЖТа. – 1979. – № 4. – С. 34–38.
6. Козлов И. Т. Пропускная способность транспортных систем / И. Т. Козлов. – М. : Транспорт, 1985. – 214 с.
7. Дьяков Ю. В. Повышение уровня пропускной способности железных дорог / Ю. В. Дьяков // Сб. тр. № 735. – М. : МИИЖТ, 1983. – С. 70–74.
8. Козлов И. Т. Влияние возмущений в транспортном потоке на пропускную способность железнодорожных линий / И. Т. Козлов // Совершенствование перевозочного процесса : межвуз. сб. науч. тр. – М. : ВЗИИТ, 1984. – № 123. – С. 35–39.
9. Правдин Н. В. Прогнозирование грузовых потоков / Н. В. Правдин. – М. : Транспорт, 1987. – 198 с.
10. Чернюгов А. Д. Новое в расчетах пропускной способности / А. Д. Чернюгов // Вестн. ВИИЖТа. – 1980. – № 8. – С. 14–18.
11. Романов Н. Н. Прогнозирование пропускной способности железных дорог и выбор рациональных способов по ее повышению : отчет по НИР / Н. Н. Романов, О. П. Кизляк и др. – СПб. : ВТУ ЖДВ РФ, 2004. – 226 с.
12. Кизляк О. П. Оценка пропускной способности железных дорог и способы ее повышения : моногр. / О. П. Кизляк, Н. Н. Романов. – СПб. : ВТУ ЖДВ РФ, 2004. – 235 с.
13. Левин Д. Ю. Оптимизация потока поездов / Д. Ю. Левин. – М. : Транспорт, 1988. – 175 с.

## **Method of station train traffic capacity estimation**

Nikolay N. Romanov, Roman A. Panteleev, Mikhail G. Yashin

*“Restoration of automation, remote control and communication on railways”  
department*

*Military Institute (Of railway troops and military transport)  
of Military academy of logistics*

Authors offer the method of station train traffic capacity estimation using system analysis. Herewith station is considered as complex technical object whose main function is transport process performance. It is stated that given station train traffic capacity has a probabilistic nature. It is described using normal distribution law with a high degree of probability. So for the more reliable estimation of station train traffic capacity the system analysis should be used. It should be carried out for station processes structure, probabilistic assessment of its functioning parameters.

**Keywords:** *given station train traffic capacity; technical equipment of station; intensity of train traffic.*

### **Сведения об авторах**

**РОМАНОВ Николай Николаевич** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Общенаучных дисциплин» Военного института (Железнодорожных войск и военных сообщений) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулёва

**ПАНТЕЛЕЕВ Роман Анатольевич** – преподаватель кафедры «Восстановления автоматики, телемеханики и связи на железных дорогах» Военного института (Железнодорожных войск и военных сообщений) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулёва;  
*e-mail:* pantel98@mail.ru

**ЯШИН Михаил Геннадьевич** – кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры «Восстановления автоматики, телемеханики и связи на железных дорогах» Военного института (Железнодорожных войск и военных сообщений) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулёва;  
*e-mail:* maikl771@rambler.ru

© Романов Н. Н., Пантелейев Р. А., Яшин М. Г., 2017

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ В СВЯЗИ С УКЛАДКОЙ ВТОРОГО ГЛАВНОГО ПУТИ НА ПЕРЕГОНЕ ЗАНЕВСКИЙ ПОСТ – РЖЕВКА

**А. В. Сугоровский, Ан. В. Сугоровский**

Предложен вариант реконструкции железнодорожных станций в связи с укладкой второго главного пути на перегоне Заневский Пост – Ржевка с целью освоения перспективного поездопотока. Проанализирована технико-эксплуатационная характеристика станций и перегона. На станции Заневский Пост предусмотрено удлинение путей до нормы полезной длины 1050 м.

**Ключевые слова:** железнодорожная станция; реконструкция; горловина; перегон.

### **Введение**

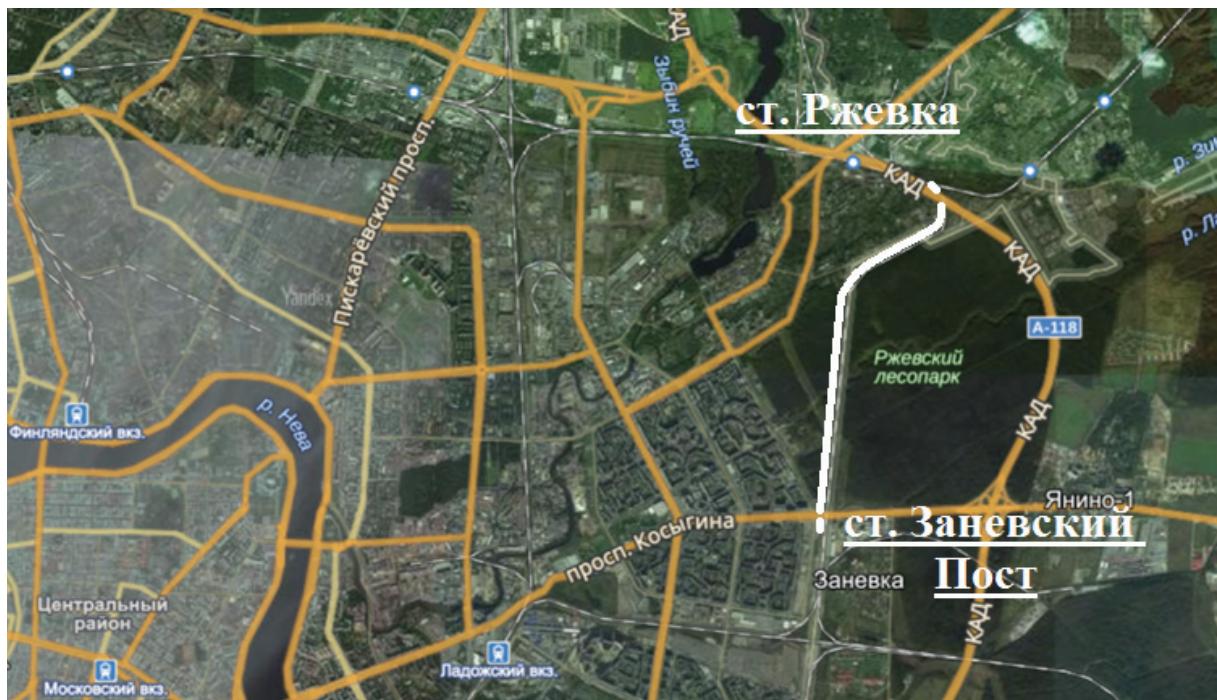
В целевом варианте подпрограммы «Программы развития транспортной системы Санкт-Петербурга и Ленинградской области на период до 2020 года. Том. 2. Подпрограмма „Железнодорожный транспорт“», утвержденной координационным советом по развитию транспортной системы г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области 27 ноября 2015 г., предусмотрено строительство дополнительных главных путей на участке Заневский Пост-II – Заневский Пост – Ржевка – Ручьи.

В данной статье предложен вариант реконструкции железнодорожных станций в связи с укладкой второго главного пути на перегоне Заневский Пост – Ржевка с целью освоения перспективного поездопотока.

Для решения поставленной задачи проанализирована технико-эксплуатационная характеристика станций и перегона, на станции Заневский Пост предусмотрено удлинение путей до нормы полезной длины 1050 м, предложены варианты реконструкции горловин станций в связи с укладкой второго главного пути.

## **1. Технико-эксплуатационная характеристика перегона Заневский Пост – Ржевка**

Перегон Заневский Пост – Ржевка – однопутный, его длина по входным светофорам станций составляет 4576 м (рис. 1).



**Рис. 1. Перегон Заневский Пост – Ржевка**

В связи с открытием в ближайшем будущем регулярного движения грузовых поездов на участке Лосево I – Каменногорск планируется перенаправление на этот участок большей части грузовых поездов назначением на станции Бусловская, Светогорск, Высоцк и Каменногорск для снижения загруженности участка Санкт-Петербург-Финляндский – Зеленогорск – Выборг. Данные мероприятия позволят увеличить интенсивность и скорость движения скоростных поездов «Allegro» сообщением Санкт-Петербург – Хельсинки, а также увеличить количество пригородных поездов на участке Санкт-Петербург-Финляндский – Выборг. К 2026 г. планируется увеличить размеры движения по реконструируемому перегону до 80 пар грузовых поездов в сутки, что потребует строительства второго пути.

## **2. Технико-эксплуатационная характеристика станции Ржевка**

Станция Ржевка по характеру работы является промежуточной и отнесена к 4 классу. В нечетном направлении к станции примыкает двухпутный

перегон Ржевка – Мельничный Ручей, в четном направлении – двухпутный перегон Ржевка – Пискаревка и однопутный перегон Ржевка – Заневский Пост. Полезная длина приемоотправочных путей станции не превышает 532 м.

На станции Ржевка выполняют прием, отправление, пропуск пригородных и грузовых поездов, расформирование, формирование поездов, маневровую работу, коммерческий и технический осмотры, прием груза к перевозке, оформление перевозочных документов, пломбирование вагонов, а также обслуживание пассажиров, для чего имеются две высокие пассажирские платформы длиной 234 и 222 м.

### 3. Технико-эксплуатационная характеристика станции Заневский Пост

Станция Заневский Пост по характеру работы является промежуточной и отнесена к 3 классу. В нечетном направлении к станции примыкает однопутный перегон Заневский Пост – Ржевка, в четном направлении – двухпутный перегон Заневский Пост – Заневский Пост-II. Полезная длина приемоотправочных путей станции не превышает 794 м.

На станции Заневский Пост выполняют прием, отправление, обгон, скрещение и пропуск поездов всех категорий, маневровую работу (прицепку/отцепку, подачу/уборку вагонов), прием груза к перевозке, оформление перевозочных документов [1].

### 4. Проектные решения по реконструкции горловин станций

При реконструкции четной горловины станции Заневский Пост предусматривается не только обеспечение возможности укладки второго главного пути на перегоне, но и увеличение длины приемоотправочных путей станции до минимальной полезной длины 1050 м, что обеспечит возможность приема грузовых поездов длиной до 71 условного вагона (рис. 2).

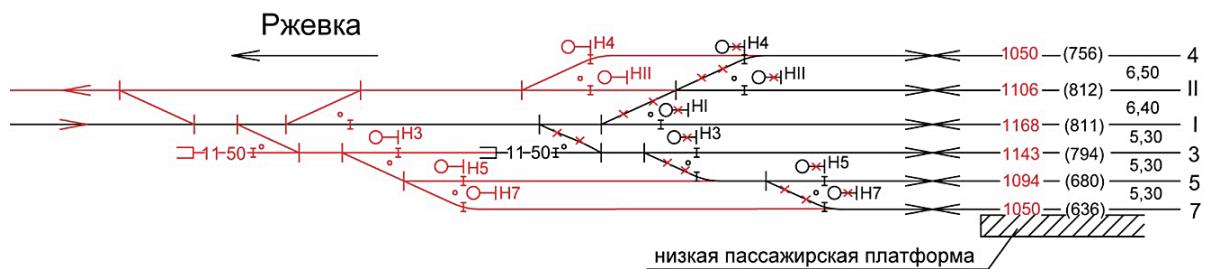


Рис. 2. Вариант реконструкции горловины станции Заневский Пост

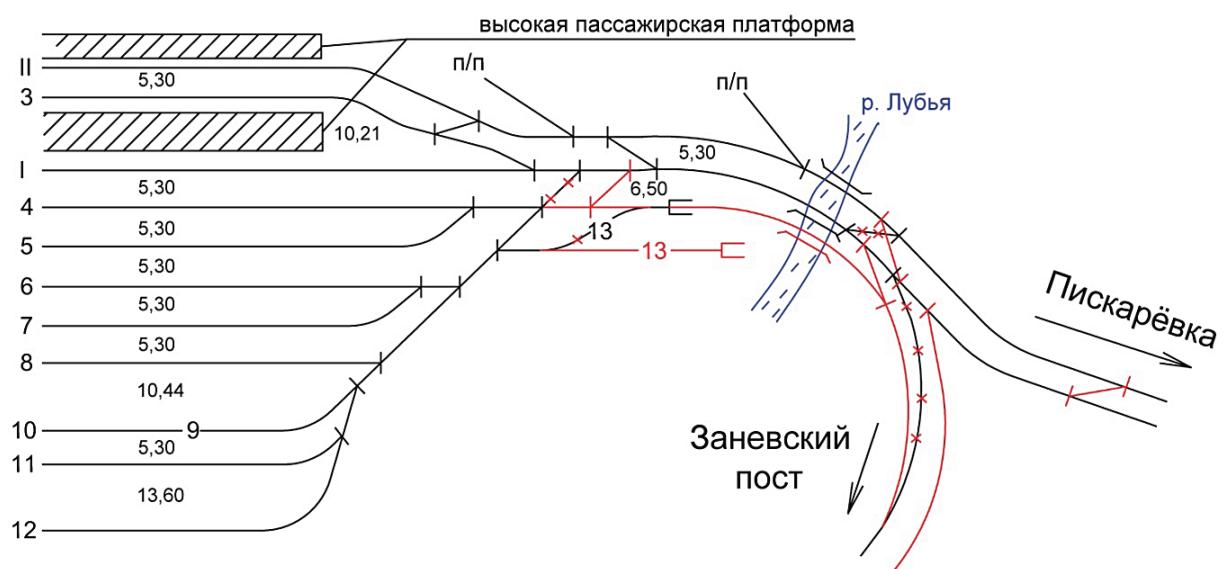
Реконструкция четной горловины станции Ржевка осложняется наличием реки Лубы и непосредственной близостью кольцевой автомобильной дороги, при этом необходимо учитывать расположение опор путепровода (рис. 3).

Стоит отметить, что утвержденный вариант реконструкции предусматривает продление вытяжного пути 13 и его превращение в дополнительный соединительный путь. Это потребует сооружения дополнительного моста через р. Лубью, что увеличит стоимость реконструкции, однако позволит значительно сократить количество враждебных маршрутов следования поездов и как следствие – увеличить пропускную способность горловины станции (рис. 4) [2, 3].

Поскольку на перегоне Заневский Пост – Ржевка при строительстве была предусмотрена возможность сооружения второго главного пути, дополнительной подготовки земляного полотна не требуется [4]. Ввиду того, что главный путь перегона пересекает реку Лапка на 3-м км ПК7 (рис. 5), необходимо построить железобетонный мост длиной 15 м.



Рис. 3. Путепровод кольцевой автомобильной дороги над путями станции Ржевка



**Рис. 4.** Вариант реконструкции горловины станции Ржевка



**Рис. 5.** Железнодорожный мост через р. Лапку

## **Заключение**

Укладка второго главного пути на участке Заневский Пост-II – Заневский Пост – Ржевка – Ручьи позволит освоить перспективные размеры движения, которые возникнут благодаря открытию в ближайшем будущем новых направлений движения грузовых поездов.

## **Библиографический список**

1. Грошев Г. М. Эффективность использования диспетчерского приема «изменение пунктов скрещения или обгона грузовых поездов на железнодорожном участке» / Г. М. Грошев, А. В. Сугоровский, Ан. В. Сугоровский // Транспортные системы и технологии. – 2016. – Вып. 3 (5). – С. 47–56.
2. Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм. – М. : Техинформ, 2001. – 256 с.
3. Ефименко Ю. И. Особенности разработки вариантов технического состояния железнодорожных станций и узлов и обоснование этапности их развития / Ю. И. Ефименко, П. К. Рыбин, А. В. Сугоровский, М. В. Четчуев // Актуальные проблемы управления перевозочным процессом : сб. науч. тр. – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. – С. 25–34.
4. Ефименко Ю. И. Железные дороги. Общий курс : учеб. / Ю. И. Ефименко, В. И. Ковалев, С. И. Логинов. – М. : УМЦ ЖДТ, 2013. – 503 с. – URL: <http://e.lanbook.com/book/35849>.

### **Reconstruction of railway stations due to installation of second main track on line Zanevskiy Post – Rzhevka**

Artyom V. Sugorovsky

*„Railway stations and units“ department*

*Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

Anton V. Sugorovsky

*„Management of operational work“ department*

*Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

Authors offer an option of reconstruction of railway stations due to installation of second main track on line Zanevskiy Post – Rzhevka with the view to development of perspective train traffic. Technical and operational characteristic of station and line are analyzed; tracks on Zanevskiy Post station provided to be extended to effective length standard 1050 m.

**Keywords:** railway stations; reconstruction; yard neck; open line.

## **Сведения об авторах**

*СУГОРОВСКИЙ Артем Васильевич* – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Железнодорожные станции и узлы» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* c123945@yandex.ru

*СУГОРОВСКИЙ Антон Васильевич* – ассистент кафедры «Управление эксплуатационной работой» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* gthdsq555@yandex.ru

© Сугоровский А. В., Сугоровский Ан. В., 2017

# *Логистика*

УДК 656.212.5

## **ПОВЫШЕНИЕ РИТМИЧНОСТИ РАБОТЫ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПУТЕМ СГЛАЖИВАНИЯ ВНУТРИСУТОЧНОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВХОДЯЩЕГО ПОТОКА АВТОТРАНСПОРТА**

**Н. А. Гончарова**

Исследуется влияние неравномерности транспортного процесса на ритмичность работы мультимодальных терминальных комплексов. Рассматриваются технологии порционной подачи автотранспорта на терминал как средство повышения ритмичности его работы. Предлагается алгоритм применения технологии тайм-слотирования на терминальном комплексе.

**Ключевые слова:** мультимодальные терминальные комплексы; внутрисуточная неравномерность; тайм-слотирование; технологии порционной подачи автотранспорта; логистические операции; надежность цепей поставок; транспортно-логистическая инфраструктура.

### **Введение**

Доля мультимодальных перевозок в современных условиях непрерывно растет, усложняются их организация и технология. Эта тенденция характерна как для зарубежной, так и для российской транспортно-логистической отрасли. Этими обстоятельствами обусловлено возрастание роли терминальных комплексов в цепях поставок. Существует несколько определений понятия «грузовой терминал» [1–3], в данной статье под грузовым терминалом будем понимать специальный перегрузочный складской комплекс сооружений, персонала, технических и технологических устройств на магистральном транспорте, предназначенный для выполнения логистических операций, связанных с приемом, погрузкой-разгрузкой, временным хранением, сортировкой, грузопереработкой различных партий грузов с преобразованием параметров грузопотоков, а также с коммерческо-информационным обслуживанием грузополучателей, перевозчиков и других логистических посредников [4].

По результатам опроса и анкетирования работников компаний – потребителей логистических услуг в период 2014–2016 гг., наиболее важным критерием выбора поставщика услуг для них становится надежность времени доставки [5]. Необходимым условием обеспечения надежности в цепи поставок является ритмичность и равномерность работы всех звеньев транспортно-логистической цепи. Степенью равномерности прибытия транспортных средств для выполнения погрузочных и разгрузочных работ в значительной мере определяется эффективность работы мультимодальных терминальных комплексов: чем выше степень неравномерности перевозочного процесса во времени, тем большие резервы материальных, трудовых, финансовых ресурсов должны иметь терминальные комплексы для нормальной работы.

## **1. Неравномерность процессов грузовой и коммерческой работы в мультимодальных терминальных комплексах**

Неравномерность процессов грузовой и коммерческой работы является специфической особенностью работы терминально-складских комплексов. Негативному влиянию этого фактора подвержены все звенья транспортно-логистической цепи. Неравномерность понимается как свойство транспортного процесса, которое проявляется в колебаниях значений характеристик его элементов [6]. Выделяют четыре основных вида неравномерности: внутригодовую, внутримесячную, внутринедельную и внутрисуточную. Последний вид наиболее сложен для исследования. Внутрисуточная неравномерность не находит должного учета в инженерных расчетах и организационных формах оперативного управления перевозочным процессом, хотя ее влияние является причиной 40 % суммарных колебаний [7]. Проблемы, связанные со структурой внутрисуточных колебаний, а также закономерности, которым они подчиняются, на данный момент изучены недостаточно.

Полностью устраниТЬ неравномерность обработки грузов невозможно, но методы ее сглаживания отечественные ученые разрабатывают с 1920-х годов [8–10]. Данные методы можно разделить на три группы: инженерно-строительные, организационно-технические и экономические.

Долгое время проблему неравномерности решали путем повышения пропускной способности объектов транспортной инфраструктуры, наибольшее внимание уделялось группе инженерно-строительных методов. Эта группа включает в себя строительство новых объектов транспортно-логистической инфраструктуры и модернизацию уже имеющихся. Одна из прогрессивных тенденций в данном направлении – строительство сети тыловых логистических терминалов. Тыловые логистические терминалы расположены вне границ территории порта и связаны с ним единой технологией обработки грузов, за счет которой обеспечивается вывод с территории порта операций (растарки, упаковки, сборки и т. д.), не связанных с перевалкой грузов с морского

транспорта. В английском языке для таких терминалов существует термин «dry port» («сухой порт») [11]. На данном этапе в таких городах, как Санкт-Петербург, не представляется возможным вывести большую часть операций грузовой и коммерческой работы за его пределы, поэтому остро встает проблема модернизации объектов транспортно-логистической инфраструктуры. При достаточных площадях возможна организация на терминальных комплексах широких зон обмена с магистральными видами транспорта. В крупных городах, таких как Москва и Санкт-Петербург, площади крайне ограничены, поэтому экстенсивное развитие терминальных комплексов невозможно. Это делает актуальным исследование логистических технологий, позволяющих организовать эффективную работу терминала при минимальной площади зоны обмена с магистральными видами транспорта.

## **2. Технологии порционной подачи автотранспорта в управлении входящими потоками на терминальных комплексах**

Большинство современных терминальных комплексов является бимодальными объектами, на которых взаимодействуют железнодорожный и автомобильный транспорт. На данном этапе смешанные (осуществляемые не по единому перевозочному документу) железнодорожно-автомобильные перевозки носят массовый характер. При их организации перевозочный процесс, начатый на железнодорожном транспорте, продолжается после передачи груза на автомобильный транспорт. Взаимопроникновение и синтез технических средств и логистических технологий в современных условиях становится одним из главных факторов, способствующих развитию смешанных железнодорожно-автомобильных перевозок.

Процесс вывоза грузов автотранспортом с терминальных комплексов носит случайный, пульсирующий характер. Обычно в дневное время в будни возникают очереди из трейлеров, а по ночам и в выходные дни наблюдается их почти полное отсутствие. Следствием неритмичности работы автотранспорта по вывозу грузов с терминала является общее замедление роста грузооборота в цепи поставок, повышаются риски срыва планируемых сроков доставки грузов конечному потребителю. Из-за неравномерности процессов терминальной обработки грузов возникают следующие проблемы:

- перегрузка терминала как результат неравномерного поступления и вывоза грузов;
- снижение пропускной способности по причине образования транспортных заторов на подъездах к терминалу;
- дополнительные расходы (вплоть до выплаты штрафов) транспортных компаний, подвижной состав которых простояивает в ожидании возможности вывезти груз;

- увеличение общих установленных сроков доставки грузов конечным потребителям, рост объемов актово-претензионной работы вследствие названных выше причин.

Автомобильный транспорт – наиболее гибкий и мобильный компонент транспортной системы, он настолько плащен в своих производственных структурах и технологиях, что позволяет контактировать с железнодорожным транспортом, используя разные транспортно-логистические схемы. Наиболее значимыми направлениями повышения эффективности взаимодействия железнодорожного и автомобильного транспорта на терминальных комплексах на современном этапе являются:

- применение централизованных систем завоза и вывоза грузов силами крупных специализированных автотранспортных предприятий;
- контейнеризация и пакетизация перевозок;
- концентрация перегрузочных, складских и других логистических операций на небольшом количестве оборудованных передовой техникой станций и контейнерных пунктов с созданием оптимальной терминальной сети, выполняющей распределительные функции;
- создание объединенных предприятий железнодорожного и автомобильного транспорта, обеспечивающих доставку грузов «от двери до двери»;
- внедрение в перевозочный процесс логистической концепции just-in-time (точно в срок) [12–15].

Если экстенсивное развитие объектов терминально-складского комплекса невозможно, то неравномерность процессов терминальной обработки грузов сглаживается за счет организационно-технических и экономических методов. В последнее время наиболее перспективна разработка порционных технологий подачи автотранспорта на терминальные комплексы. Основные элементы таких технологий:

- разработка согласованных контактных графиков работы взаимодействующих видов транспорта, грузоотправителей и грузополучателей, а также логистических посредников;
- составление взаимоувязанных с интересами грузоотправителей и грузополучателей графиков прибытия и отправления разных видов транспорта;
- организация комплексных технологических процессов работы в крупных узлах.

Наибольший интерес среди порционных технологий подачи автотранспорта на терминальные комплексы представляет технология тайм-слотирования. Цель тайм-слотирования – сглаживать пульсирующий характер потоков в терминальных комплексах, а сглаженные потоки позволяют производить более точное прогнозирование и, как следствие, долгосрочное планирование. Суть технологии заключается в следующем: время работы терминала разбивается на временные интервалы – тайм-слоты. В них клиенты терминала размещают свои заявки на обслуживание. В бронируемый тайм-слот транспортное средство клиента должно попасть на территорию терми-

нала, чтобы быть обслуженным. Каждый тайм-слот имеет свою вместимость (максимальное количество заявок, которое может быть обслужено в течение данного тайм-слота). Когда количество заявок, закрепленных за данным тайм-слотом, достигает его максимальной вместимости, тайм-слот закрывается для дальнейшего бронирования.

### **3. Алгоритм применения технологии тайм-слотирования на терминальном комплексе**

Для моделирования работы терминала по предлагаемой технологии необходимы следующие данные:

- среднее количество отгрузок на автотранспорт;
- среднее количество приемок контейнеров с автотранспорта;
- емкость зон накопления автотранспорта;
- количество тайм-слотов;
- продолжительность тайм-слотов.

На первом этапе решения данной задачи происходят сбор и обработка исходных данных, основными из которых являются:

- максимальная мощность поста погрузки-разгрузки на терминале;
- спрос на обслуживание;
- тарифный план терминального обслуживания.

Второй этап предусматривает постановку задачи, которую условно можно разделить на две части:

- поиск оптимального плана загрузки тайм-слотов (на основе принципа максимального приближения к спросу);
- поиск оптимального («выравнивающего») тарифного плана.

Затем необходимо определить оптимальное для данного терминала количество каналов обслуживания (постов загрузки/выгрузки) автотранспорта. Бимодальный терминальный комплекс представляет собой типичную систему массового обслуживания, для которой можно определить оптимальное количество постов обслуживания. Кроме того, такой терминал является многоканальной системой массового обслуживания с ожиданием. В таких системах заявка, поступившая в момент, когда все каналы заняты, ставится в очередь и ожидает, пока не освободится один из каналов. Необходимо определить такие характеристики системы, как относительная и абсолютная пропускная способность терминала, среднее количество транспортных средств в очереди, среднее время ожидания и пребывания транспорта в зоне обмена.

Важным условием является достаточность производственных мощностей для обслуживания всех заявок. Если это условие не выполняется, заявки, выполнение которых невозможно в рассматриваемый период, переносятся на следующий период.

## **Выводы**

Применение тайм-слотирования позволяет избежать очередей на терминале и дает возможность обслужить все поступившие заявки в указанном периоде с сохранением возможной прибыли. Данная логистическая технология сглаживает неравномерность путем перераспределения подачи транспорта по временным отрезкам. В результате формируется план обслуживания заявок и тарифный план, обеспечивающие оптимальное поступление денежных средств от работы терминала. Применение технологии тайм-слотирования позволяет наиболее быстро и дешево сглаживать внутрисуточную неравномерность входящего потока автотранспорта в мультимодальных терминалных комплексах, существенно повышая общую ритмичность их работы.

## **Библиографический список**

1. Маликов О. Б. Склады и грузовые терминалы / О. Б. Маликов. – СПб. : Бизнес-Пресса, 2005. – 648 с.
2. Лукинский В. С. Транспортировка в логистике : учеб. пособие / В. С. Лукинский, В. В. Лукинский, И. А. Пластуняк, Н. Г. Плетнева. – СПб. : СПбГИЭУ, 2005. – 139 с.
3. Коровяковский Е. К. Содержательное описание логистического центра и его роли в системе международных транспортных коридоров / Е. К. Коровяковский, О. Д. Покровская // Изв. ПГУПС. – 2014. – Вып. 3 (40). – С. 22–28.
4. Коровяковская Ю. В. Организация грузовых перевозок с участием транспортно-логистических терминалов / Ю. В. Коровяковская // Актуальные проблемы управления перевозочным процессом : сб. науч. тр. – СПб., 2006. – Вып. 6. – С. 151–158.
5. Гончарова Н. А. Тенденции рынка терминально-складских услуг в условиях экономической нестабильности / Н. А. Гончарова // Процессы глобальной экономики : сб. науч. тр. XX всерос. науч.-практич. конф. с междунар. участием ; ред. Н. И. Диценко. – СПб., 2015. – С. 208–214.
6. Вернигора Р. В. Анализ неравномерности грузовых перевозок на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте / Р. В. Вернигора, Н. И. Березовый // Вост.-Европ. журнал передовых технологий. – 2012. – № 2/3 (56). – С. 62–66
7. Бодюл В. И. Оценка эффекта, вызываемого повышением ритмичности грузовых перевозок / В. И. Бодюл // Тр. ВНИИАС. – 2005. – № 4. – С. 30–34.
8. Угрюмов А. И. Неравномерность движения поездов / А. И. Угрюмов. – М. : Транспорт, 1968. – 112 с.
9. Земблинов М. В. Сезонные колебания перевозок грузов на железных дорогах / М. В. Земблинов. – М. : Транспечать НКПС, 1928. – 91 с.
10. Барков Н. Н. Сезонная и внутринедельная неравномерность грузовых перевозок на железных дорогах / Н. Н. Барков // Тр. ВНИИЖТ. – Вып. 249. – М. : Трансжелдориздат, 1963. – 95 с.
11. Панова Ю. Н. Факторы строительства тыловых контейнерных терминалов / Ю. Н. Панова, Е. К. Коровяковский // Вестн. ТОГУ. – 2012. – № 1. – С. 103–112.
12. Григорьев М. Н. Логистика. Продвинутый курс : учеб. для магистров / М. Н. Григорьев, А. П. Долгов, С. А. Уваров. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2011. – 734 с.

13. Лукинский В. В. Модели и методы управления транспортно-терминальными и таможенными операциями в цепях поставок / В. В. Лукинский, Ю. В. Малевич, И. А. Пластуняк. – СПб. : СПбГИЭУ, 2012. – 137 с.
14. Лукинский В. С. Модели и методы теории логистики / В. В. Лукинский. – СПб. : Питер, 2003. – 176 с.
15. Саранова Е. В. Грузовые автомобильные перевозки : учеб. пособие / Е. В. Саранова, А. А. Евсеева, Б. П. Копцев. – Ростов-н/Дону : МарТ, 2006. – 480 с.

## **Reducing the diurnal unevenness of vehicle input flow as a way to increase the rhythmicity of multimodal terminal processes**

Natalia A. Goncharova

*“Logistics and commercial operations” department of  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

The influence of the transportation unevenness on the rhythmicity of multimodal terminal processes is investigated. Fed-batch technologies of vehicles supply to the terminal is considered as means of increasing the terminal process's rhythmicity. The algorithm of time-slotting technology application in terminal complexes is considered.

**Keywords:** multimodal terminal complexes; diurnal unevenness; time-slotting; fed-batch technologies of vehicles supply; logistics operations; reliability of supply chains; transport and logistics infrastructure.

### **Сведения об авторе**

*ГОНЧАРОВА Наталья Александровна – ассистент кафедры «Логистика и коммерческая работа» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;*  
*e-mail:* nataliegoncharova@list.ru

© Гончарова Н. А., 2017

## *Подвижной состав*

УДК 621.313.5

### **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРООТОПЛЕНИЕМ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА**

**К. К. Ким, С. Н. Иванов**

Исследуется система отопления пассажирского вагона на основе управляемого устройства генерации и транспортирования тепловой энергии. Приводятся результаты сравнения характеристик переходных процессов при использовании схем классических, пропорционально-интегральных и нечетких регуляторов. Предложен регулятор на основе нечеткой логики и получены динамические характеристики объекта управления применительно к пассажирскому рельсовому транспорту.

**Ключевые слова:** система отопления; нечеткий логический регулятор; перерегулирование; время переходного процесса.

#### **Введение**

Проблема обеспечения заданного температурного режима транспортных объектов при существенной вариации параметров окружающей среды связана с использованием эффективных систем управления (СУ). При выборе в качестве одного из перспективных вариантов источника тепловой мощности на основе электромеханического теплогенератора (объекта управления – ОУ) [1] возникает необходимость в независимом управлении разнородными физическими процессами (электромагнитными, тепловыми, гидравлическими), что в свою очередь обуславливает применение систем векторного управления, ориентированных на математические модели объектов управления. В [2] показано, что построение таких моделей связано с существенными допущениями и ограничениями, обеспечивающими численное решение, но на практике приводящими к снижению комплексных показателей качества. Это связано с тем, что формально ОУ представляет собой нечеткую модель динамической системы, для которой есть некоторое лингвистическое описание, отражающее качественное представление процесса преобразования энергии, а уравнения, описывающие процесс генерации и транспортировки тепловой мощности, слишком сложны, их параметры нельзя точно идентифицировать, но они могут быть интерпретированы нечетким образом для построения лингвистической модели и использованы для формирования базы знаний.

Следует отметить, что хотя современные системы управления, имея информацию о математической модели ОУ, могут аналитически определять и регулировать выходные параметры на основе значений фазных токов и потокосцеплений электромеханического преобразователя, реализовать их преимущества можно лишь при детерминированных параметрах модели [3], поэтому синтез оптимальной системы управления, учитывающей нелинейный характер параметров ОУ, разрывный характер процессов в преобразователе частоты (при его наличии), необходимость компенсации внутренних перекрестных связей ОУ и т. д., на практике является весьма трудновыполнимой задачей.

Именно поэтому одним из перспективных направлений при построении эффективной системы управления является выбор методологии функционального отображения, использующей закономерность некоторого «отклика» от воздействующего фактора без точного исследования физической сущности процессов.

## 1. Постановка задачи исследования

Анализ генерации и транспортирования тепловой мощности показывает, что полностью разделить управление в данных устройствах по отдельным составляющим энергии практически невозможно вследствие их взаимной зависимости. Это не является недостатком ОУ, но определяет структуру системы управления, в задачу которой входит функциональное отображение вектора выходных параметров  $x$ , которые должны контролироваться раздельно, на вектор параметров управления  $u$ .

Конкретная реализация СУ определяется требованиями к выходным интегральным характеристикам ОУ и может быть реализована за счет применения контроллеров с аппаратной реализацией алгоритмов нечетких систем или нейронных сетей, например для выполнения жестких требований по условиям быстродействия. Такие системы управления обеспечивают поддержание выходных параметров на заданном уровне при воздействии возмущений, слежение за неизвестной траекторией, а также выполнение программы траектории управления, предписывающей ОУ изменять либо свои управляемые характеристики во времени по заданному закону и/или по определенной программе, либо направленные на достижение оптимизации в динамике по заданному критерию выходные траектории ОУ. При этом в основе системы управления лежит априорное предположение о наличии известных качественных моделей динамики ОУ и значений вектора измерений у его параметров состояния. При разработке субоптимальной системы управления (ССУ) неотъемлемым этапом является оптимальное и/или субоптимальное оценивание параметров и характеристик объекта управления по экспериментальным данным в реальном времени.

Таким образом, задача обеспечения заданных температурных режимов транспортных объектов может рассматриваться как разработка ССУ, в которую кроме ОУ интегрированы система измерений и обработки информации о состоянии ОУ в режимах реального времени и прогноза и блок автоматического управления, формирующий входные сигналы управления  $u$  в соответствии с заданным критерием качества всей системы.

## 2. Модель объекта управления

Объект управления, в основу которого входит электромеханический преобразователь, представляет собой сложную техническую систему, описываемую неявными уравнениями электродинамики и теплофизики (энергии, движения (Навье – Стокса), теплопередачи, сплошности) и, следовательно, не имеющую точного аналитического решения. Определяя конечную цель исследования как повышение эффективности ОУ средствами управления с использованием интеллектуальных подходов, модель наиболее целесообразно реализовывать в виде базы знаний  $\{x, u\}$ , которая учитывает не только управляющие параметры, но и внешние случайные возмущения.

Если требования к системе управления относительно невысоки, то количество перекрещивающихся связей между выходными параметрами может быть уменьшено заменой одного из них остальными параметрами.

Выходные параметры образуют вектор состояния, который включает радиальную, осевую и тангенциальную составляющие скорости перемещения с учетом расположения рабочей области относительно пограничного и переходного слоев и учитывает анизотропию электромагнитных и теплофизических свойств конструктивных элементов ОУ.

Один из вариантов математической модели ОУ приведен в [4, 5]. В ее основу положены уравнения обобщенного электромеханического преобразователя, совмещенного с однопоточным лопастным напорным механизмом. Управляющими параметрами ОУ являются напряжение и частота первичной сети, выходными – температура, расход и напор. Хотя использование предложенной модели для оптимизационных расчетов затруднительно, она весьма полезна для получения предварительной информации об объекте исследования на этапе формирования базы знаний. Для моделирования и комплексного анализа статических и переходных тепловых процессов необходимо создать математическую модель, основанную на знаниях и нечеткой логике.

## 3. Синтез системы управления

В основе СУ, построенных с использованием традиционных схемных решений [6], лежит предположение о наличии известных моделей динами-

ки ОУ и значений вектора измерений его выходных параметров, поэтому при синтезе СУ важнейшим этапом является оптимальное и субоптимальное оценивание параметров и характеристик ОУ по экспериментальным данным в реальном времени. Известный принцип разделения для нелинейных систем дает субоптимальное решение в виде соединения системы субоптимального оценивания и системы оптимального или субоптимального управления, синтезированной для детерминированных условий [7–10].

Задача синтеза ССУ при частично заданной структуре аналогична описанной в [7, 9]. В ССУ объект управления – тепловой процесс – характеризуется следующими параметрами:

$$\boldsymbol{u} = (u_1, u_2)^T \text{ – вектор управления;}$$

$$\boldsymbol{x} = (x_1, x_2, x_3)^T \text{ – вектор состояния,}$$

где  $u_1$  – напряжение;  $u_2$  – частота;  $x_1$  – температура;  $x_2$  – производительность;  $x_3$  – давление.

Выходные параметры, образующие вектор состояния  $\boldsymbol{x}$ , контролируются с помощью системы измерений (СИ), учитывающей изменение внешних и/или внутренних действующих факторов  $w$ ,  $v$  и включающей комплект первичных датчиков, например, температуры, давления, перемещения. При изменении любого выходного параметра СИ фиксирует его отклонение от требуемой величины с учетом значений векторов  $w$ ,  $v$  и формирует вектор измерений  $y$ , поступающий в СУ, которая формирует входной вектор управляющих сигналов  $\boldsymbol{u}$ , соответствующим образом изменения напряжение и/или частоту. ОУ образует с СУ замкнутую систему, обеспечивающую оптимальный процесс генерации и транспортировки тепловой энергии при неопределенности математической модели, обусловленной наличием векторов  $w$ ,  $v$ , которые при моделировании идентифицируются белыми гауссовскими шумами.

## 4. Результаты моделирования в пакете Sim Power Systems

Основным элементом системы управления является регулятор, для моделирования которого используется визуальная среда проектирования мехатронных систем – пакет Simulink среды MATLAB [11, 12]. При исследовании регулятора и ОУ используются библиотеки пакетов Simulink R2007b и Sim Power Systems, которые представляют собой набор визуальных блоков с возможностью настройки их параметров.

Эффективным средством обеспечения заданных характеристик ОУ является синтез регуляторов в подчиненных структурах [13]. В них объект регулирования по возможности разбивается на ряд динамических звеньев, для каждого из которых синтезируется свой регулятор.

Для ОУ динамические процессы нужно разделить на два: электромеханические (высокочастотные) и тепловые (низкочастотные). Время высокочастотного переходного процесса обычно составляет от долей секунд до нескольких секунд, а низкочастотного, характеризующего нагрев рабочей среды, – несколько минут. Таким образом, процессы изменения выходных параметров являются разнотемповыми, поэтому синтез регулятора производительности и температуры можно рассматривать как синтез двух независимых частей: регулятора производительности и регулятора температуры. Они синтезированы с настройкой на технический и симметричный оптимумы, для этих задач смоделирован и нечеткий регулятор (НР).

Структурные схемы СУ с пропорциональным (П) и пропорционально-интегральным (ПИ) регуляторами по давлению при их настройке на технический и симметричный оптимум представлены на рис. 1, 2, соответственно.

Синтез СУ с классическими регуляторами и последующий анализ показателей качества переходных процессов в ОУ выполнен для оценки эффективности использования нечетких регуляторов.

Синтез аналогового регулятора произведен исходя из условия получения в замкнутой системе заданных передаточных функций колебательного звена:

- настроенного на технический оптимум (оптимум по модулю, Bietrage-optimum);
- настроенного на симметричный оптимум.

В первом случае передаточная функция разомкнутой системы имеет вид

$$W_{\text{pl}}(s) = \frac{1}{2T_0 s(T_0 s + 1)},$$

т. е. регулятор должен быть пропорциональным с коэффициентом усиления  $K_{\text{п}} = T_1 / (2T_0)$ .

Передаточная функция замкнутого контура имеет вид

$$W_{\text{з1}}(s) = \frac{1}{2T_0^2 s^2 + 2T_0 s + 1}.$$

Переходная характеристика такого замкнутого звена имеет следующие параметры:

- перерегулирование  $\sigma = 4,3\%$ ;
- время первого согласования  $t_1 = 4,71T_0$ ;
- время переходного процесса  $t_p = 8,4T_0$ .

Во втором случае передаточная функция разомкнутой системы имеет вид

$$W_{\text{pl}}(s) = \frac{4T_0 s + 1}{8T_0^2 s^2 (T_0 s + 1)},$$

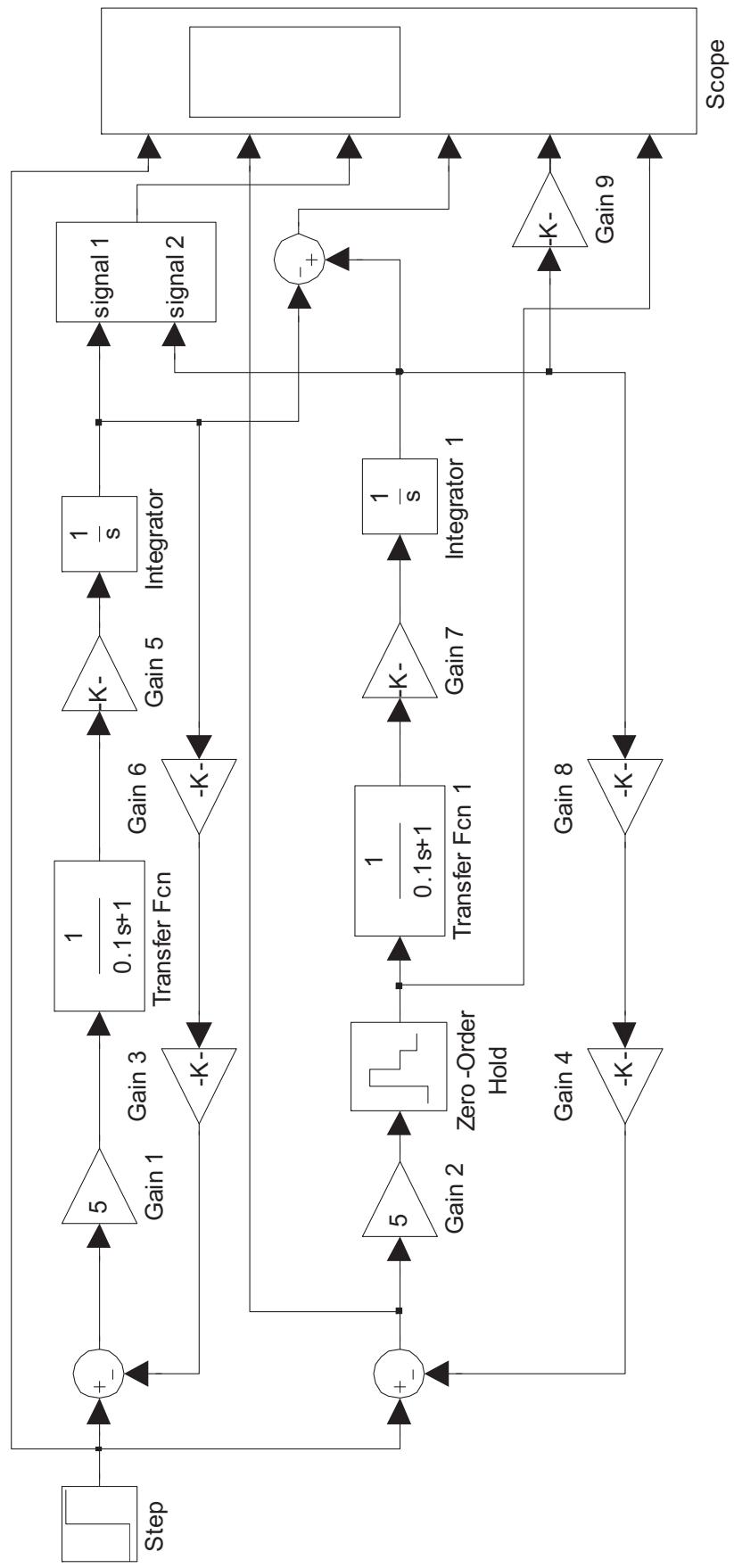


Рис. 1. Структурная схема системы с П-регулятором при его настройке на технический оптимум по давлению

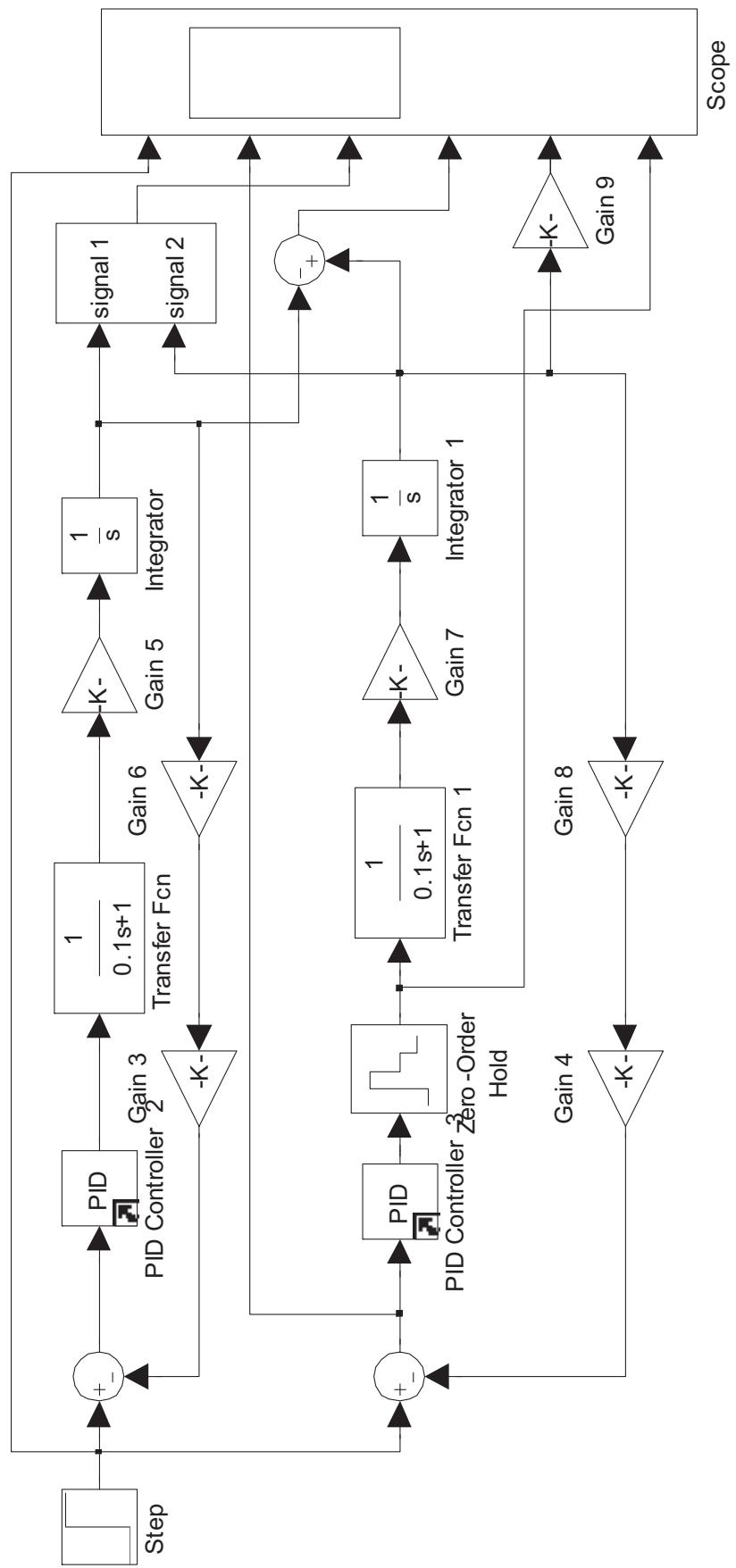


Рис. 2. Структурная схема системы с ПИ-регулятором при его настройке на симметричный оптимум по давлению

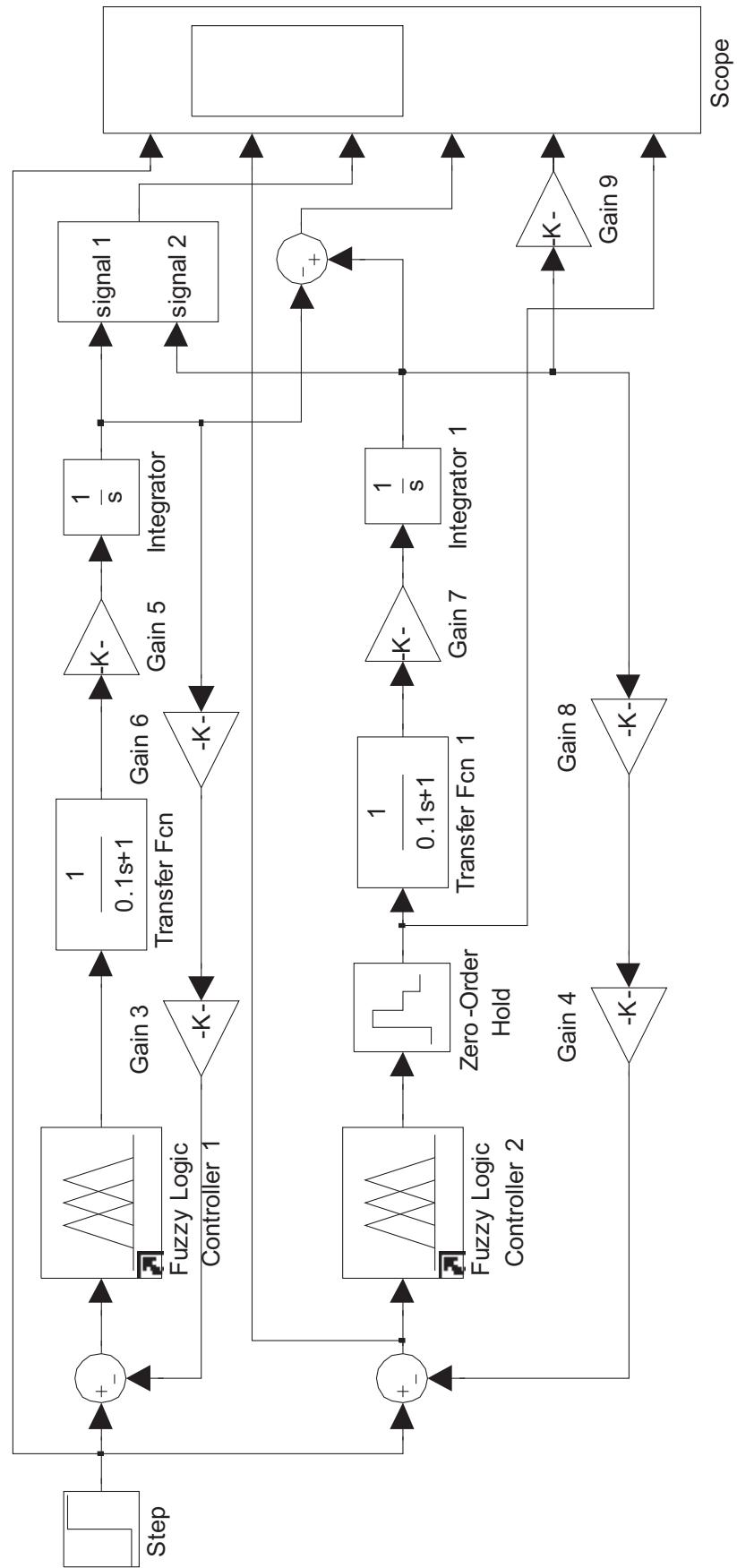


Рис. 3. Структурная схема системы с НР по давлению

т. е. в качестве регулятора должен быть использован ПИ-регулятор с передаточной функцией

$$W_{\text{пер2}}(s) = \frac{T_1(4T_0s + 1)}{8T_0^2} = \frac{T_1}{2T_0} + \frac{T_1}{8T_0^2 s}.$$

Передаточная функция замкнутого контура, настроенного на симметричный оптимум, имеет вид

$$W_{32}(s) = \frac{1}{8T_0^2 s^2 + 4T_0 s + 1}.$$

Переходная характеристика системы, настроенной на симметричный оптимум, имеет следующие параметры:

- перерегулирование  $\sigma = 43\%$ ;
- время первого согласования  $t_1 = 3,1T_0$ ;
- время переходного процесса  $t_p = 16,5T_0$ .

Для анализа и сравнения динамических режимов работы ОУ при использовании различных регуляторов задаются постоянные времени, с, для электромеханических процессов  $T_1 = 1$ ;  $T_0 = 0,1$ ; для тепловых  $T_1 = 1$ ;  $T_0 = 1,8$ .

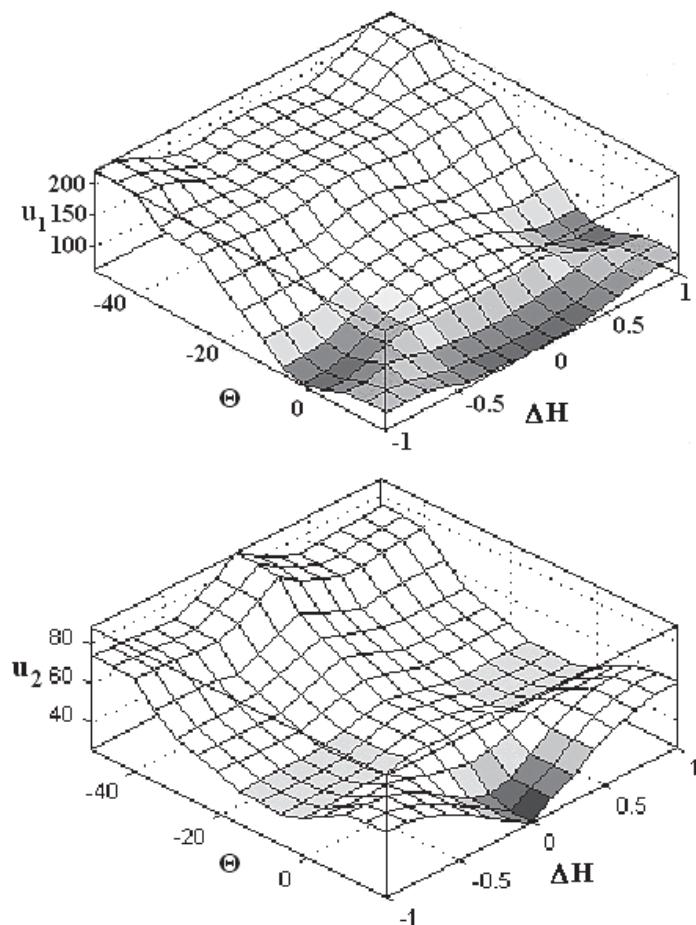
Структурная схема системы с НР по давлению представлена на рис. 3. Параметры модели такие же, как и для регулятора, настроенного на симметричный оптимум. Критерием качества выбраны показатели переходного процесса: перерегулирование, время первого согласования, время переходного процесса. Параметры оптимизированы с использованием метода сканирования [14, 15].

Разработка нечеткой модели регулятора для управления тепловым процессом выполнена с использованием системы MATLAB. Результаты моделирования нечеткого логического регулятора по алгоритму Мамдани представлены на рис. 4 и являются решением задачи синтеза системы управления.

Сравнение переходных процессов, полученных для приведенных схем регуляторов (рис. 1–3), показывает, что все они имеют близкие показатели качества по точности и времени переходного процесса, однако НР позволяет учесть первую и вторую производные температуры и/или давления и обеспечить повышение эффективности работы ОУ за счет прогнозирования удаленных значений любого количества параметров состояния.

## Выводы

В условиях отсутствия точной аналитической функциональной зависимости между измеряемыми и оцениваемыми параметрами процесса генерации и транспортировки тепловой энергии основным элементом СУ процессом является нечеткий регулятор. Синтез регулятора производительности



**Рис. 4.** Визуализация поверхностей напряжения  $u_1$  и частоты  $u_2$  для НР от температуры  $\Theta$  и давления  $\Delta H$

и температуры можно рассматривать как синтез двух независимых частей с настройкой, соответственно, на технический и симметричный оптимумы. Динамические характеристики ОУ с использованием интеллектуальной СУ по всем основным требованиям соответствуют задаваемым параметрам.

## Библиографический список

1. Ким К. К. Энергосберегающая система электроотопления / К. К. Ким, С. Н. Иванов, М. А. Шпилев и др. // Изв. ПГУПС. – 2013. – Вып. 1 (34). – С. 84–89.
2. Амосов О. С. Синтез оптимальных систем управления электромеханическим теплогенерирующим комплексом с использованием нечетких систем / О. С. Амосов, Л. Н. Амосова, С. Н. Иванов // Информатика и системы управления. – 2009. – № 1 (19). – С. 73–83.
3. Белов М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов : учеб. для вузов / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. – М. : Академия, 2004. – 576 с.
4. Amosov O. S. Computer-aided design of control system for thermal process generated by electromechanical converter / O. S. Amosov, L. N. Amosova, S. N. Ivanov // Int. conf.

- on instrumentation, measurement, circuits and systems (Icimcs 2011). – 2011. – Vol. 1 : Instrumentation, measurement, circuits and systems. – P. 105–108.
5. Ким К. К. Моделирование и управление электромеханическими теплогенераторами на основе нейросетевых и нечетких алгоритмов / К. К. Ким, С. Н. Иванов, Л. Н. Амосова // Электричество. – 2009. – № 10. – С. 36–41.
  6. Бесекерский В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – СПб. : Профессия, 2003. – 752 с.
  7. Амосов О. С. Синтез статистически оптимальных синтезаторов частот при частично заданной структуре / О. С. Амосов, Ю. Н. Соколов, В. Н. Олейник // Автоматизированные системы управления. – 1984. – Вып. 5. – С. 87–95.
  8. Красовский А. А. Справочник по теории автоматического управления / А. А. Красовский. – М. : Наука, 1987. – 712 с.
  9. Медич Дж. Статистически оптимальные линейные оценки и управление / Дж. Медич. – М. : Энергия, 1973. – 440 с.
  10. Пащенко Ф. Ф. Синтез систем управления электромеханическими преобразователями / Ф. Ф. Пащенко, О. С. Амосов, С. Н. Иванов // Датчики и системы. – 2006. – № 8. – С. 18–22.
  11. Герман-Галкин С. Г. MATLAB & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК / С. Г. Герман-Галкин. – СПб. : КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
  12. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – М. : ДМК-Пресс ; СПб. : Питер, 2008. – 288 с.
  13. Герман-Галкин С. Г. Синтез цифрового регулятора подчиненной структуры электропривода в пакете Simulink / С. Г. Герман-Галкин, В. В. Кротенко // Exponenta PRO. Математика в приложениях. – 2004. – № 2.
  14. Турчак Л. И. Основы численных методов / Л. И. Турчак. – М. : Наука, 1987. – 320 с.
  15. Amosov O. S. Random Sequences Optimal Estimation by Using Regression and Wavelets / O. S. Amosov, L. N. Amosova // 7th IEEE Int. Conf. Control and Automation, Christchurch, New Zealand, 2009. Dec. 9–11. – Christchurch, 2009. – P. 2293–2298.

## Intellectual control system the heating of the passenger train

Konstantin K. Kim

*Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

Sergey N. Ivanov

*Komsomolsk-on-Amur state technical university*

Examines the system of heating passenger cars on the basis of the managed device generation and transportation of thermal energy. Results of comparing characteristics of the transients when using the classic schemes, proportional-integral and fuzzy controllers. The proposed controller based on fuzzy logic and the obtained dynamic characteristics of the control object in relation to passenger rail transport.

**Keywords:** heating system; fuzzy logic controller; overshoot; during the transition process.

## **Сведения об авторах**

*КИМ Константин Константинович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретические основы электротехники» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* kimkk@inbox.ru

*ИВАНОВ Сергей Николаевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Электромеханика» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета;  
*e-mail:* snivanov57@mail.ru

© Ким К. К., Иванов С. Н., 2017

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОЗОЧНОЙ РАБОТЫ ТЕПЛОВОЗОВ ЗТЭ10М И ТЯГОВЫЕ КАЧЕСТВА ПРОФИЛЯ ПУТИ УЧАСТКА МАРОКАНД – НАВОИ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

**О. С. Аблялимов**

Представлены результаты обоснования параметров перевозочной работы трехсекционных магистральных (поездных) грузовых тепловозов ЗТЭ10М на реальном холмисто-горном участке железной дороги при движении грузовых поездов без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и раздельных пунктах, а также оценки тяговых качеств профиля пути перегонов этого участка. В качестве критерия оценки предложены приведенные значения общего и удельного расходов натурного дизельного топлива на тягу поездов в количественном и динамическом исчислении с учетом сопутствующих перевозочному процессу значений приведенного времени хода поезда в режиме тяги и удельного расхода натурального дизельного топлива за поездку.

**Ключевые слова:** грузовой поезд; тепловоз; железнодорожный путь; характеристика участка и профиля пути; эффективность транспортной работы.

## Введение

Повышение эффективности перевозочной работы локомотивов дизельной тяги в разных условиях эксплуатации является частью общей задачи энергетической эффективности магистрального тягового подвижного состава локомотивного парка на участках железных дорог. Этую проблему можно решить за счет внедрения компьютерных технологий и элементов робототехники [1, 2], а также рекомендаций по смягчению динамики электромагнитных переходных процессов в тягово-энергетических системах электровозов с учетом совершенствования их сервисного обслуживания и ремонта [3, 4]. Для повышения эффективности использования тягового подвижного состава снижают расход натурального дизельного топлива и электрической энергии на тягу поездов локомотивами дизельной и гибридной тяги [5, 6].

Это относится и к железнодорожной отрасли Узбекистана, эксплуатируемый (рабочий) парк локомотивов которой различается только по типам,

сериям и тягово-энергетическим характеристикам. Сейчас около 54 % всех секций локомотивного парка составляют магистральные (поездные) грузовые локомотивы дизельной тяги, из которых чуть более 70 % секций приходится на тепловозы серии ТЭ10М [7]. Несмотря на активную электрификацию узбекистанских железных дорог, востребованность дизельной тяги остается высокой.

В связи с этим необходимо повысить эффективность использования тепловозной составляющей локомотивного парка АО «Ўзбекистон темир йўллари» при организации железнодорожных перевозок грузов на разных по сложности участках железных дорог.

Эффективность использования магистральных (поездных) грузовых тепловозов может повысить системный подход к разработкам комплексных рекомендаций и мероприятий, направленных на экономное расходование топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов. Требуются теоретические и экспериментальные исследования для обоснования параметров основных показателей перевозочной работы тепловозов и оценки эффективности топливосберегающих технологий в управлении режимами работы силовых энергетических установок (систем) в разных условиях эксплуатации.

Сотрудники кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» накопили немалый опыт в этой области и со специалистами локомотивного комплекса узбекистанской железной дороги изучают эффективность перевозочной работы магистральных (поездных) грузовых тепловозов.

## 1. Постановка задачи

Однозначно можно сказать, что перевозочная работа локомотивов дизельной и электрической тяги, являясь аналогом механической работы, показывает энергетическую эффективность организации перевозочного процесса грузов и пассажиров на практике.

Основные показатели перевозочной работы локомотивов – кинематические параметры движения поезда (скорость движения и время хода поезда на исследуемом участке, в том числе в разных режимах), а также параметры энергетической эффективности самих локомотивов в части общего (полного) и удельного расходов натурного дизельного топлива или электрической энергии на тягу поездов.

Кинематические параметры движения поезда, режим работы силовых энергетических установок локомотивов и расходы натурного дизельного топлива и электрической энергии на тягу напрямую зависят от сложности профиля пути железной дороги, критерием которой являются тяговые качества, или тяговые свойства [8]. На тяговые свойства участков железных дорог влияют крутизна (подъемы, площадки и спуски), протяженность и последовательность уклонов элементов профиля с учетом кривизны пути.

Данные исследования продолжают работы [1, 9] и касаются локомотивов дизельной тяги, при помощи которых организуется технология движения грузовых поездов на участке Мароканд – Навои узбекистанской железной дороги. Цель – обосновать основные показатели перевозочной работы тепловозов серии ЗТЭ10М, изучить влияние реальных условий организации железнодорожных перевозок грузов на упомянутые показатели и связать их с оценкой тяговых качеств профиля пути данного участка.

Объект исследования – трехсекционные магистральные грузовые тепловозы ЗТЭ10М и спрямленный профиль пути реального холмисто-горного участка Мароканд – Навои АО «Ўзбекистон темир йўллари», состоящий из семи железнодорожных перегонов: Мароканд – Джума, Джума – Нурбулак, Нурбулак – Каттакурган, Каттакурган – Разъезд № 28, Разъезд № 28 – Зирабулак, Зирабулак – Зиёвуддин, и Зиёвуддин – Навои.

Предмет исследования – основные показатели перевозочной работы и параметры топливно-энергетической эффективности тепловозов ЗТЭ10М с учетом приведенных расходов натурного дизельного топлива на тягу поездов в количественном и денежном исчислении на заданном участке железной дороги.

Методика исследований основывается на широко известных методах теории локомотивной тяги [10, 11] и исходных данных [9] и заключается в разработке математических моделей ведения грузового поезда трехсекционными магистральными грузовыми тепловозами ЗТЭ10М. Основной базой данных исследований являются тягово-эксплуатационные свойства и условия организации перевозочной работы тепловозов ЗТЭ10М на спрямленном профиле пути заданного участка. В исследованиях [9, 12] приведены характеристика последнего и постоянные ограничения скоростей движения грузовых поездов на перегонах и по станционным путям холмисто-горного участка дороги при проследовании или приеме этих поездов на главный или боковой железнодорожные пути.

Конструктивные отличия тепловозов ЗТЭ10М – микропроцессорная система регулирования мощности дизель-генератора УСТА-75-02 (унифицированная система тепловозной автоматики), система КЛУБ-У (комплексное локомотивное устройство безопасности) и унифицированный пульт управления (УПУ) [9]. Для обеспечения управления и контроля параметров на всех трех секциях в электрическую схему базового тепловоза 2ТЭ10М внесены изменения в соединениях интерфейсов и пультов управления каждой секции, а также систем подготовки пуска тепловоза, пуска дизеля и пожарной сигнализации.

Тяговые качества профиля и трассы железнодорожной линии существенно влияют на расход дизельного топлива и электрической энергии локомотивами, на производительность железной дороги и стоимость перевозок.

Для оценки степени трудности профиля пути предложено использовать виртуальные (эквивалентные) характеристики профиля пути [13, 14]. Под

виртуальной характеристикой профиля пути следует понимать безразмерную величину – отношение значения основного показателя перевозочной работы локомотива на данном элементе профиля пути к его значению на прямом и горизонтальном участке пути такой же протяженности.

Согласно [14], изменения механической работы и расхода натурного дизельного топлива, затрачиваемых на перемещение поезда по участку, взаимосвязаны, можно сказать, прямо пропорционально, а их количественная составляющая напрямую зависит от длины (протяженности) перегона или участка железной дороги в целом. Таким образом, количественная составляющая будет представлять собой общий параметр за поездку, так как большей механической работе будет соответствовать больший расход топлива, следовательно, по этому параметру нельзя достоверно характеризовать тяговые качества перегона или участка в целом, так как их трудность будет зависеть только от их длины.

Поэтому, аналогично [8], будем оценивать тяговые качества профиля пути каждого исследуемого перегона по количеству израсходованного топлива за время перемещения грузового поезда на данном участке. Приведенные значения общего и удельного расходов натурного дизельного топлива на тягу поездов численно будут равны частному от деления количества упомянутых расходов на 1 км железнодорожного пути.

Для большей объективности критерия дополнительно будем использовать показатели перевозочной работы тепловозов ЗТЭ10М:  $c_t$  – приведенные денежные затраты,  $t^*$  – приведенное время хода поезда в режиме тяги,  $e$  – удельный расход натурного дизельного топлива на тягу поездов.

Средние значения кинематических параметров движения, общего расхода топлива на тягу поездов и приведенные значения показателей энергетической эффективности тепловозов ЗТЭ10М при вождении грузовых поездов по перегонам участка Мароканд – Навои будем определять как среднеарифметические величины для двух видов движения.

## 2. Результаты исследований и их анализ

Выполнена серия тяговых расчетов на участке Мароканд – Навои в трех вариантах: при вождении грузовых поездов массой в диапазоне 2500–3500 т с изменением на  $\Delta Q = 500$  т, с постоянным числом осей  $m = 200$ , с остановками и без остановок на промежуточных станциях, разъездах и раздельных пунктах. Расчетные значения «чистого» времени хода грузового поезда по перегонам и на разгон-замедление по промежуточным станциям, разъездам и раздельным пунктам представлены в табл. 1.

Анализ данных табл. 1 по отношению к унифицированному грузовому поезду с массой состава  $Q = 3000$  т показывает следующее:

- общее время хода поезда без остановок напрямую зависит от изменения массы состава. Уменьшение массы состава на  $\Delta Q = 500$  т (~20%) приво-

дит к уменьшению общего времени хода поезда на 0,705 %, а увеличение на  $\Delta Q = 500$  т – к увеличению времени на 0,353 %;

- усредненные расчетные значения времени разгона и замедления поезда с уменьшенной и с увеличенной массой составляют, соответственно, 1,30 и 1,79 мин;

- изменение массы состава на 500 т увеличивает время на разгон поезда в обоих случаях: приблизительно на 6,15 и 16,92 %, соответственно, а на замедление в первом случае уменьшается на 6,70 %, во втором – увеличивается на 10,05 %;

- расход топлива на один разгон-замедление грузового поезда с унифицированной массой 3000 т составляет 34,8 кг, а усредненный (по трем вариантам массы) – 37,34 кг.

**Таблица 1.** Время хода грузового поезда на участке Мароканд – Навои по перегонам на проход и промежуточным станциям, разъездам и раздельным пунктам на замедление – разгон

Перегон	Расстояние, км	По перегонам, мин			На замедление/разгон, мин		
		Масса состава, т			Масса состава, т		
		$Q_1=2500$	$Q_2=3000$	$Q_3=3500$	$Q_1=2500$	$Q_2=3000$	$Q_3=3500$
Мароканд – Джума	–	–	–	–	–/2,00*	–/2,00*	–/2,00*
Джума – Нурбулак	8,75	7,80	7,70	8,10	1,70/1,50	1,70/1,50	2,00/1,30
Нурбулак – Каттакурган	29,00	22,00	22,25	22,65	1,65/1,15	1,85/1,00	2,00/1,25
Каттакурган – Рзд № 28	24,00	20,90	21,35	20,60	1,70/0,90	1,80/0,90	2,30/1,05
Рзд № 28 – Зираулак	11,25	10,70	10,95	10,65	1,25/0,70	1,35/0,80	1,80/0,95
Зираулак – Зиёвуддин	16,85	14,80	15,55	15,40	1,90/1,40	2,20/1,35	1,80/1,60
Зиёвуддин – Навои	27,15	19,50	18,95	19,60	1,90/2,00	1,80/1,55	1,80/2,50
Мароканд – Навои	23,50	16,90	16,65	16,80	1,60/–	1,85/–	2,10/–
Итого	140,5	112,60	113,40	113,80	1,67**/ 1,38**	1,79**/ 1,30**	1,97**/ 1,52**

Примечания. \* Время на разгон по станции Мароканд, которое принято аналогично [15] и входит во время хода поезда по перегону Мароканд – Джума. \*\* Среднее значение времени на замедление (торможение) и разгон при остановках грузового поезда на промежуточных станциях, разъездах и раздельных пунктах.

В табл. 2, 3 приведены усредненные значения, соответственно, кинематических и расходных параметров основных показателей перевозочной работы

**Таблица 2.** Показатели движения грузовых поездов в разных режимах работы силовых энергетических установок тепловозов 3ТЭ10М на перегонах участка Мароканд – Навои

Перегон	Техническая скорость движения $V_r$ , км/ч	Распределение времени хода поезда (без остановок/с остановками на промежуточных станциях, разъездах и раздельных пунктах), мин		
		Общее по перегонам участка $t_n$	В режимах	
			Тяги $t_t$	Холостого хода и торможения $t_{xh,t}$
Мароканд – Джума	69,25/56,08	7,88/9,73	4,66/4,67	3,22/5,06
Джума – Нурбулак	76,65/67,22	22,32/25,45	4,84/8,00	17,48/17,45
Нурбулак – Каттакурган	69,11/60,39	20,97/24,00	4,45/6,38	16,52/17,62
Каттакурган – Рзд № 28	62,72/57,69	10,78/11,72	3,67/5,14	7,11/6,58
Рзд № 28 – Зирабулак	69,32/61,43	15,27/17,23	9,55/9,15	5,72/8,08
Зирабулак – Зиёвуддин	82,79/70,87	19,37/22,63	6,10/6,86	13,27/15,76
Зиёвуддин – Навои	84,62/70,13	16,80/20,27	5,27/8,52	11,53/11,75
Мароканд – Навои	74,66/64,61	113,39/131,03	38,54/48,73	74,85/82,30

**Таблица 3.** Расход натурного дизельного топлива и денежных средств тепловозами 3ТЭ10М при движении грузовых поездов по перегонам участка Мароканд – Навои

Перегон	На промежуточных станциях, разъездах и раздельных пунктах					
	Без остановок			С остановками		
	Общий (полный) за поездку $E$ , кг	Удельный за поездку $e$ , кг/ $10^4$ ткм брутто	Приведенные денежные затраты $c_r$ , тыс. сўм/км	Общий за поездку $E$ , кг	Удельный за поездку $e$ , кг/ $10^4$ ткм брутто	Приведенные денежные затраты $c_r$ , тыс. сўм/км
Мароканд – Джума	121,42	44,86	23,635	123,38	45,59	24,016
Джума – Нурбулак	141,73	16,79	8,800	221,49	26,23	13,752
Нурбулак – Каттакурган	130,97	18,35	9,598	180,91	25,31	13,262
Каттакурган – Рзд № 28	100,51	30,15	15,791	136,86	40,90	21,502
Рзд № 28 – Зирабулак	247,18	46,94	24,807	239,79	45,64	24,065
Зирабулак – Зиёвуддин	168,84	21,36	11,183	191,01	24,09	12,652
Зиёвуддин – Навои	145,65	20,89	10,833	228,01	32,28	17,038
Мароканд – Навои	1056,3	24,95	13,254	1321,4	31,22	16,581

тепловозов 3ТЭ10М при движении грузовых поездов по перегонам и в целом по участку Мароканд – Навои с остановками и без остановок на промежуточных станциях, разъездах и раздельных пунктах.

Усредненные значения вычислены как средние величины в диапазоне изменения массы составов от 2500 т до 3000 т и послужили точкой отсчета для анализа эффективности перевозочной работы тепловозов 3ТЭ10М на участке Мароканд – Навои. При этом усредненные значения показателей одного вида движения грузовых поездов сравнивались между собой. Объективным подтверждением результатов служили исследования эффективности использования локомотивов дизельной и электрической тяги в разных условиях эксплуатации железных дорог [1, 8, 9, 12, 15].

Движение грузовых поездов на участке Мароканд – Навои, реализуемое тепловозами 3ТЭ10М без остановок на промежуточных станциях, разъездах и раздельных пунктах, в отличие от движения с остановками, обеспечивает:

- уменьшение общего времени хода поезда на 17,64 мин при среднем расчетном времени на одну остановку 2,52 мин и увеличение технической скорости движения на 10,05 км/ч;
- значения долей движения на режимах тяги, холостого хода и торможения, соответственно, 33,99 и 66,01 %;
- увеличение – уменьшение, соответственно, значений долей движения в режимах тяги и холостого хода и торможения приблизительно на 3,28 %;
- уменьшение времени движения в режимах тяги, а также холостого хода и торможения, соответственно, на 10,19 мин (~20,91 %) и 7,45 мин (9,05 %);
- снижение общего (полного) и удельного расхода топлива за поездку в среднем приблизительно на 20,07 %;
- общий (полный) и удельный расходы натурного дизельного топлива на одну остановку, соответственно, приблизительно 37,87 кг и 0,896 кг/ $10^4$  ткм брутто;
- снижение приведенных удельных затрат денежных средств приблизительно на 3327 сүм/км (20,06 %).

В табл. 4 представлена динамика средних значений кинематических параметров движения грузовых поездов и расхода натурного дизельного топлива в количественном и денежном исчислении, затрачиваемого тепловозами 3ТЭ10М на их перемещение по перегонам участка Мароканд – Навои для обоих видов движения.

Приведенные значения основных показателей энергетической эффективности тепловозов 3ТЭ10М по каждому перегону холмисто-горного участка Мароканд – Навои для обоих видов движения приведены на рисунке.

Для большей наглядности динамики приведенного времени хода грузового поезда в режиме тяги  $t_t^*$  по перегонам участка Мароканд – Навои их значения на рисунке увеличены в 100 раз.

**Таблица 4.** Кинематические параметры движения грузового поезда и параметры энергоемкости тепловозов 3ТЭ10М по перегонам участка Мароканд – Навои

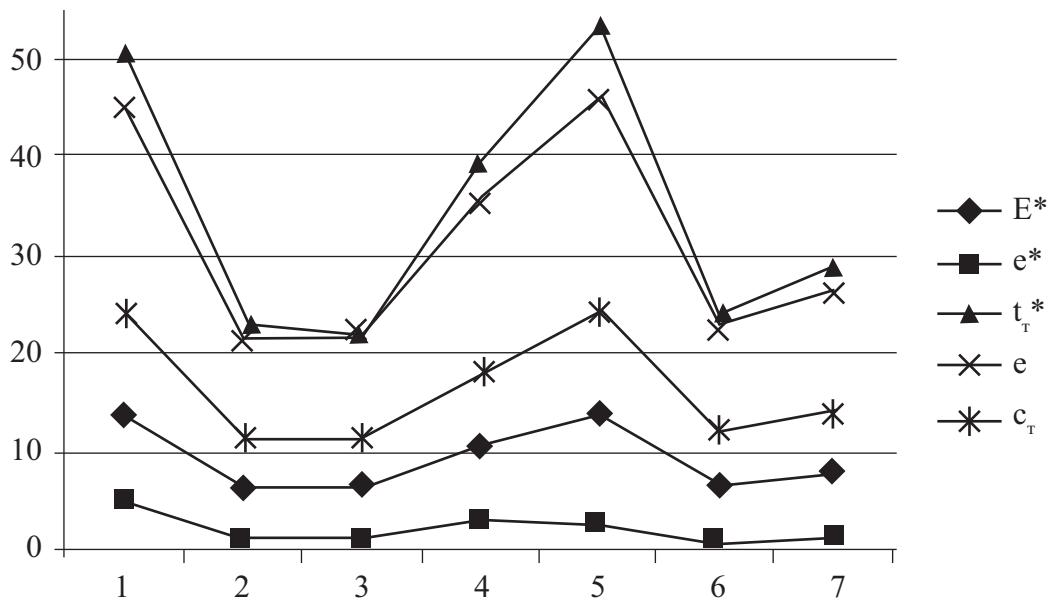
Перегон	Параметры движения грузового поезда и тепловоза						
	Кинематические			Энергоемкости			
	Техническая скорость движения $V_t$ , км/ч	Общее по перегонам участка $t_n$ , мин	В режиме тяги $t_r$ , мин	В режиме холостого хода и торможения $t_{xx,t}$ , мин	Общий (полный) за поездку $E$ , кг	Удельный за поездку $e$ , кг/ $10^4$ ткм брутто	Приведенные денежные затраты $c_t$ , тыс. сўм/км
Мароканд – Джума	62,66	8,80	4,66	4,14	122,4	45,22	23,826
Джума – Нурбулак	71,93	23,88	6,42	17,46	181,61	21,51	11,276
Нурбулак – Каттакурган	64,75	22,48	5,41	17,07	155,94	21,83	11,43
Каттакурган – Рзд № 28	60,20	11,25	4,40	6,85	118,68	35,52	18,647
Рзд № 28 – Зирабулак	65,37	16,25	9,35	6,90	243,48	46,29	24,436
Зирабулак – Зиёвуддин	76,83	21,00	6,48	14,52	179,83	22,72	11,918
Зиёвуддин – Навои	77,37	18,53	6,88	11,64	187,33	26,58	13,936
Мароканд – Навои	69,63	122,21	43,63	78,58	1188,85	28,08	14,917

Анализ графических зависимостей, критерия трудности профиля пути перегонов участка Мароканд – Навои и приведенных значений перевозочной работы тепловозов 3ТЭ10М свидетельствует: перегоны Мароканд – Джума и Разъезд № 28 – Зирабулак наиболее трудны, перегон Каттакурган – Разъезд № 28 – средний по трудности, условно легкий перегон – Зиёвуддин – Навои, а перегоны Джума – Нурбулак, Нурбулак – Каттакурган и Зирабулак – Зиёвуддин – самые легкие.

Распределение приведенных значений параметров энергетической эффективности тепловозов 3ТЭ10М по каждому перегону участка Мароканд – Навои также подтверждает сказанное.

Величина приведенного расхода натурного дизельного топлива общего ( $E^*$ , кг/км) / удельного ( $e^*$ , кг/ $10^4$  ткм брутто : км) по каждому перегону составляет:

- на наиболее трудных перегонах Мароканд – Джума и Разъезд № 28 – Зирабулак 13,35/4,93 и 14,01/2,66 ед., соответственно, – движение без остановок, 13,57/5,01 и 13,59/2,59 ед. – движение с остановками на промежуточных



Приведенные значения показателей энергетической эффективности тепловозов ЗТЭ10М по перегонам участка Мароканд – Навои:

- 1 – Мароканд – Джума; 2 – Джума – Нурбулак; 3 – Нурбулак – Каттакурган; 4 – Каттакурган – Разъезд № 28; 5 – Разъезд № 28 – Зирабулак; 6 – Зирабулак – Зиёвуддин; 7 – Зиёвуддин – Навои;  $E^*$ ,  $e^*$  и  $e$  – расход натурного дизельного топлива за поездку, приведенный общий, приведенный удельный и удельный, соответственно;  $t_t^*$  – приведенное время хода поезда в режиме тяги;  $c_t$  – приведенные денежные затраты

станциях, разъездах и разделочных пунктах; для средних приведенных значений – 13,46/4,97 и 13,8/2,62 ед.;

• на среднем по трудности перегоне Каттакурган – Разъезд № 28 – 8,92/2,68 и 12,14/3,63 ед., соответственно, при движении без остановок и с остановками средние приведенные значения – 10,53/3,15 ед.;

• на условно легком (Зиёвуддин – Навои) и легких (Джума – Нурбулак, Нурбулак – Каттакурган, Зирабулак – Зиёвуддин) перегонах происходят колебания от 9,62/1,36 до 7,15/0,9 ед. при движении с остановками, от 6,32/0,88 до 4,97/0,59 ед. – без остановок, для средних приведенных значений колебания составляют от 7,91/1,12 до 6,37/0,75 ед.

Усредненные величины приведенных значений времени хода грузового поезда в режиме тяги ( $t_t^*$ ) и денежных затрат за топливо ( $c_t$ ) составляют приблизительно 0,23 мин/км и 11,541 тыс. сўм/км, соответственно, и превышают аналогичные значения на легких перегонах Джума – Нурбулак, Нурбулак – Каттакурган и Зирабулак – Зиёвуддин, соответственно, в 2,22 и 3,92 раз; на перегоне Мароканд – Джума, Разъезд № 28 – Зирабулак – в 2,3 и 4,01 раз; на перегоне Каттакурган – Разъезд № 28 – в 1,7 и 3,08 раз.

Аналогичные превышения характерны также для значений удельного расхода топлива на тягу поездов (для легких перегонов  $e = 22,02 \text{ кг}/10^4 \text{ ткм}$  брутто), такие увеличения для самых трудных, среднего по трудности и условно легкого перегонов составляют, соответственно, 2,1, 2,05; 1,61 и 1,21 раз.

## **Выводы**

Кинематические параметры движения грузовых поездов, параметры энергетической эффективности ЗТЭ10М и критерии трудности профиля пути перегонов холмисто-горного участка Мароканд – Навои показали достаточно высокую сходимость с результатами исследований [1, 8, 9, 12, 16, 17] и могут характеризовать перевозочный процесс в реальных условиях железнодорожных перевозок грузов на данном участке железной дороги.

Результаты исследований могут быть рекомендованы машинистам, машинистам – инструкторам по теплотехнике и специалистам цеха эксплуатации локомотивных депо Самарканда и Бухары для нормирования и прогнозирования расхода натурного дизельного топлива на тягу поездов. Кроме этого, они будут весьма полезны специалистам локомотивного комплекса и других смежных структурных подразделений АО «Ўзбекистон темир йўллари» при определении тяговых качеств пути и трассы железнодорожной линии Самарканд – Бухара и при оценке их влияния на эффективность организации движения грузовых поездов на этой части железной дороги.

## **Библиографический список**

1. Аблялимов О. С. К исследованию эксплуатации тепловозов ЗТЭ10М на холмисто-горном участке железной дороги / О. С. Аблялимов // Изв. Транссиба. – 2016. – № 3 (27). – С. 2–10.
2. Anand M. D. Fault diagnosis system for a robot manipulator through neuro-fuzzy approach / M. D. Anand, T. Selvaraj, S. Kumanan, J. Janarthanan // Int. J. Modelling, Identification and Control. – 2008. – Vol. 3, no. 2. – P. 181–192.
3. Wang Y. X. Display screen in the cab for the locomotive fault diagnosis system / Y. X. Wang, L. D. Wang et al. // J. China Railway Soc. – 2006. – Vol. 28, no. 3. – P. 67–70.
4. GT26CU-3 Locomotive Service Manual. Electro Motive Diesel Inc. – 3rd ed. – General Motors, 2009.
5. Li N. Research on Electromagnetic Transient Process of Electric Locomotive System / N. Li. – Beijing : Beijing Jiaotong Univ., 2010.
6. Mulder M. Transnet Diesel Locomotive Fuel Consumption Tables / M. Mulder. – Pretoria : Transnet Freight Rail ; Train Design Department, 2014.
7. Mayet C. Influence of an Energy Storage System on the Energy Consumption of a Diesel-Electric Locomotive / C. Mayet, J. Pouget, A. Bouscayrol, W. Lhomme // IEEE Transaction on Vehicular Technology. – 2014. – N 63 (3).
8. Аблялимов О. С. Оценка эффективности перевозочной работы тепловозов 4ТЭ10М и тяговых качеств профиля пути участка Кумкурган – Ташгузар в условиях эксплуатации / О. С. Аблялимов // Вестн. транспорта Поволжья. – 2015. – № 1 (49). – С. 17–24.

9. Бабичков А. М. Тяга поездов : учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта / А. М. Бабичков, В. Ф. Егорченко. – М. : Транспорт, 1962. – 264 с.
10. Бабичков А. М. Тяга поездов и тяговые расчеты : учеб. для вузов ж.-д. транспорта / А. М. Бабичков, П. А. Гурский, А. П. Новиков. – М. : Транспорт, 1971. – 280 с.
11. Аблялимов О. С. Исследование эксплуатации тепловозов 3ТЭ10М на холмисто-горном участке АО «Ўзбекистон темир йўллари» / О. С. Аблялимов // Изв. Трансиба. – 2016. – № 2 (26). – С. 2–10.
12. Деев В. В. Тяга поездов : учеб. пособие для вузов / В. В. Деев, Г. А. Ильин, Г. С. Афонин. – М. : Транспорт, 1987. – 264 с.
13. Кузьмич В. Д. Теория локомотивной тяги : учеб. для вузов ж.-д. транспорта / В. Д. Кузьмич, В. С. Руднев, С. Я. Френкель. – М. : Маршрут, 2005. – 448 с.
14. Аблялимов О. С. Исследование эксплуатации тепловозов UzTE16 М3 на холмисто-горном участке АО «Ўзбекистон темир йўллари» / О. С. Аблялимов // Вестн. транспорта Поволжья. – 2016. – № 3(57). – С. 16–22.
15. Аблялимов О. С. Основы управления локомотивов : учеб. для профессиональных колледжей ж.-д. транспорта / О. С. Аблялимов, Э. С. Ушаков. – Ташкент : Davr, 2012. – 392 с.
16. Аблялимов О. С. Исследование эффективности использования тепловозной тяги на равнинном участке железной дороги / О. С. Аблялимов // Вестн. транспорта Поволжья. – 2015. – № 5 (53). – С. 16–23.
17. Аблялимов О. С. Исследование эффективности использования тепловозной тяги на холмистом участке железной дороги / О. С. Аблялимов, Ж. Х. Атахажаев // Вестн. ТашИИТ. – 2013. – № 3/4. – С. 31–34.

**Research of locomotives 3TE10M transportation works  
effectiveness and traction characteristics of track profile  
of Marokand-Navoi line in operation conditions**

Oleg S. Ablyalimov

*,,Locomotives and locomotive economy“ department  
Toshkent Temir Yo‘l Muhandislari Instituti*

The paper presents results of three-section trunk freight locomotive 3TE10M transportation works parameters study on real hilly-mountainous railway line while movement of freight trains without stops and with stops on stations and of estimation of traction characteristics of track profile of this line. General and specific diesel fuel consumption for train traction in quantitative and monetary terms were considered as the criterion of this estimation. Values of traction time and specific consumption were taken into account.

**Keywords:** *freight train; locomotive; rolling stock; traction characteristics of track profile; transportation works effectiveness.*

## Сведения об авторе

*АБЛЯЛИМОВ Олег Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта;  
e-mail: i.gulzarova@gmail.com*

© Аблялимов О. С., 2017

# *Проблемы систем управления*

УДК 551.594.221

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ УДАРА МОЛНИИ**

**А. Д. Манаков, Ю. М. Пашаев**

Разработана методика оценки опасности удара молнии. Определены время приятия решения для снижения вероятности опасного воздействия шагового напряжения на человека при приближении грозового облака и время нахождения в защищенной области после окончания грозовой активности.

**Ключевые слова:** молния; гроза; грозовая ячейка; ток молнии; этапы активности грозового облака.

### **Введение**

Российские железные дороги занимают третье место по общей протяженности в мире (85,3 тыс. км) [1]. Для их обслуживания и эксплуатации задействована огромная инфраструктура, включающая в себя различные хозяйства: пути, электроснабжения, автоматики и телемеханики, связи и др. На территории России железные дороги простираются в наиболее опасных зонах грозовой активности, где количество грозовых часов в год колеблется от 40 до 100 и более. Гроза – электрические разряды, происходящие между тучами или между тучей и землей и являющиеся в виде молнии и грома [2].

Регламент обслуживания напольных устройств, капитальные ремонты и другие сезонные работы в весенне-летний период, на который приходится пиковая грозовая активность, занимают много времени. Находясь в поле, работники подвергаются повышенной опасности в результате возможного воздействия молнии.

Молния – одно из наиболее опасных природных явлений, которое на протяжении всего существования человечества осложняет жизнь людям. Сегодня человек знает о молнии достаточно, чтобы избавиться от древнего страха перед ней, противостоять и бороться с ней. Основными поражающими факторами молнии для организмов являются электрический ток сверхвысокого напряжения, мощный световой импульс, мощная звуковая волна (гром).

Молния представляет угрозу для жизни как людей, так и животных. Важно отметить, что страшен не только прямой удар, не менее опасно оказаться в области растекания тока и возникновения шагового напряжения. Так, 9 мая 2013 г. в Германии молния ударила в дерево, но при стекании тока в землю пострадали 43 человека, 38 потребовалась госпитализация [3]. Крупных животных молния поражает гораздо чаще, чем человека, в том числе потому, что у них расстояние между конечностями больше, при этом на животных действует большее шаговое напряжение, чем на человека. В январе 2016 г. в норвежском национальном парке Хардангервидда удар молнии убил 323 диких оленя. Животные погибли в результате одного разряда. Их тела были найдены на площади диаметром около 100 м [4].

Многие люди по служебным и личным обстоятельствам могут находиться в зоне грозового облака. Общеизвестно, что при громе необходимо укрыться в помещении, отключить дорогостоящие электронные приборы от электросети, исключить сквозняки в помещении при открытых окнах.

Цель работы – определить время принятия решений, чтобы снизить вероятность опасного воздействия шагового напряжения на человека при близких ударах молнии.

## **1. Молния – угроза для жизни людей и животных**

Молния – наиболее распространенный источник мощных электромагнитных явлений естественного происхождения. Одновременно в атмосфере находится около 1000–2000 электрически активных грозовых облаков. Грозовое облако представляет собой локализованную область электрической активности с резко выраженной конвективностью. Оно может состоять из одной или нескольких грозовых ячеек. В средних широтах средний радиус основания одной грозовой ячейки  $R \approx 2$  км, а вершина типичной ячейки расположена на высоте 8–12 км. В тропических широтах, где грозовые облака могут достигать гигантских размеров, вершина ячейки может находиться на высоте 20 км. Время жизни ячейки от момента ее зарождения до распада – около 1 часа. Развитие грозового облака делят на три стадии: зарождения, развития (зрелости) и распада. Стадия зарождения характеризуется мощными восходящими потоками теплого влажного воздуха и появлением первых молний. В стадии развития усиливаются электрическая активность, восходящие потоки и влагосодержание облака. В стадии распада наблюдается затухание восходящих движений воздуха, уменьшение электрической активности и выпадение осадков [5].

Прямой удар средних по силе молний составляет 30 кА и влечет за собой летальный исход. Электрический ток у самых сильных молний может превысить 200 кА [6]. Вероятность прямого удара молнии в человека невероятно мала. Для человека высотой  $h$  радиус стягивания молнии  $R_s \approx 3h$  равен всего

5–6 м, площадь стягивания – не более  $0,11 \cdot 10^{-4}$  км<sup>2</sup>. Все молнии, смещенные от человека на расстояние менее  $R_3$ , попадают в него, а остальные проходят мимо [7]. Интенсивность грозовой деятельности  $n_m$  оценивается по числу ударов молний на 1 км<sup>2</sup> поверхности земли. Для равнинных районов Европы  $n_m \approx 2\text{--}5$ , в предгорных районах Кавказа  $n_m \approx 10$  [7].

Стоящий один в чистом поле, в котором  $n_m \approx 3$ , человек мог бы рассчитывать на прямой удар молнии только через 3000 лет. В реальности жертв у молний намного больше, и прямой удар здесь ни при чем. Не рекомендуется в грозу находиться вблизи высоких деревьев, тем более, на открытой местности. Дерево примерно в 10 раз выше человека, и молния попадает в него в 100 раз чаще. Находясь под древесной кроной, человек оказывается в зоне растекания тока молнии, что небезопасно.

После удара молнии в дерево ее ток  $I_m$  распространяется по стволу, а затем через корни стекает в землю. Корневая система дерева становится как бы естественным заземлителем. Известно, что благодаря току в земле появляется электрическое поле  $E = p \cdot j$ , где  $p$  – удельное сопротивление грунта,  $j$  – плотность тока. Пусть ток растекается в грунте строго симметрично. Тогда эквипотенциали представляют собой полусфера с диаметральной плоскостью на поверхности земли. Плотность тока на расстоянии  $r$  от ствола дерева может быть рассчитана как [7]

$$j(r) = \frac{I_m}{2\pi r^2},$$

а разность потенциалов между близкими точками  $r$  и  $r + \Delta r$  – как

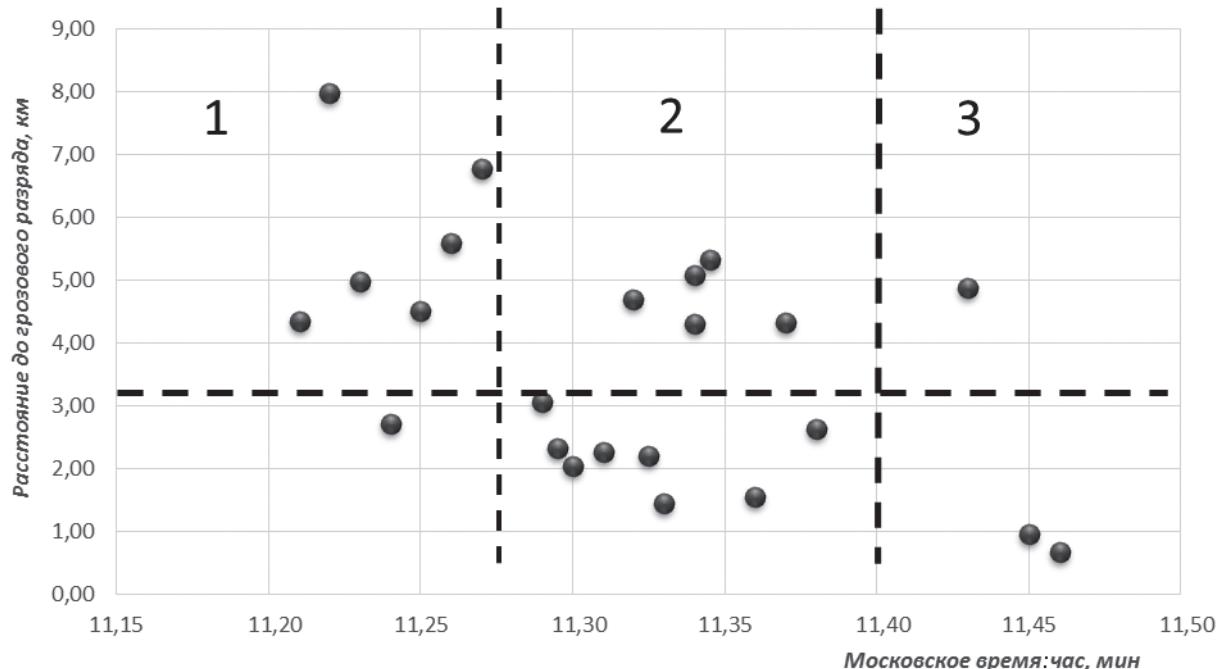
$$\Delta U = \frac{I_m p [r^{-1} - (r + \Delta r)^{-1}]}{2\pi} \approx E(r) \Delta r.$$

Если, например, человек стоит на расстоянии  $r \approx 1$  м от центра ствола дерева боком к дереву, а расстояние между его ступнями  $\Delta r \approx 0,25$  м, то для средней по силе молнии с током  $I_m \approx 30$  кА перепад напряжения на поверхности грунта с  $p = 350$  Ом·м составляет  $\Delta U = 334$  кВ. Это напряжение оказывается приложенным к подошвам обуви, а после их неизбежного пробоя – к телу человека, что приведет к его гибели. Действующее на человека напряжение пропорционально  $\Delta r$ . Это значит, что стоять, широко расставив ноги, много опаснее, чем с плотно прижатыми друг к другу ступнями.

## **2. Методика определения показателей опасности удара молнии**

Авторы наблюдали за активностью грозового облака над Санкт-Петербургом 8 августа 2014 г.

При этом в зоне видимости грозовых разрядов в момент визуальной фиксации вспышки молнии включался секундомер, а затем останавливался по мере прихода звуковой волны (грома). Исходя из того, что скорость распространения звука в атмосфере равна 331 м/с, определялась удаленность разрядов молнии от места наблюдения. В ходе наблюдения было зафиксировано 23 грозовых разряда, которые можно включить в три этапа активности грозового облака (см. рисунок).



Результаты наблюдений грозовых разрядов 8 августа 2014 г.

На первом этапе происходили грозовые разряды с 1 по 7 (счет слева направо) с частотой примерно 1,16 ударов в минуту. Его продолжительность составила 6 минут. В среднем зафиксировано удаление грозовых разрядов на 5,2 км от места наблюдения, максимальное – 8 км, минимальное – 2,7 км.

На втором этапе грозовые разряды 8–20 отделены от разрядов первого этапа промежутком 2 мин. Продолжительность данного этапа составила 9 минут, частота грозовых разрядов – в среднем 1,62 удара в минуту. Средняя удаленность грозовых разрядов 3,17 км, максимальная – 5,3 км, минимальная – 1,4 км.

Третий этап отделен от второго временным промежутком 5 мин. Зафиксировано три удара. 22-й и 23-й разряды произошли на минимальном удалении от точки наблюдения – 0,9 км и 0,6 км, соответственно, 21-й разряд – 4,8 км. Продолжительность третьего этапа составила 3 минуты, средняя удаленность разрядов – 2,17 км.

Средняя длина канала молнии в землю на территории Европы составляет 3 км [7].

В работе сделано допущение, что при удаленности от грозового разряда на расстоянии менее 3 км наблюдатель находится в зоне большой вероятности поражения молнией – в опасной зоне. В этом случае необходимо предпринять меры по защите людей от шагового напряжения в случае удара молнии в близлежащие объекты.

Рассчитана вероятность удара молнии в опасной зоне на  $i$ -м этапе развития грозового облака, которая определялась как отношение количества разрядов молнии на расстоянии менее 3 км от точки наблюдения к общему количеству зафиксированных разрядов. Вероятность удара молнии в опасной зоне на первом этапе  $P_1 = 0,04$ , на втором  $P_2 = 0,3$ , на третьем  $P_3 = 0,08$ . Из этого следует, что наибольшая опасность была на втором этапе активности грозового облака.

Время с начала наблюдения до второго этапа составило 8 мин. За это время требовалось переместиться из опасной зоны в место, где исключено влияние шагового напряжения на человека – в здания, в автомобиль. В лесу необходимо удалиться вглубь от опушки или поляны более чем на 100 м и расположиться под невысоким деревом с раскидистой кроной. В чистом поле надо найти место понижения грунта в виде оврага или канавы и сесть на корточки [8].

После длительной паузы в активности грозового облака высока опасность влияния молнии, так как разряды происходят на близком расстоянии от наблюдателя. Не рекомендуется покидать защищенное место после окончания грозовых разрядов в течение десяти минут.

В настоящее время практически у каждого человека есть телефон с секундомером. При первых вспышках приближающегося грозового облака необходимо оценить удаленность грозовых разрядов от вашего места. Последующие измерения покажут направление движения грозового облака. При движении грозового облака в вашем направлении в течение пяти минут необходимо предпринять перечисленные меры для защиты от шагового напряжения.

Установленные временные интервалы сопоставляли с данными [9], где регистрировались и оценивались энергетические характеристики электромагнитных воздействий во время прохождения грозового облака над тем же местом, где проводилось наблюдение 8 августа 2014 г. Показано, что с начала регистрации грозовых разрядов до наступления мощных разрядов прошло 6 мин 20 с [9, рис. 2]. Наибольший разряд молнии зафиксирован через 14 мин с начала регистрации [9, рис. 3]. После этого наступила 3-минутная пауза, затем последовали два мощных удара молнии с интервалом 5 с.

Рекомендованные в работе временные интервалы, полученные из наблюдений 8 августа 2014 г., согласуются с временными интервалами опасных грозовых разрядов, зарегистрированных 18 августа 2008 г. [9].

## **Выводы**

Наблюдения за активностью грозового облака позволили определить время, необходимое для принятия решения по защите людей от шагового напряжения при близких грозовых разрядах, – пять минут. По окончании грозовых разрядов люди должны находиться в защищенной области не менее десяти минут.

## **Библиографический список**

1. ОАО «РЖД» сегодня. – URL : [http://rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE\\_ID=628](http://rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=628).
2. Энциклопедический словарь. – Т. IX(а). – Типо-Литография И. А. Ефона, 1893.– 976 с.
3. Более 40 человек пострадали в результате удара молнии в Германии. – URL : <https://ria.ru/world/20130509/936659199.html>.
4. В Норвегии от удара молнии погибло сразу 323 оленя. – URL : [www.mk.ru/incident/2016/08/29](http://www.mk.ru/incident/2016/08/29).
5. Ермаков В. И. Физика грозовых облаков / В. И. Ермаков, Ю. И. Стожков. – М. : Препринт, РАН, Физ. ин-т им. П. Н. Лебедева (ФИАН), 2004. – 38 с.
6. ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010 Менеджмент риска. Защита от молний. Ч. 1. Общие принципы.– М. : Стандартинформ, 2011.– 46 с.
7. Базелян Э. М. Физика молний и молниезащиты / Э. М. Базелян, Ю. П. Райзер.– М. : Физматлит, 2001.– 320 с.
8. Базелян Э. М. Осторожно, молния! / Э. М. Базелян. – М. : Спорт и Культура – 2000, 2012.– 160 с.
9. Казаков Д. Ю. Модель опасной грозы / Д. Ю. Казаков, А. Д. Манаков, Д. А. Махов // Материалы межрегионал. науч.-практич. конф. с междунар. участием ; под ред. А. И. Годяева.– Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2011. – С. 170–175.

## **Method of lightning strike danger estimation**

Alexander D. Manakov, Yury M. Pashaev

*,,Automation and remote control on railways“ department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

The method of lightning strike danger estimation is developed. Authors defined the decision making time for reduction of probability of step voltage danger effect on human at thunderstorm cloud approaching. The time spent in protected area after thunderstorm activity is defined too.

**Keywords:** lightning; thunderstorm; storm cell; lightning current; thunderstorm cloud development stages.

## **Сведения об авторах**

*МАНАКОВ Александр Демьянович* – доктор технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* manakoff\_2@mail.ru

*ПАШАЕВ Юрий Михайлович* – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* y.pashaev@vklay.ru

© Манаков А.Д., Пашаев Ю.М., 2017

# ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ МЕТРОПОЛИТЕНОВ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

**И. Э. Кудашев, С. В. Власенко**

В данной статье рассмотрены наиболее актуальные проблемы развития и применения систем железнодорожной автоматики и телемеханики для метрополитенов РФ. Проведен анализ основных эксплуатируемых систем, выделены тенденции развития систем автоматики телеуправления движением поездов и рассмотрены удовлетворяющие им отечественные разработки.

**Ключевые слова:** подвижный блок-участок; *communication-based train control*; радиоканал.

## Введение

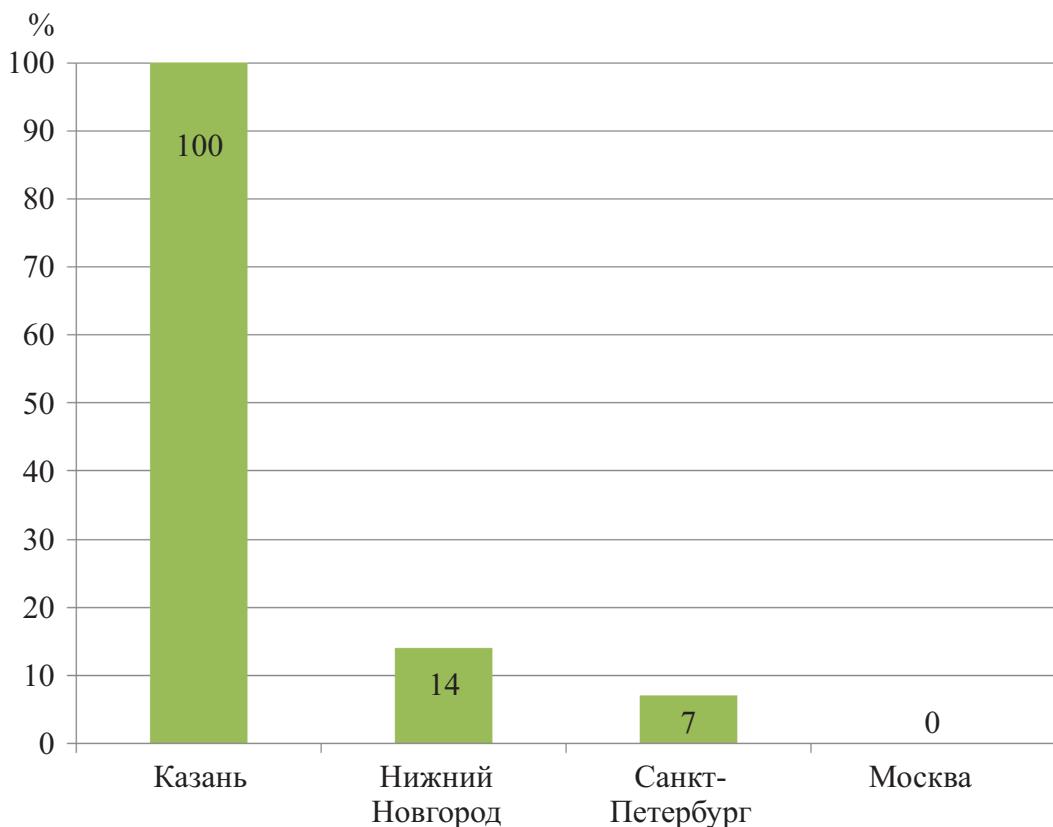
Развитие технологий неизбежно движется вперед. Развиваясь, общество подстегивает научно-технический прогресс. Транспортная отрасль отражает общее развитие промышленного производства страны, а также является своего рода индикатором научно-технического прогресса. Это касается как грузового, так и пассажирского транспорта. Чем крупнее мегаполис, тем более высокие требования предъявляются к общественному транспорту. Ритм больших городов требует от транспортного сектора организовать доставку пассажиров с максимальной безопасностью в минимальный срок. Безусловным лидером по обслуживанию транспортных нужд мегаполисов является метрополитен – кровеносная система города.

Московский метрополитен – крупнейший в нашей стране. Ежедневно он обслуживает порядка миллиона пассажиров [1]. Такая цифра подразумевает максимально возможную парность поездов в час. На данный момент она достигает 40 пар поездов в час. При такой интенсивности оборота подвижного состава на станции человек уже не в состоянии управлять процессом, поэтому миссия регулирования движения переходит системам автоматики и телемеханики движения поездов (АТДП). Только системы, выполненные с применением безопасных структур, могут гарантировать безопасность движения в таких условиях эксплуатации.

По мере роста пассажиропотока в Московском метрополитене остро встает необходимость увеличения пропускной способности. Но применяемые

системы АТДП разработки 1950-х годов не в состоянии соответствовать современным запросам, поэтому релейные системы постепенно уходят в прошлое и возникает потребность в переоборудовании линий.

Если рассматривать оснащенность метрополитенов страны микропроцессорными системами, то получится примерно такая картина, какая представлена на рисунке [1].



Оснащение метрополитенов РФ микропроцессорными системами

В данный момент все станции московского метрополитена функционируют на маршрутно-релейной централизации (МРЦ). Да, там присутствуют смежные системы на микропроцессорной базе, но они осуществляют мониторинг и лишь контролируют параметры аппаратуры. Кроме того, интегрирование надстраиваемой системы мониторинга в комплексы, полностью организованные на релейной элементной базе, часто крайне затруднительно [2].

## 1. Тенденции развития систем АТДП

По статистике, наиболее ненадежным элементом систем автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте являются рельсовые цепи, в первую очередь, из-за низкой отказоустойчивости изолирующих стыков.

Мониторинг последних нескольких лет показал: несмотря на сокращение числа отказов рельсовых цепей как элемента, процент отказов, связанных с изолирующими стыками, увеличивается [3]. Кроме этого, использование изолирующих стыков сокращает потенциал пропускной способности на конкретном участке пути. Сами рельсовые цепи (часто из-за плохого состояния непосредственно рельсов) являются плохим каналом для передачи на поезда важной информации, особенно – связанной с допустимой скоростью и свободностью/занятостью впереди лежащего участка пути.

Именно поэтому основной тенденцией развития систем АТДП последних лет – как для железных дорог, так и для метрополитенов – является уход от изолирующих стыков и фиксированных блок-участков в сторону подвижных блок-участков с применением принципиально нового способа обмена информацией между подвижным составом и системами АТДП [4].

## 2. Обзор основных систем для метрополитена РФ

Сегодня в нашей стране рекомендованы к внедрению на метрополитенах две основные микропроцессорные системы: МПЦ-МПК разработки Центра компьютерных железнодорожных технологий (ЦКЖТ) ПГУПС и МЦМ в комплексной системе обеспечения безопасности и автоматизированного управления движением поездов в метрополитене «Движение» разработки Научно-исследовательского института точной механики (НИИ ТМ).

Рассмотрим особенности каждой системы и сравним с зарубежным аналогом, основанном на стандарте СВТС (communication-based train control).

Система МПЦ-МПК представляет собой полностью микропроцессорную систему с дублированием вычислительных средств, основанную на принципе безопасного управления «2 из 2». Используются тональные рельсовые цепи третьего поколения, которые являются единственными датчиками как наличия подвижного состава, так и целостности рельсовых нитей. Кроме того, также по рельсам передаются сигналы автоматической локомотивной сигнализации с автоматическим регулированием скорости (АЛС-АРС) [5].

Система уже функционирует на одной станции Санкт-Петербургского метрополитена, а также установлена в качестве резервной централизации в депо «Выборгское» [6].

Система «Движение» разработки НИИ ТМ является первым комплексным отечественным решением всех задач технологического управления на метрополитенах [7].

Отличительными особенностями данной системы являются отказ от использования рельсовых цепей как основного канала для передачи информации о разрешенной скорости на локомотив, а также возможность использования подвижных блок-участков.

Подвижный блок-участок – новое понятие для российского метрополитена. Тем не менее, в условиях постоянно нарастающего пассажиропотока вопрос увеличения парности актуален как никогда. Но применяемые системы ограничены в увеличении пропускной способности, так как два поезда не могут находиться на одном блок-участке. Именно поэтому целесообразно привязать динамическое «окно» к конкретному поезду. В зависимости от тяговых характеристик данной подвижной единицы и поездной ситуации на участке в целом подвижный блок-участок будет расширяться или сжиматься. Благодаря этому обеспечивается максимальная возможная пропускная способность линии.

### **3. История возникновения стандарта СВТС**

История СВТС начинается с катастрофы 28 августа 1991 г. в метрополитене Нью-Йорка. Тогда из-за уснувшего машиниста поезд с более чем двумя сотнями пассажиров сошел с рельсов, в пять раз превысив разрешенную на том участке скорость. Погибли пять человек.

Этот случай примечателен тем, что, несмотря на частое расположение светофоров и наличие автостопов, поезд разогнался до 50 миль/ч. Автостоп на станции сработал и спустил тормозную магистраль, но было уже слишком поздно.

Происшествие в Нью-Йорке поставило под сомнение надежность использования таких основополагающих для автоматики понятий, как автостоп, рельсовая цепь и светофор, и послужило толчком к изобретению принципиально нового способа контроля разрешенной скорости и местоположения состава.

К концу 1994 г. компания Metropolitan Transportation Authority предложила проект инновационной на тот момент системы, который в дальнейшем стал основой международного стандарта СВТС [8].

Данный стандарт подразумевает отказ от фиксированных участков пути, к контролю которых сводятся все системы автоматики, и переход к контролю самого подвижного состава и постоянной обработки поездной информации в реальном времени. Это позволяет ассоциировать подвижной состав с определенным «окном» – подвижным блок-участком, который изменяет свои характеристики в реальном времени в зависимости от скорости, ходовых характеристик и поездной ситуации, рассматриваемой для каждой подвижной единицы в целом.

Системы, построенные по стандарту СВТС, не требуют использования привычных светофоров, рельсовых цепей и автостопов.

Вся информация: допустимая скорость, фактическая скорость, местоположение состава с точностью до метра, тяговые характеристики – передается

по радиоканалу. Рельсовые цепи больше не используются как канал передачи информации, что является еще одной особенностью СВТС.

Соответственно этому, вся аппаратура подразделяется на напольную и бортовую. В качестве напольного оборудования устанавливаются балисы для уточнения местоположения поезда после его проезда над ними, а также путевые точки доступа. Они устанавливаются исходя из зоны охвата антенны. На борту монтируется компьютер и радиоприемник.

Для предотвращения аварий при сбое передачи данных либо при отказе оборудования на каждом поезде устанавливается специальное устройство защитного отказа, которое в случае сбоя немедленно включает экстренное торможение.

В системе «Движение», например, рельсовые цепи, несмотря на наличие радиоканала, остаются резервным элементом. Они выступают как дублирующий канал для передачи разрешающих частот посредством двукратной фазоразностной модуляции, но основное их назначение – датчик целостности рельсовых нитей.

Таким образом, комплект станционной аппаратуры комплексной системы «Движение» (СА КСД) является инновационным для России решением, объединяя как проверенные временем традиционные рельсовые цепи, так и принципиально новый для отечественных железных дорог формат взаимодействия системы централизации с подвижным составом.

#### **4. Сравнение с системой, архитектура и принцип работы которой полностью соответствует СВТС**

Система, соответствующая стандарту СВТС, полностью реализует управление поездом посредствам анализа динамически изменяющихся данных, привязанных не к участку пути, а непосредственно к подвижной единице. Такой метод контроля позволяет отказаться от фиксированной длины рельсовых цепей и использовать пропускную способность линии на максимально возможном уровне загруженности [9].

Постоянный анализ поездной ситуации в реальном времени требует от УВК системы управления движением более высокой производительности по сравнению с аналогичными системами, обрабатывающими информацию по принципу занято/свободно. Однако усложнение каналов передачи информации и аппаратных средств приводит к потере необходимости в большинстве видов традиционного напольного оборудования. На полу все становится проще: для управления движением достаточно разместить точки доступа [10, 11].

Сравнение рассмотренных систем представлено в таблице.

## Сравнение микропроцессорных систем

Критерий сравнения	МПЦ-МПК	СА КСД	Система, построенная по стандарту СВТС
Передача информации о скорости движения по радиоканалу	–	+	+
Динамические блок-участки	–	–	+
Парность поездов в час	40	40	> 40
Контроль целостности рельсовой линии	РЦ	РЦ	–
Преимущества в энергопотреблении на станции с путевым развитием (по сравнению с МРЦ)	+	+	++ (так как нет РЦ)

## Выводы

Контроль отсутствия излома в рельсе и выдача защитного отказа в случае его появления – вот главная причина, почему до сих пор рельсовые цепи остаются на линиях как метрополитенов, так и железных дорог нашей страны. Но очевидно, что будущее систем интервального регулирования за динамическим определением параметров состава в режиме реального времени.

## Библиографический список

1. Метрополитен в цифрах. – URL : <http://mosmetro.ru/about/general/numeral>.
2. Ефанов Д. В. Организация технического диагностирования и мониторинга систем управления движением поездов на линиях Петербургского метрополитена / Д. В. Ефанов // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 3. – С. 364–390.
3. Могильников Ю. В. Оценка надежности изолирующих стыков / Ю. В. Могильников, Р. З. Галинуров // 2-я междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Информационные технологии, телекоммуникации и системы управления» : сб. докл. – Екатеринбург : УрФУ, 2016. – С. 300–305.
4. Воронин В. А. Особенности кодирования при использовании подвижных блок-участков / В. А. Воронин, А. Г. Баранов. – URL : <http://rly.su/tu/content/особенности-кодирования-при-использовании-подвижных-блок-участков>.
5. Сапожников В. В. Микропроцессорная система электрической централизации МПЦ-МПК / В. В. Сапожников, А. Б. Никитин // Наука и транспорт. – 2009. – С. 18–21.
6. МПЦ-МПК микропроцессорная централизация стрелок и сигналов. – URL : <https://www.usurt.ru/science/razrabotki-uchyonykh-urgups/mpts-mpk-mikroprotsessornaya-tsentralizatsiya-strelok-i-signalov>.
7. Система «Движение». – URL : [http://www.niitm.spb.ru/vozmozhnosti\\_i\\_dostizheniya/realizovannye\\_proekty/sistema\\_dvizhenie](http://www.niitm.spb.ru/vozmozhnosti_i_dostizheniya/realizovannye_proekty/sistema_dvizhenie).
8. Somers J. Why New York Subway Lines Are Missing Countdown Clocks. – URL : <http://www.theatlantic.com/technology/archive/2015/11/why-dont-we-know-where-all-the-trains-are/415152>.

9. Гринберг М. Система Trainguard MT для метрополитенов России и ближнего зарубежья / М. Гринберг, И. Хоффманн, Д. Серов // Железные дороги мира. – 2012. – № 11.
10. Костроминов А. М. Контроль RFID-средств в системе бесконтактной привязки к пути подвижного состава метрополитена / А. М. Костроминов, Т. В. Крючкова, С. А. Рахманин и др. // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 3. – С. 348–363.
11. Никульчиков П. М. История, состояние и перспективы развития систем автоматического управления поездами метрополитена / П. М. Никульчиков // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 3. – С. 456–473.

## **Perspectives of subway railway automation and remote control systems development at the present stage**

Ilya E. Kudashev

*, „Automation and remote control on railways“ department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

Sergey V. Vlasenko

*, „Automation and remote control“ department Omsk state transport university*

In this paper the most actual problems of development and application of railway automation and remote control systems for Russian subways are considered. Authors analyze the most common systems used, highlight trends of automation and remote control systems development and observe domestic researches satisfying them.

**Keywords:** *dynamic block section; communication-based train control; radio channel.*

### **Сведения об авторах**

**КУДАШЕВ Илья Эдуардович** – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* ikudashev93@mail.ru

**ВЛАСЕНКО Сергей Валентинович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Омского государственного университета путей сообщения;  
*e-mail:* vlassenko2000@mail.ru

# ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ НА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЯХ

**В. А. Грошев**

Рассматриваются применяемые на высокоскоростных магистралях мира системы железнодорожной автоматики и телемеханики. Выявляются общие черты в принципах построения и эксплуатации.

**Ключевые слова:** железнодорожная автоматика и телемеханика; высокоскоростные магистрали; принципы построения; Синкансэн; ETCS/ERTMS; PTS; CTCS.

## Введение

В настоящее время в России на разных стадиях планирования находятся несколько проектов строительства высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ) [1, 2]. При этом эксплуатируются всего три скоростных участка: Бусловская – Санкт-Петербург, Санкт-Петербург – Москва, Москва – Нижний Новгород. Безопасность и регулирование движения на этих участках, как и в целом на железных дорогах, обеспечивают системы и технологии железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), разработанные для традиционных дорог.

Отсутствие в стране опыта массового внедрения и эксплуатации ВСМ означает отсутствие проверенных опытом проектных решений. Это, в свою очередь, может привести к проектным ошибкам, неэффективному расходованию средств, к отказу от проектов на стадии разработки, как отмечено в [3], или к необходимости затрачивать дополнительные ресурсы для устранения недостатков, выявленных в ходе эксплуатации.

На основании изложенного целесообразно провести исследования систем ЖАТ, применяемых на ВСМ мира, чтобы выявить принципы, особенности, общие черты и отличия в построении и технологии эксплуатации систем. В качестве базы для такого исследования интересен опыт магистрали «Синкансэн» (Япония) как старейшей ВСМ мира, европейских железных дорог – как полигона, на котором кроме технических вопросов решались задачи взаимодействия различных собственников, китайских и американских железнодорожных линий – как элементов наиболее развитых экономик мира.

## **Системы ЖАТ на ВСМ мира**

**Япония.** Высокоскоростное движение на японских железных дорогах было открыто в 1964 г. В настоящее время в состав сети ВСМ «Синкансэн» входят семь линий с собственными центрами управления. На ряде линий применяется система COSMOS (COmputerized Safety, Maintenance and Operation system of the Shinkansen) [4], объединяющая восемь подсистем:

- 1) управления движением – для управления напольным оборудованием, в том числе обеспечивающим безопасность движения;
- 2) планирования перевозок – для обработки графиков движения поездов по каждой линии;
- 3) управления подвижным составом – для автоматической обработки информации о состоянии подвижного состава и его работе, включая графики работы локомотивных и поездных бригад;
- 4) управления инфраструктурными объектами;
- 5) управления техническим обслуживанием подвижного состава – для организации технологического обслуживания, построения планов работы локомотивных депо;
- 6) управления энергоснабжением – для организации энергоснабжения требуемых потребителей;
- 7) централизованную систему охраны объектов, связи и мониторинга состояния окружающей среды – для обработки информации от систем, обеспечивающих физическую безопасность объектов, связи и мониторинга состояния окружающей среды;
- 8) управления работой депо – для управления деятельностью подразделений депо, напольным оборудованием и т. д.

**Европейские железные дороги.** Для регулирования движения на скоростных и высокоскоростных линиях Европейского союза массово внедряется система ETCS/ERTMS. Предпосылками для ее создания стали:

- необходимость в новых технологиях управления движением при повышении скоростей;
- потребность в унификации принципов сигнализации и обеспечения безопасности движения, применяемых в разных странах в процессе европейской интеграции.

Система дифференцируется по нескольким уровням в зависимости от состава оборудования и характеристик участка и подвижного состава. Подробное описание уровней и требования к техническому обеспечению и функциональным возможностям можно найти в [5, 6]. Один из вариантов реализации такой системы был внедрен на железнодорожной линии Рим – Неаполь, запущенной в 2005 г. Передача информации об условиях движения (выдача разрешений на движение, допустимое значение скорости и т. д.) организована на основе радиоканала GSM-R без использования светофорной сигнализации. Стрелками и рельсовыми цепями управляют посты микро-

процессорной централизации, объединенные между собой оптоволоконной линией связи (ВОЛС). Отдельная линия ВОЛС длиной 70 км соединяет посты с радиоблокцентрами (RBC), отвечающими за регулирование движения в своей зоне. Данные от RBC передаются на локомотив по радиоканалу через базовые станции связи.

Единый центр управления расположен в Риме и получает всю информацию о состоянии процесса перевозок, об энергоснабжении всех потребителей, о работе средств телекоммуникации, физической безопасности объектов инфраструктуры. Каждое рабочее место поездного дежурного оборудовано системой поддержки принятия решений.

*Северная Америка.* В настоящее время в Северной Америке железнодорожный транспорт в разы уступает по объемам пассажироперевозок авиасообщению, в связи с чем развитию ВСМ уделяется мало внимания. Тем не менее, с 2008 г. внедряются системы, относящиеся к классу Positive Train Control (PTS) [7].

В рамках класса разработаны различные типы систем. Например, ACSES применяется на участках со скоростью движения до 240 км/ч и внедрена на участке Северо-Восточного коридора между Бостоном и Вашингтоном. Техническое оснащение состоит из встроенных в путь транспондеров, дополняющих существующую систему АЛС и АБ.

В общем случае возможны два варианта построения систем класса. В первом используется стационарное напольное оборудование (такое как рельсовые цепи, транспондеры и пр.) для передачи данных бортовому оборудованию. Во втором информация на подвижные единицы постоянно передается по радиоканалу, что также позволяет организовать подвижные блок-участки.

*Китай.* Здесь в последние годы внедряется китайская система управления движением поездов (CTCS – chinese train control system). В ее основе лежит дифференциация оборудования по уровням в зависимости от характеристик участка и допустимых скоростей движения [8].

CTCS level 0 включает в себя существующие рельсовые цепи, светофорную сигнализацию и автоматическую локомотивную сигнализацию. Скорость движения на участке не превышает 120 км/ч.

CTCS level 1, в отличие от предыдущего уровня, дополняется балисами для работы АЛС. Скорость движения на участке возрастает до 120–160 км/ч. Появляется возможность демонтажа напольного оборудования.

CTCS level 2, в отличие от предыдущего уровня, оборудуется цифровыми рельсовыми цепями, передающими больший объем информации, чем аналоговые, сохраняются балисы и АЛС, полностью демонтируются напольные сигналы. Допустимая скорость движения на участке – свыше 160 км/ч.

CTCS level 3: в состав напольного оборудования входят только цифровые рельсовые цепи, балисы и АЛС. В управление также входит радиоканал, применяемый для передачи дополнительной информации на подвижные единицы

и построенный по протоколу GSM-R. В функции рельсовых цепей входит контроль свободности/занятости блок-участков и целостности подвижного состава.

CTCS level 4 – последний уровень системы. Вся информация, связанная с управлением движением на участке, передается по радиоканалу. Подвижные единицы позиционируются с помощью спутниковых навигационных систем и/или балис. Это позволяет разграничивать попутно следующие поезда виртуальных блок-участков, при этом целостность поезда контролируется бортовой аппаратурой. На этом уровне конфигурация участка управления может оперативно изменяться в зависимости от объемов движения.

## Выводы

На основании изложенного можно выделить следующие особенности построения систем управления движением на ВСМ: отказ от напольной светофорной сигнализации, разделение состава оборудования на уровни в зависимости от характеристик участка, применение радиоканала в управлении для передачи информации на подвижные единицы, внедрение комплексных систем управления участками, применение систем поддержки принятия решений, централизация и концентрация управления на участках.

Таким образом, можно выделить два вектора в развитии систем железнодорожной автоматики и телемеханики: модернизация технической реализации принципов управления и безопасности при повышении скоростей движения и интеграция управляющих и информационных систем, упрощающая обработку информации и принятие решений.

## Библиографический список

1. О стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года : распоряжение правительства РФ от 17.06.2008 г. № 877-р. – URL : [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_92060](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_92060) (дата обращения 18.10.2016).
2. Мишарин А. С. Создание интегрированной сети скоростного и высокоскоростного сообщения в Российской Федерации / А. С. Мишарин. – URL : <http://media.rspp.ru/document/1/e/3/e3a9d346bce7579c79d27f9a889c3204.pdf> (дата обращения 18.10.2016).
3. Романенко А. М. Создание интегрированной сети скоростного и высокоскоростного сообщения в Российской Федерации. – URL : <http://media.rspp.ru/document/1/e/7/e7f27f6a6eda1f3a274608d9c4a28628.pdf> (дата обращения 18.10.2016).
4. Sano H. COSMOS (computerized safety, maintenance and operation system of the Shinkansen) / H. Sano, J. Shirayama, Y. Fuchi, S. Okazaki // WIT Transactions on The Built Environment. Computers in Railways VI, vol. 37 / ed. C.A. Brebbia, J. Allan. – UK Southampton : WIT Press, 1998.

5. Системы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира : учеб. пособие ; под ред. Г. Тиг, С. Власенко. – М. : Интекст, 2012.
6. European Union Agency for Railways. Set of specifications. – URL : <http://www.era.europa.eu/Core-Activities/ERTMS/Pages/Set-of-specifications-1.aspx> (дата обращения 18.10.2016).
7. Hartong M. U. S. Regulatory Requirements for Positive Train Control Systems / M. Hartong, D. Wijesekera // Railway Safety, Reliability and Security : Technologies and Systems Engineering / ed. F. Flammini. – Hershey, PA: Inf. Sci. Ref., IGI Global, 2012. – 463 p.
8. Advanced Train Control Systems / ed. B. Ning. – UK Southampton : WIT Press, 2010.

## **Principles of train traffic control systems on high speed lines**

Vasiliy A. Groshev

*„Automation and remote control on railways“ department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

Systems which are applying at world's high-speed railways are considered. Their common features are revealed.

**Keywords:** railway automation and remote control; high-speed lines; principles of construction; Sincansen; ETCS/ERTMS; PTS; CTCS.

### **Сведения об авторе**

*ГРОШЕВ Василий Александрович* – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* was.groshev@yandex.ru

© Грошев В. А., 2017

# УПРОЩЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА МАЛОДЕЯТЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ МИРА

**А. Б. Никитин, И. В. Кушпиль**

В статье рассмотрены простейшие методы управления движением поездов, которые применяются на малодеятельных линиях Швеции, Германии и Японии. Приведено краткое описание каждого из них, представлены их преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** малодеятельная линия; малоинтенсивная линия; второстепенная линия; управление движением поездов; радиоуправление.

## Введение

В настоящее время эксплуатация малодеятельных линий (МДЛ) в России и в других странах обходится слишком дорого. Это обусловлено большим числом выполняемых вручную операций управления и потребностью в персонале для приема и отправления поездов на станциях. Затраты можно сократить за счет снижения потребности в персонале, уменьшения числа наземного оборудования и определения такого уровня технического оснащения МДЛ, который был бы достаточен с точки зрения безопасности движения поездов (БДП).

Проблема убыточности МДЛ актуальна во многих странах, для ее решения широко применяются современные технологии и системы спутникового позиционирования. В международном масштабе такие линии получили название low-density line (LDL). Нередко в источниках встречаются и другие названия: low-traffic line (LTL), secondary line, tertiary line, light traffic line, low active line, low capacity line, branch line, spur line.

Не существует единого для всех стран критерия определения малодеятельности линий. В разных странах величина плотности движения, по которой линии относят к малодеятельным, изменяется в широких пределах. Так, в ОАО «РЖД» линия считается малодеятельной, если по ней курсирует до 8 пар поездов в сутки, в Китае – до 15 пар поездов [1].

На европейской железнодорожной сети не менее 25 % линий относятся к категории малодеятельных, так как наиболее часто используется пороговое

значение 70 поездов в сутки (35 пар). Однако европейская классификация МДЛ основана не только на пропускной способности участка. Другими общепринятыми характеристиками МДЛ являются [2]:

- наличие одного или двух путей на перегонах;
- многочисленные станции обгона, максимум с тремя путями;
- ограниченная грузовая и маневровая работа;
- отсутствие средств АЛС;
- отсутствие средств непрерывного определения местоположения поездов;
- смешанное пассажирское и грузовое движение;
- большое число переездов в одном уровне;
- максимально допустимая скорость движения поездов 120 км/ч.

Кроме того, по-разному происходит становление и развитие систем управления движения поездов на МДЛ. Это связано, прежде всего, с уровнем научно-технического прогресса и экономической грамотности каждой страны. Пионерами в данном направлении по праву считаются Швеция, Германия и Япония.

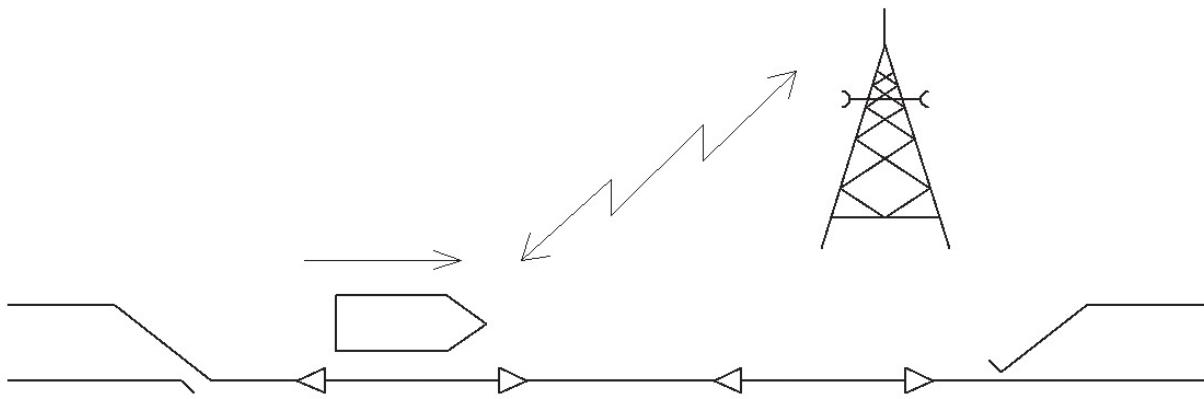
## 1. Опыт Швеции

С 1970-х годов Шведская Государственная дорога (SJ) начала политику более сознательного подхода к расходам на содержание железнодорожной инфраструктуры и эксплуатационным затратам. Шел поиск более экономичных решений для управления поездами. Этим решением стала система радиоблокировки (RBS), основанная на платформе Ebicab – флагманском продукте шведской фирмы Adtranz Signal. Впервые система RBS введена на SJ в 1978 г. на юге Стокгольма с одним центром управления в Норркёпинге, позже она применялась во многих странах мира. С момента ее успешной реализации систему несколько раз обновили и модифицировали, что в будущем обеспечило платформу для создания концепции ERTMS.

Система RBS получила широкое распространение на второстепенных и социально важных МДЛ. Ее конкурентоспособность обеспечивалась благодаря простой системной архитектуре и минимальному количеству напольного оборудования.

Информация о местоположении поезда передается на пост радиоблокировки по мере того, как поезд проходит над сигнальными балисами, установленными вдоль пути (рис. 1).

Маршрутами управляют с помощью пружинных или отжимных стрелок. Машинист по радиоканалу получает всю необходимую информацию (маршруты, работы на пути, скоростные ограничения) с поста радиоблокировки. Любая команда безопасности, проигнорированная машинистом, будет автоматически исполнена поездными системами.



**Рис. 1.** Принцип определения местоположения подвижной единицы

Основные преимущества системы RBS: нет необходимости прокладывать кабель вдоль пути, не требуются рельсовые цепи и светофоры. Все основное оборудование сконцентрировано в одной аппаратной или в центре управления. Единственным компонентом напольного оборудования является балиса. Расстояние между балисами зависит от требуемой пропускной способности участка и может варьироваться от сотен метров до 10 км. Если нужно повысить точность позиционирования поезда, устанавливаются дополнительные балисы [3].

## 2. Опыт Германии

Железные дороги Германии (DBAG) особое внимание уделяют вопросам упрощения организации движения поездов на МДЛ. На таких линиях перевозочный процесс регламентируется инструкцией DS 436, которая предусматривает наличие диспетчера, отвечающего за всю линию и обменивающегося с машинистом устными сообщениями, такими как запрос на движение, разрешение движения, извещение о прибытии и т. д.

В Германии допустим отказ от любых систем управления движением поездов на участке, по которому может следовать только один поезд (Einzugbetrieb). Такая организация нашла применение на тупиковых линиях и музейных железных дорогах (рис. 2).

Также допустим проезд подвижных единиц со скоростью, соответствующей видимости впереди лежащего участка пути («Fahrt auf Sicht» – «движение вслед»). Этот метод поездной работы связан со значительным ограничением



**Рис. 2.** Организация движения по принципу «Einzugbetrieb»

скорости участников движения и применим в основном на промышленном железнодорожном транспорте (рис. 3).

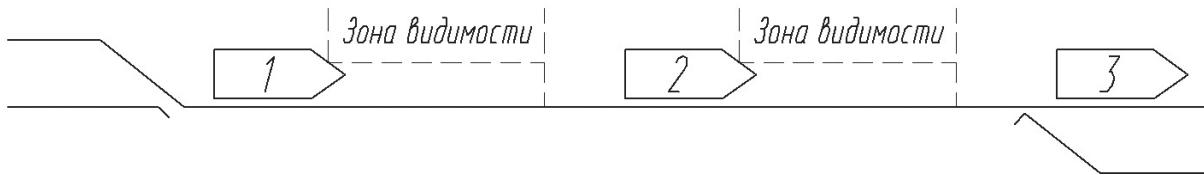


Рис. 3. Организация движения по принципу «Fahrt auf Sicht»

Известны случаи, когда убыточные участки переводят под действие Правил эксплуатации для трамвайного транспорта (BOStrab) что значительно упрощает требования к инфраструктуре линии, но требует административных и технических изменений. Кроме того, эти правила требуют ограничения скорости участников движения до 70 км/ч, а также усложняют грузоперевозки по линии [4].

Перечисленные методы управления не соответствуют требованиям БДП и не могут применяться в качестве основных, хотя все еще используются на некоторых МДЛ Германии.

На DBAG в 1990-х годах были сформированы три принципиально новых метода упрощенной организации движения: упрощенное диспетчерское управление (ДУ), диспетчерское радиоуправление (РУ) и осигнуализированное ДУ. Эти методы были специально разработаны для МДЛ.

#### *Упрощенное ДУ*

С технической точки зрения это наиболее простой метод организации движения на МДЛ. В зависимости от конкретных условий вся линия или ее отдельные участки подчинены станции местонахождения поездного диспетчера, откуда он управляет процессом движения. При этом методе управления организация движения основана на точном выполнении указаний диспетчера, исполнение которых не контролируется техническими средствами. Часть функций диспетчера возлагается на машиниста (перевод стрелок, отправление поезда, прием и передача извещений диспетчеру). При необходимости на станциях и остановочных пунктах может находиться обслуживающий персонал, уведомляющий о проследовании поездов. Максимальная скорость движения ограничивается 60 км/ч. Экономическая эффективность метода состоит в экономии на обслуживающем персонале и в отсутствии необходимости в устройствах путевой блокировки. Благодаря этому почти полностью отпадает потребность в капиталовложениях и расходах на содержание таких участков.

#### *Диспетчерское РУ*

В отличие от упрощенного ДУ, при диспетчерском РУ исключаются отнимающие много времени оперативные действия машиниста. Кроме того, БДП обеспечивается техническими устройствами автоматической локомотивной сигнализации с автостопом. Диспетчер связан по поездной радиосвязи

с машинистом и контролирует движение поездов на линии. После проверки допустимости маршрутов техническими средствами поезду выдается разрешение на движение через цифровой накопитель кратких сообщений по поездной радиосвязи. В обязанности машиниста входит передача извещения о свободности пути после проверки полносоставности поезда. Исключаются операции по переводу стрелок, поскольку стрелки выполнены отжимными, и предусмотрены электрические стрелочные указатели, используемые в качестве сигналов.

#### *Осигнализированное ДУ*

Как и в случаях упрощенного ДУ или диспетчерского РУ, каждый участок подчинен своему поездному диспетчеру. Безопасность поездного маршрута обеспечивается техническими средствами. Полносоставность поезда контролируется с помощью передатчика, сигнализирующего о проследовании хвоста поезда, или счетчика осей. Стрелки могут быть как отжимными, так и электроприводными с местным или центральным управлением. Общее управление движением поездов протекает при централизованной компьютерной обработке извещений о проследовании хвоста поезда. При этом способе также возможен сквозной пропуск поездов по станциям. Из всех упрощенных способов организации движения вариант осигнализированного ДУ обеспечивает наибольшую гибкость эксплуатации [5].

Наиболее перспективная система управления движения поездов на МДЛ, разработанная фирмой Alcatel SEL, основана на использовании спутниковой навигации для определения местоположения поезда. Данная система внедряется с минимальными затратами и в короткие сроки, предотвращает аварии, обусловленные неправильным восприятием устных команд и извещений при обмене информацией между машинистом и диспетчером. Это позволяет повысить БДП на линиях наиболее низких категорий и является альтернативой более мощным и дорогим системам управления. Руководство DBAG всерьез рассматривает возможность применения данного метода организации движения на МДЛ в качестве основного [6].

### **3. Опыт Японии**

Особый интерес представляют японские системы, так как в этой стране используется нестандартный подход к управлению поездов на МДЛ. С 1980 г. на второстепенных линиях Японии использовалась электронная система точно управляемой блокировки. Данное решение способствовало более эффективному управлению на МДЛ и значительно сокращало работы по их техническому обслуживанию. Особенностью данной системы является то, что машинист самостоятельно задает себе маршруты движения.

Когда поезд покидает станцию, машинист нажимает соответствующую кнопку на бортовом пульте. Для установки маршрута отправления идентифи-

катор (ID) бортового устройства поезда передается на станцию отправления по радиосвязи. Станция отправления устанавливает связь со станцией прибытия и происходит обмен данными. Далее проверяются условия безопасности и в случае их выполнения участок блокируется. Для поезда задается маршрут отправления, блокирующие устройства обеих станций запоминают ID данного поезда. По факту прибытия поезда на соседнюю станцию станционные устройства считывают его ID. Затем они сопоставляются. Если ID от прибывшего поезда совпадает с ранее полученным ID от станции отправления, размыкается участок пути (рис. 4).

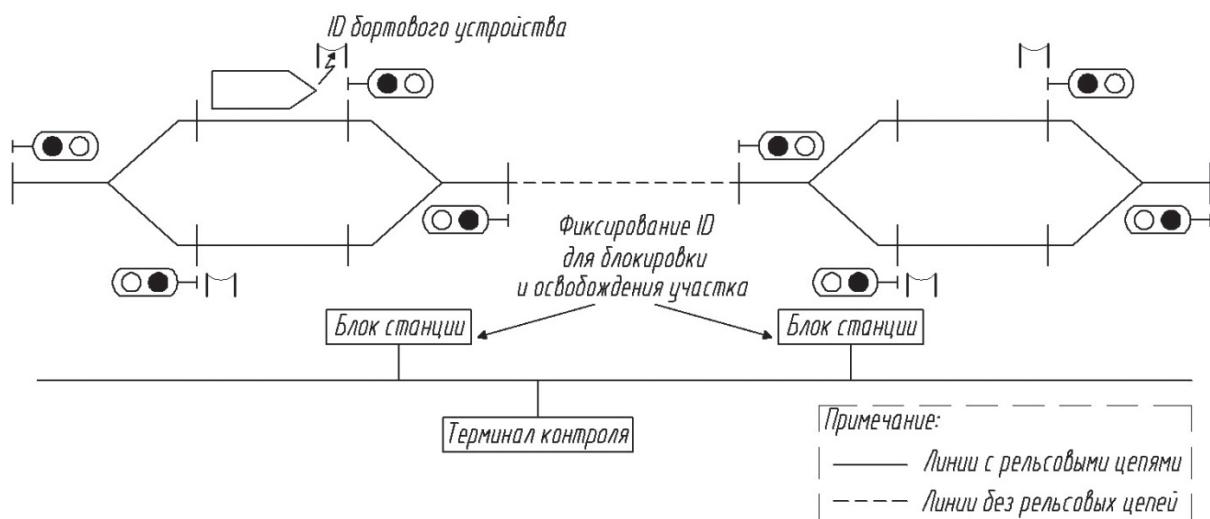


Рис. 4. Принцип действия точечно-управляемой блокировки

Электронная блокировка сделала возможным безопасное движение поездов при низких затратах. Однако в процессе эксплуатации возникали определенные проблемы.

На многих МДЛ поезда курсируют без проводника, что значительно увеличивает рабочую нагрузку на машиниста. Например, машинисты должны следить за безопасностью на платформе, контролировать работу автоматических дверей, собирать плату за проезд и к тому же задавать маршруты. Если бортовой блок поезда выходил из строя, возникали трудности по его замене в полевых условиях, что приводило к задержкам в движении. Другая проблема заключалась в отсутствии синхронизации действий машиниста с графиком движения. Машинист мог преждевременным нажатием кнопки запросить маршрут отправления, заблокировать участок и отправиться раньше времени. Это сбивало график движения и нарушило условия БДП. Существенным недостатком этой системы является отсутствие представления о местоположении поезда в любой момент времени. Поезда должны останавливаться на каждой станции.

По этим причинам была разработана и запущена новая система управления движением поездов Communication Based Train Control (CBTC), основан-

ная на радиочастотном диапазоне 2,4 ГГц, для которого не требуется государственная лицензия Японии. Такой подход позволил избежать необходимости полной замены всей старой аппаратуры МДЛ. Также были устраниены все недостатки старой системы управления.

В системе СВТС местоположение поезда определяется путем измерения расстояния между наземной и бортовой радиостанции на основе скорости распространения радиоволн. С помощью этой функции специальный блок контролирует направление движения поезда, его скорость и весь путь следования, пока поезд не прибудет на конечную станцию. Это совершенно новая концепция организации движения поездов, которая не имеет аналогов в мире [7].

## Выводы

В данной статье рассмотрены основные методы упрощенной организации движения поездов, используемые на МДЛ за рубежом. Данные методы позволяют значительно сократить расходы на содержание МДЛ и обеспечивают их рентабельность. Изучение опыта других стран в решении проблемы убыточности МДЛ позволит избежать многих ошибок при создании современных отечественных концепций упрощенной эксплуатации МДЛ.

Установлено, что не все рассмотренные методы можно применить на МДЛ сети ОАО «РЖД». Это связано прежде всего с разногласиями в нормативной железнодорожной документации и с приоритетами транспортного развития каждой страны.

Особое внимание следует уделить изучению методов упрощенной организации движения, используемых на МДЛ Германии и Японии. Эти методы обеспечивают наибольшую вариативность и гибкость эксплуатации МДЛ. Шведская концепция RBS является наименее адаптируемой к инфраструктуре ОАО «РЖД», что, в свою очередь, может привести к значительным, неоправданным капиталовложениям.

## Библиографический список

1. Jian W. A Train Control System for Low Density Line in China / W. Jian, J. Ch. Mingm, C. Baigen, L. Jiang // J. of the China railway society. – 2015. – Dec.
2. Jussila J. Aufrüstung der verkehrsarmen Strecken in Finnland / J. Jussila, J. Tuomi, M. Katajala // Signal + Draht. – 2004. – N 1+2. – S. 25–28.
3. Norris D. Cost effective signaling for secondary lines / D. Norris, S. Axelsson // Signal + Draht. – 1999. – N 4. – S. 599–603.
4. Власенко С. В. Эффективность железнодорожного транспорта и пути ее повышения модернизацией систем автоматики и телемеханики : моногр. / С. В. Власенко. – М. : Пиар-Пресс, 2010.

5. Rabe M. Техническое оснащение малодеятельных линий / M. Rabe // Железные дороги мира. – 1993. – № 7. – С. 72.
6. Rahn W.-H. Спутниковая навигация и управление движением поездов на малодеятельных линиях / W.-H. Rahn // Железные дороги мира. – 1999. – № 2. – С. 13.
7. Hiraguri Sh. Train Control System for Secondary Lines Using Radio Communications in Specific Area Quarterly Report of RTRI / Sh. Hiraguri, M. Fukuda, H. Fujita, Y. Ono. – 2012. – Vol. 53, no. 1.

## **Simplified train control methods for low-density lines of railways of the world**

Aleksander B. Nikitin, Igor' V. Kushpil'

*,,Automation and remote control on railways“ department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

The article describes the simplest train control methods that are used on low-density lines of Sweden, Germany and Japan. A brief contains a description of each of them. Authors described the advantages and disadvantages of each method.

**Keywords:** *low density line; low traffic line; secondary line; train control; radio control.*

### **Сведения об авторах**

**НИКИТИН Александр Борисович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail: nikitin@crtc.spb.ru*

**КУШПИЛЬ Игорь Васильевич** – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail: i\_kushpil@mail.ru*

© Никитин А.Б., Кушпиль И.В., 2017

# УЧЕТ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ НА СТАНЦИЯХ

И. А. Яицкий

Рассматриваются вопросы учета тепловыделения для микропроцессорной и релейной централизаций. Обосновано развитие этой темы, предложен способ решения данного вопроса.

**Ключевые слова:** тепловыделение; микропроцессорная централизация; релейная централизация; тепло; принцип Ландауэра; предотказное состояние.

## Введение

Проблема тепловыделения в системах электрической централизации (ЭЦ) – как релейных, так и микропроцессорных – весьма актуальна. Изменение температур до определенных пороговых значений сверху и снизу приводит к нарушениям в работе устройств ЭЦ, поэтому требуются системы охлаждения, устанавливаемые в помещениях, где функционирует сама аппаратная часть ЭЦ.

В релейных системах ЭЦ основным элементом является реле – прибор, рассчитанный на работу в широком диапазоне температур. Микропроцессорные же системы, где основные элементы имеют в своем составе множество полупроводниковых элементов, чувствительны к изменениям температуры [1].

Данный вопрос актуален по нескольким причинам. Одна из них – релейные помещения в метрополитене. Квадратный метр под землей стоит очень дорого, и порой для размещения оборудования автоматики и телемеханики может не хватать места, соответственно, для прочего оборудования его тем более не будет хватать, в частности для систем охлаждения воздуха (как описано выше). Это может привести к нарушениям работы систем, основанных на микропроцессорах.

Помочь может разработка методики для расчета тепловыделения [2]. При этом данный метод должен быть универсален как для микропроцессорных, так и для релейных систем.

## 1. Тепловыделение в микропроцессорных централизациях

Наиболее полные математические модели процессов теплообмена, протекающих в технических устройствах, учитывают наличие неравномер-

ных пространственно-временных полей у искомых величин – температур твердых тел и жидкостей, тепловых потоков, интенсивностей излучения и т. д. [3].

Для микропроцессорных систем есть проблема тепловыделения, точнее, расчета тепловыделения для данного вида систем.

В большинстве случаев берется грубая модель расчета, которая использовалась при испытании системы на этапе ее создания. Такие модели представляют собой системы дифференциальных уравнений в частных производных, интегральных и интерградифференциальных уравнениях [3], поэтому исследователи стараются не ограничиваться использованием только таких моделей.

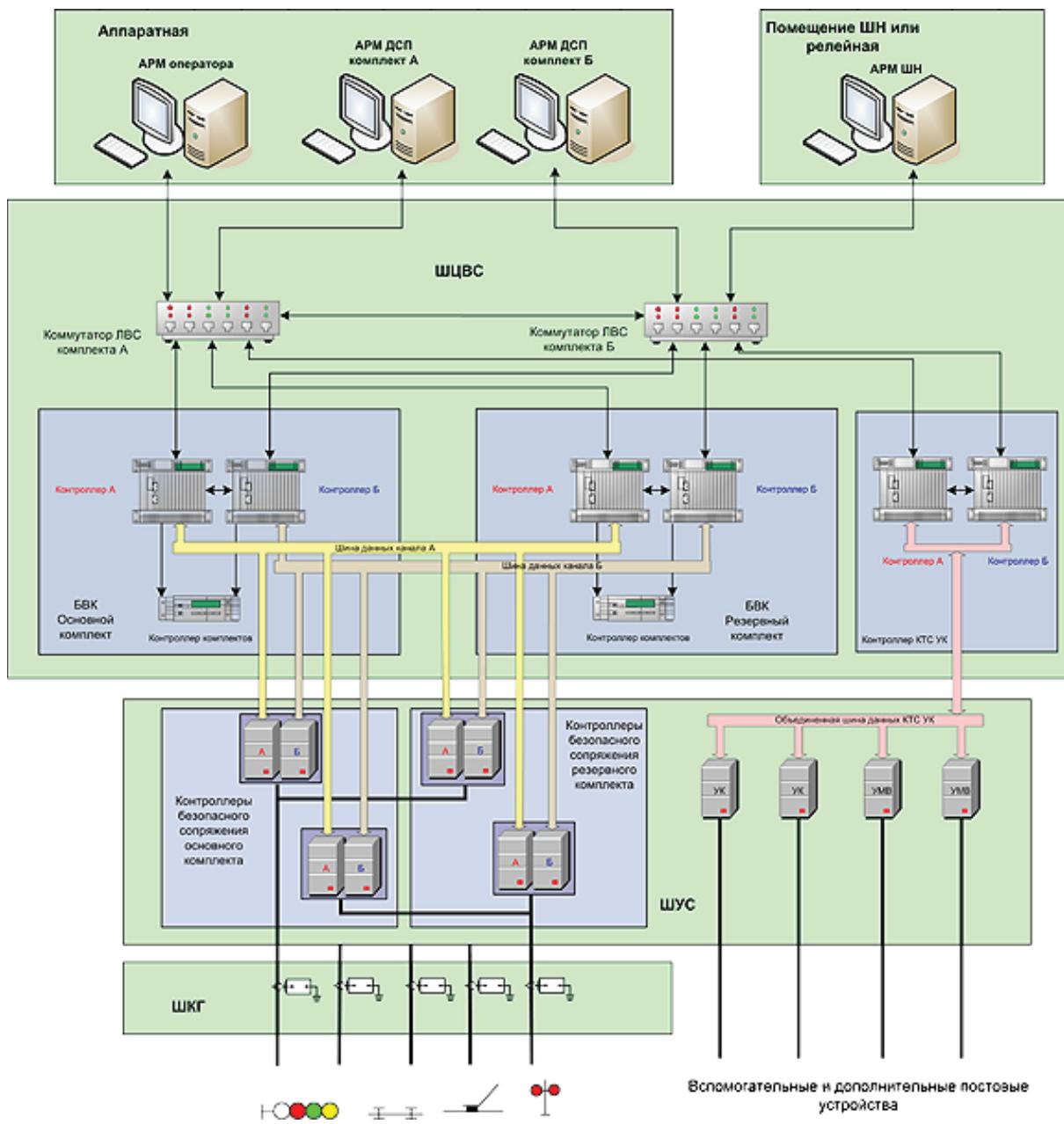
При тепловыделении микропроцессора/микроконтроллера больше 50 Вт сложно обойтись без активного охлаждения. Даже если охлаждение системы пассивно, нужна хорошая циркуляция воздуха. Можно было бы предложить установить активные системы охлаждения, которые применяются на стандартных персональных компьютерах, но эффективное охлаждение внутри тесного блока организовать сложно, плюс к этому невозможно установить активную систему охлаждения из-за недостаточности места.

Реальная практика показывает, что при расчете сплит-систем число блоков кондиционирования может быть недостаточным (может привести к отказу всей системы) или избыточным (требует больше капиталовложений, высока вероятность, что обслуживающий персонал не сможет находиться в помещении, где стоит данная система).

В современных микропроцессорных системах также имеет место принцип Р. Ландауэра (1961 г.) (IBM), гласящий, что в любой вычислительной системе независимо от ее физической реализации при потере 1 бита информации выделяется теплота в количестве, по крайней мере,  $W$  джоулей. При проведении необратимых вычислений обязательно выделяется тепло – не меньшее  $kT \ln 2$  [4].

Современные системы, основанные на микроэлектронных элементах и микропроцессорах, при перегреве стараются ограничить свою производительность, вследствие чего центральная вычислительная система может потерять данные об устройстве, которым управляет ее микроконтроллер, что, в свою очередь, приведет к отказу системы. Если требование не выполняется, система не может обеспечивать безопасность движения поездов, т. е. могут быть человеческие жертвы (наихудший вариант).

На рисунке представлена структура современной микропроцессорной системы ЭЦ [5]. Вся система управляет центральной вычислительной системой (ЦВС), которая задает основную логику для работы наземных устройств, те связаны с контроллерами, которые передают информацию на ЦВС через безопасный вычислительный комплект (БВК) о состоянии



устройств и об их текущем состоянии (например, какое показание в данный момент включено на светофоре).

При выходе ЦВС из строя вся система будет находиться в защитном состоянии. При этом ЦВС имеет резервный комплект (БВК и контроллеры объектов в том числе), но это не защитит систему от перегрева, потому что оба комплекта идентичны и рано или поздно система снова перегреется и перейдет в защитное состояние, поэтому в случае отказа, связанного с перегревом вычислительной системы, персонал не сможет контролировать, диагностировать, своевременно локализовывать и устранять предотказные состояния системы, что может привести к остановке (в лучшем случае) перевозочного процесса пассажиров, грузов.

## **2. Тепловыделение в релейных централизациях**

При использовании релейных централизаций вопрос тепловыделения стоит не столь остро ввиду технических особенностей основных элементов их реализации – реле, которые рассчитаны на работу в широком диапазоне температур.

По сравнению с микропроцессорными системами (у МПЦ диапазон рабочих температур, заявленных разработчиком, может составлять 0...+40 °C) у релейных систем более высокий диапазон рабочих температур (например, температура окружающего воздуха для штепсельных реле установлена в диапазоне -50...+60 °C [6]).

Релейная система занимает первую позицию, но, в отличие от микропроцессорных систем, релейным системам требуется больше оборудования для обслуживания напольных устройств, нежели системам с микропроцессорами.

Поскольку при разработке станций метрополитена, как описано выше, ключевую роль играет не только безопасность и стоимость системы, но и площадь, занимаемая оборудованием (с соблюдением правил его расстановки), микропроцессорные системы предпочтительнее релейных.

## **Выводы**

Вопрос учета тепловыделения в современных микропроцессорных и релейных централизациях стоит остро. Это направление надо развивать, поскольку система, основанная на микропроцессорных решениях, имеет ряд преимуществ перед релейной ЭЦ, следовательно, для развития данного типа систем нужно иметь универсальный способ, чтобы рассчитывать тепловыделение для установки микропроцессорной централизации. Также необходимо, чтобы данный способ был универсален не только для микропроцессорных, но и для релейных и релейно-процессорных систем, которые используются или проектируются в метрополитенах и на магистральном железнодорожном транспорте [7, 8].

Эту тему можно развивать в двух направлениях: рассмотреть причины потребления мощности КМОП-схем, к которым относятся процессоры, или возможность разработки технологий энергосбережения для применения в системах ЭЦ на микропроцессорной основе.

## **Библиографический список**

1. Сапожников Вал. В. Применение кодов с суммированием при синтезе систем железнодорожной автоматики и телемеханики на программируемых логических

- интегральных схемах / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – С. 84–107.
2. Яицкий И. А. Проблема учета тепловыделения от релейных и микропроцессорных систем электрических централизаций / И. А. Яицкий // Материалы юбилейной XV Санкт-Петербург. междунар. конф. «Региональная информатика – 2016». СПб., 26–28 окт. 2016 г. – СПб. : СПОИСУ, 2016. – С. 323.
  3. Дульнев Г. Н. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена / Г. Н. Дульнев, В. Г. Парфенов, А. В. Сигалов. – М. : Высш. шк., 1990. – 205 с.
  4. TDP – Thermal Design Power. – URL : <https://habrahabr.ru/company/intel/blog/148259>.
  5. Официальный сайт ЦКЖТ-ПГУПС. – URL : [http://www.crtc.ru/mpc\\_func.php](http://www.crtc.ru/mpc_func.php).
  6. Сороко В. И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики / В. И. Сороко, В. А. Милюков. – М. : Планета, 2000. – 960 с.
  7. Никитин А. Б. Транспортабельные модули электрической централизации как средство восстановления систем управления движением поездов / А. Б. Никитин, М. Г. Яшин, Р. А. Пантелеев // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1, № 2. – С. 127–142.
  8. Яшин М. Г. Восстановление регулирования движения поездов по участкам железнодорожных направлений в условиях военных действий / М. Г. Яшин, Р. А. Пантелеев // Транспорт Урала. – 2016. – № 2. – С. 99–104. DOI: 10.20291/1815-9400-2016-2-99-104.

## **Accounting of heat in station train traffic control systems**

Ilya A. Yaitsky

*,,Automation and remote control on railways“ department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

Problems of heat accounting for computer-based and relay-based interlocking are observed. Progress in this topic is grounded and solution of this problem is offered.

**Keywords:** *heat; computer-based interlocking; relay-based interlocking; Landauer principle; pre-fault state.*

## **Сведения об авторе**

**ЯИЦКИЙ Илья Андреевич** – студент факультета «Автоматизация и интеллектуальные технологии» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* ilyayaitsky@gmail.com

© Яицкий И. А., 2017

# ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО БЕСПЕРЕБОЙНОМУ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЮ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

М. Г. Яшин

Предлагаются к рассмотрению варианты конфигурации технических средств для обеспечения бесперебойного энергоснабжения систем железнодорожной автоматики и телемеханики, размещенных в контейнерном блок-модуле для скорейшей доставки к месту применения. Приводится возможное техническое исполнение оборудования для достижения технического результата и устойчивого обеспечения электрической энергией железнодорожной автоматики, телемеханики и связи.

**Ключевые слова:** гарантированное энергоснабжение; контейнерный блок-модуль; универсальный восстановительный комплекс.

## Введение

При возникновении разрушений на железных дорогах общего пользования в результате боевых действий, техногенных аварий или стихийных бедствий возникает задача восстановить разрушенные устройства и системы железнодорожной автоматики и телемеханики, реализующие алгоритмы обеспечения безопасного движения поездов. Для ее решения предлагается использовать контейнерный блок-модуль универсального восстановительного комплекса автоматики и телемеханики (УВК-ШЧ-ТМ), описанный в [1]. Однако работа современных устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи невозможна без электрической энергии, с обеспечением которой в условиях неблагоприятных воздействий также возможны перебои. Устранить эту проблему можно, применив принципы, предложенные в разработке блок-модулей контейнерного типа [2]. Концепцию построения данных систем гарантированного энергоснабжения можно взять за основу при поиске решений задачи обеспечения гарантированного энергоснабжения систем регулирования движения поездов [1]. Использование данных принципов также будет соответствовать основным положениям построения модульных систем и требованиям к мобильности, что позволит своевременно доставлять созданные технические объекты к месту назначения. Однако мало их доставить: они также должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к устройствам энергоснабжения железнодорожной автоматики и телемеханики и работать в разной обстановке. Исходя из этого, в статье представлен один из вариантов

системы обеспечения гарантированного энергоснабжения устройств автоматики и телемеханики, размещенной в контейнерном блок-модуле.

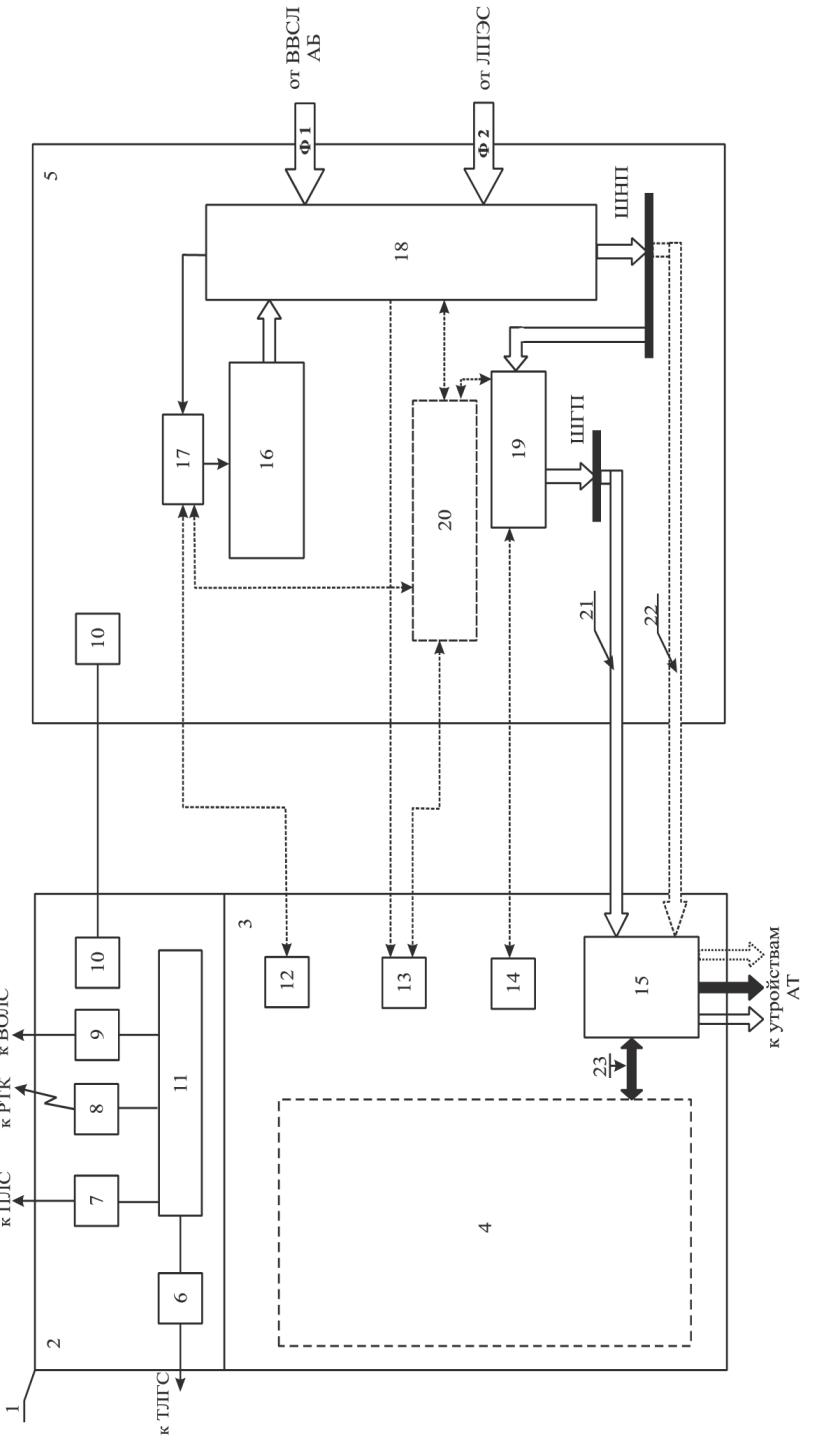
## **Состав контейнера для обеспечения энергоснабжения**

Развивая модульные системы, предназначенные для восстановления регулирования движения поездов, на кафедре восстановления автоматики и телемеханики на железных дорогах Военного института (железнодорожных войск и военных сообщений) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулёва разрабатывается УВК-ШЧ-ТМ [1]. Следующий шаг – обеспечение устойчивого надежного энергообеспечения предлагаемых технических решений по восстановлению регулирования движения поездов (РДП). Для этого предлагается контейнерный блок-модуль энергетический (КБМЭ), обеспечивающий гарантированное энергопитание железнодорожной автоматики, телемеханики и связи (АТС) (см. рисунок).

На наш взгляд, комплекс должен состоять из двух контейнеров, в контейнере УВК-ШЧ-ТМ должна размещаться релейно-процессорная аппаратура для РДП. Данный контейнер, в свою очередь, также может быть поделен на два отсека: связи и автоматики. Отсек связи должен содержать в себе телеграфный аппарат, подключаемый к телеграфной линии связи; аппаратуру уплотнения и разуплотнения проводной связи, подключаемую к проводной линии связи; радиостанцию, которая организует радиотелемеханический канал; аппаратуру волоконно-оптической линии связи; телефонный аппарат и автоматический коммутатор. В составе УВК-ШЧ-ТМ выделяется отсек автоматики для размещения в нем аппаратуры систем РДП (блок 4), там же находится рабочее место дежурного по станции, устройство ввода-вывода для подключения и телеуправления устройствами автоматики. Подключение необходимо осуществлять через шины гарантированного питания (ШГП), негарантированного питания (ШНП) и телеуправления устройствами АТС. Для контроля за работой КБМЭ в отсеке 1 необходимо иметь выносную панель управления и мониторинга дизель-генераторной установки, выносную панель управления и мониторинга устройств бесперебойного питания.

В качестве прототипа КБМЭ следует принять известный энергетический блок-модуль, включающий размещенный в контейнере дизель-генератор, щит управления, нагреватель, устройство вентиляции в виде поворотных решеток жалюзи, открывающихся при пуске и закрывающихся при остановке дизель-генератора. Решетками манипулируют с помощью привода. С запуском дизель-генератора электропитание поступает к потребителям через шину электропитания [3]. Щит управления представляет собой релейно-контактное устройство, которое подает электропитание к нагревателю и к приводу устройства вентиляции.

Его недостаток – возможные перебои, например в связи с неисправностями в дизель-генераторе; кроме того, любое устройство, обеспечивающее



Вариант обеспечения устойчивого энергоснабжения:

- 1 – УВК-ШЧ-ТМ; 2 – отсек связи; 3 – телеграфный аппарат; 4 – аппаратура ЭЦ; 5 – контейнерный блок-модуль энергетический;
- 6 – телеграфно-оптической линии связи; 7 – отсек связи; 8 – радиостанция; 9 – аппаратура волоконно-оптической линии связи; 10 – телефонный аппарат; 11 – выносная панель управления и мониторинга дизель-генераторной установки (ДГУ); 12 – выносная панель управления и мониторинга устройства бесперебойного питания; 13 – персональный компьютер (ДПУ); 14 – выносная панель управления ДГУ; 15 – устройство бесперебойного питания; 16 – ДГУ; 17 – пульт управления ДГУ; 18 – шкаф переключения питания; 19 – устройство бесперебойного питания; 20 – концентратор; 21 – шина гарантированного питания; 22 – шина телепрограммирования; 23 – шина негарантированного питания; АБ – высоковольтно-сигнальная линия автоблокировки; ВОЛС – радиотелемеханический канал; ВОЛС – проводная линия связи; РГК – высоковольтно-оптическая линия связи; ТЛГС – телеграфная линия связи; ПЛС – программируемый логический контроллер; АТ – устройства автоматики;

электропитание потребителей, должно периодически останавливаться для технического обслуживания [4].

Эти недостатки недопустимы при электропитании ответственных потребителей, в частности, средств железнодорожной автоматики и телемеханики, используемых при восстановлении РДП. Кроме того, в прототипе вентиляционное устройство включается и выключается не в прямой зависимости от температуры воздуха в контейнере, а при запуске и остановке дизель-генератора, что значительно сужает возможности регулирования этой температуры, зависящей не только от работы дизель-генератора, но и в большой степени – от температуры окружающего воздуха. Также в условиях высоких температур (выше 30 °C) вентиляция за счет поступления наружного воздуха оказывается недостаточной, особенно с учетом тепловыделений самого дизель-генератора. При этом температура воздуха в контейнере может превысить 50 °C, что является пределом для существующих дизель-генераторов при работе в ограниченном объеме, так как при этом собственная температура дизеля может превысить порог его аварийного отключения. Кроме того, при температуре выше 30 °C значительно снижается срок службы аккумуляторных батарей – необходимой части дизель-генераторного электроагрегата.

КБМЭ включает размещенные в контейнере дизель-генераторную установку (ДГУ), пульт управления (ПУ) ДГУ, нагреватель, устройство вентиляции с приводом (на схеме не показаны) и шину электропитания ответственных потребителей (второй категории) согласно [4, 5]. КБМЭ дополнительно должен содержать шкаф переключения питания (ШПП), устройство бесперебойного электропитания (УБП), блок датчиков температуры воздуха и ШГП электропитания особо ответственных потребителей (первой категории). Первый выход ШПП соединен с первым входом ДГУ. К первому входу ШПП необходимо подключать основную внешнюю электросеть (фидер 1) от высоковольтно-сигнальной линии автоблокировки, ко второму входу – резервную внешнюю электросеть (фидер 2) от линии продольного энергоснабжения, к третьему входу – выход ДГУ. Ко второму выходу ШПП подключается ШНП, через которую она соединяется с ИБП. В свою очередь, при таком подключении с выхода ИБП будет сниматься напряжение, подаваемое на ШГП потребителей первой категории.

В качестве ШПП следует использовать любое известное устройство для переключения источников электропитания, например, применяемую в комплексе средств железнодорожной автоматики и телемеханики панель ПВ2-ЭЦ [6].

В качестве УБП можно использовать, например, SU 2221320 С2 [7].

В качестве нагревателя можно использовать масляный электродиапазон (один или более) с терморегуляторами. Устройство вентиляции должно содержать один или более приточных и вытяжных электровентиляторов и встраиваемые в вентиляционные окна воздушные клапаны-жалюзи (на чертеже не показаны), управляемые электроприводом.

Для устойчивой работы КБМЭ дополнительно должен содержать кондиционер воздуха, который снабжается настраиваемым терморегулятором.

В таком исполнении КБМЭ будет работать следующим образом. При наличии напряжения в основной Ф1 и дополнительной Ф2 электросети ШПП подключает к ней пульт управления ДГУ, ШНП и ШГП. Наличие напряжения во внешней сети и на ПУ ДГУ является сигналом, запрещающим запуск ДГУ. Шина является ШГП, к ней подключено УБП, потребители второй категории посредством ШПП подключены как к внешней сети, так и к ДГУ. ШПП обеспечит:

- подачу электропитания к нагревателю и кондиционеру;
- управление электропитанием привода устройства вентиляции по сигналам датчиков температуры воздуха, установленных внутри контейнера. Диапазон требуемой температуры задается установками датчиков температуры (+15...+25 °C).

Напряжение с выхода УБП поступает на ШГП, к которой подключены потребители первой категории, одновременно подзаряжаются аккумуляторные батареи устройства.

При исчезновении или выходе параметров напряжения основной внешней электросети Ф1 ШПП отключает электросеть и подключает резервную внешнюю электросеть Ф2.

В отсутствие напряжения как в основной, так в резервной электросетях Ф1 и Ф2 автоматически запускается ДГУ. Сигналом для запуска ДГУ является отсутствие напряжения внешней сети на ПУ ДГУ. После запуска и выхода на номинальный режим работы ДГУ ШПП подключает шину на электропитание от ДГУ.

При восстановлении напряжения электросети Ф1 или Ф2 электропитание переключается на исправную электросеть, а ДГУ останавливается.

Непрерывность электропитания потребителей первой категории во время переключений источников электропитания (внешних электросетей Ф1, Ф2 и ДГУ) обеспечит УБП. В этом случае потребители второй категории будут обесточены.

При реализации предлагаемого варианта КБМЭ можно использовать готовые типовые элементы, материалы и заводское оборудование. Это свидетельствует о соответствии предлагаемого технического решения критерию «промышленная применимость».

## **Выводы**

Предлагаемый вариант энергетического контейнера блок-модуля может быть составной частью мобильного комплекса УВК-ШЧ-ТМ или использоваться как самостоятельное энергообеспечивающее техническое решение, особенно при его использовании в качестве источника энергии технических

систем, предназначенных для экстренного восстановления регулирования движения поездов:

- гарантированно обеспечивается бесперебойное электропитание ответственных потребителей электроэнергии, не допускающих перерыва в электропитании (потребителей первой категории);
- перерыв в электропитании ответственных потребителей (второй категории) кратковременный (до 5–9 с) – во время запуска дизель-генератора;
- повышается надежность электропитания при работе в сложных климатических условиях;
- снижаются трудозатраты на восстановление работоспособного состояния систем железнодорожной автоматики и телемеханики.

## Библиографический список

1. Никитин А. Б. Транспортабельные модули электрической централизации как средство восстановления систем управления движения поездов / А. Б. Никитин, М. Г. Яшин, Р. А. Пантелеев // Автоматика на транспорте. – 2015. – № 2 – С. 127–142.
2. Яшин М. Г. Система интервального регулирования движения поездов на железных дорогах фронта на основе счета осей подвижного состава : дис. ... канд. техн. наук / М. Г. Яшин. – СПб., 2008. – 128 с.
3. Цыркин М. И. Дизель-генераторные агрегаты резервного электропитания : моногр. / М. И. Цыркин, А. Я. Гольдинер. – СПб., 2004. – 242 с.
4. Правила устройства электроустановок. 7-е изд.
5. Сапожников Вл. В. Эксплуатационные основы автоматики и телемеханики : учеб. для вузов ж.-д. транспорта / Вл. В. Сапожников, И. М. Коурин, В. А. Кононов и др. ; под ред. проф. Вл. В. Сапожникова. – М. : Маршрут, 2006. – 247 с.
6. Коган Д. А. Аппаратура электропитания железнодорожной автоматики : учеб. для вузов / Д. А. Коган, М. М. Молдавский. – М. : Академкнига, 2003. – 289 с.
7. Устройство бесперебойного электропитания многоканальное стабилизирующее.– URL : [http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS\\_Ru#1480995877133](http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS_Ru#1480995877133).

## Proposals for uninterrupted power supply of automation and remote control devices

Mikhail G. Yashin

,,Restoration of automation, remote control and communication  
on railways“ department  
Military Institute (Of railway troops and military transport)  
of Military academy of logistics

Author offers some varieties of technical means configuration for uninterrupted power supply of railway automation and remote control systems placed in container block

module for the speedy delivery to the site of application. The possible technical solution of equipment for technical result achievement and sustainable provision of electric power supply of railway automation, remote control and communication systems is adduced.

**Keywords:** *guaranteed power supply; container block module; universal recovery complex.*

## Сведения об авторе

**ЯШИН Михаил Геннадьевич** – кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры восстановления автоматики, телемеханики и связи на железных дорогах Военного института (Железнодорожных войск и военных сообщений) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулёва;  
*e-mail:* maikl771@rambler.ru

© Яшин М. Г., 2017

# ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА В ЗАДАЧАХ ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВОЙСК

В. Е. Максаков

В статье рассмотрены способы планирования мер по техническому обслуживанию и ремонту специальной техники железнодорожных войск, приведены примеры применения нечетких запросов к реляционным моделям данных, проанализированы возможности их использования в рассмотренной задаче. Раскрыто понятие теории нечетких множеств, указаны виды разнородной информации, описаны понятия нечеткой и лингвистической переменных, проанализирована актуальность использования нечетких запросов к реляционным базам данных. Приведены примеры программных средств, реализующих задачи нечеткой логики.

**Ключевые слова:** техническое обслуживание и ремонт; планирование; нечеткие запросы; нечеткая логика.

## Введение

Решение задачи прогнозирования изменения важнейших показателей состояния эксплуатируемого объекта или процесса его ремонта позволяет полноценно анализировать наиболее вероятную производственную ситуацию и принимать соответствующие управленческие решения [1, 2].

Понятие нечеткого множества – это попытка математически formalизовать нечеткую информацию для построения математических моделей. В основе этого понятия лежит представление о том, что составляющие данное множество элементы могут обладать общим свойством в разной степени и, следовательно, принадлежать данному множеству в разной степени. При таком подходе высказывания типа «такой-то элемент принадлежит данному множеству» теряют смысл, поскольку необходимо указать, насколько сильно или с какой степенью конкретный элемент удовлетворяет свойствам данного множества [3, 4].

## 1. Прогнозирование состояния сложных технических объектов и процессов восстановления их работоспособности

При оценке технического состояния машин и агрегатов для укладки пути до последнего времени использовались методы, основанные на физико-

техническом и технико-экономическом подходах. Необходимость одновременно учитывать факторы [1, 5–7], имеющие разную природу, а также развивать методы на основе теории нечетких множеств [8, 9] привела к появлению подходов, учитывающих недостаточность информации. Быстрое развитие и проникновение во все сферы деятельности информационных технологий, использующих большие возможности компьютерной техники, породили информационно-технический подход к решению ряда задач. Информационные технологии расширили возможности прогнозирования, оптимизации и автоматизации процесса эксплуатации и ремонта специальной техники железнодорожных войск (СТ ЖДВ).

Отличительной чертой большинства объектов СТ является значительное число параметров, изменения которых сложно контролировать, из-за этого на оси времени обязательно наступает момент, когда разрывается функция объекта, являющаяся одновременно границей между двумя качественно несогласованными состояниями объекта – годным и негодным [1, 6]. Это усложняет процесс прогнозирования состояния данных объектов. Решить эту проблему необходимо в любой системе, предназначенной для прогнозирования состояния сложных технических объектов и процессов восстановления их работоспособности [1, 10].

Переход от принадлежности элементов заданному множеству к их исключению из этого множества происходит или может происходить постепенно, не резко. Это значение меняется от 0 (полное исключение) до 1 (полная принадлежность).

Для реализации сложных систем характерно одновременное наличие разнородной информации [1, 4, 11]: точечных замеров и значений параметров, допустимых интервалов их изменения, статистических законов распределения для отдельных величин, лингвистических критериев и ограничений, полученных от специалистов-экспертов, и т. д.

Одновременное наличие в сложной многоуровневой иерархической системе управления разных видов неопределенности делает необходимым использование для принятия решений теории нечетких множеств, которая позволяет адекватно учитывать имеющиеся виды неопределенности [12].

Соответственно, и вся информация о режимах функционирования подсистем, областях допустимости и эффективности, целевых функциях, предпочтительности одних режимов работы другим, о риске работы на каждом режиме для подсистем должна быть сведена к единой форме и представлена в виде функций принадлежности. Такой подход позволяет объединить всю неоднородную информацию: детерминированную, статистическую, лингвистическую и интервальную [4, 11].

Эффективность решения проблемы недостатка информации может быть существенно повышена путем объединения подхода, основанного на теории нечетких множеств, с методом экспертных оценок и использования специальных объектно-ориентированных математических моделей [11].

Актуально создание алгоритма, эффективно сочетающего в себе перечисленные подходы, что может существенно повысить качество и гибкость процесса прогнозирования [4, 11].

Техническое обслуживание (ТО) и ремонт – это комплекс операций по поддержанию работоспособности или исправности оборудования (изделий) в процессе технической эксплуатации. Специальная техника считается технически исправной, если она соответствует всем требованиям нормативно-технической (конструкторской) документации и может использоваться по прямому назначению с технико-эксплуатационными показателями. Подсистема технического обслуживания функционирует для поддержания безопасности работы, налаживания безотказного функционирования и эффективного использования оборудования. Эта подсистема включает задачи оценки контроля технического состояния объекта с проведением операций, необходимых для поддержания параметров технического состояния машин и агрегатов в допустимых пределах. Приводимые в примере данные заимствованы из [1, 13, 14].

## **2. Использование теории нечетких множеств с возможностью определения необходимого ремонта и его планирование**

Во всех этих задачах можно использовать теорию нечетких множеств. Как правило, численные характеристики надежности машин и агрегатов специальной техники, такие как наработка в моточасах и износ, являются точными, т. е. заместитель командира батальона по вооружению, отвечающий за техническое состояние техники, принимает решение о ремонте машин и агрегатов, если наработка силового агрегата составила 3840 моточасов. Использование же теории нечетких множеств позволяет определить необходимость ремонта заранее. Например, машины и агрегаты для укладки пути [14] с наработкой 3840 моточасов относятся к группе нуждающихся в ремонте со степенью 0,1; 5760 моточасов – 0,4; 7680 моточасов – 0,8; 11 760 моточасов – со степенью 1. Внедрение нечетких множеств в АСУ ТО и ремонтом позволяет автоматизировать прогнозирование необходимости отказов и ремонта [10].

Теорию нечетких множеств можно использовать и в запросах к реляционной базе данных. Часто возникает необходимость создать выборку агрегатов, не только нуждающихся в срочном ремонте, но и тех, кому ремонт будет необходим в ближайшее время.

Продемонстрируем ограниченность четких запросов на следующем примере. Пусть требуется получить сведения машин и агрегатов для укладки пути не новее 5 лет, у которых наработка эксплуатации составляет более 11 760 моточасов. Данный запрос можно записать на языке SQL следующим образом:

```
SELECT Name FROM MACHINES WHERE (SHIPS. AGE ≥ 5 AND  
MACHINES. MILEAGE > 11760).
```

Специальная техника – машины и агрегаты для укладки пути – со сроком эксплуатации 4,5 года с наработкой эксплуатации 11 520 моточасов не попадет в результат запроса, хотя его характеристики почти удовлетворяют требованиям запроса и даже возможно, что полностью попадут в него еще до следующего периода планирования ремонта [14]. Нечеткие запросы помогают справиться с неполнотой информации. Для описания нечетких множеств вводятся понятия нечеткой и лингвистической переменных [8, 12].

Нечеткая переменная описывается набором  $(N, X, A)$ , где  $N$  – название переменной;  $X$  – универсальное множество (область рассуждений);  $A$  – нечеткое множество на  $X$ .

Значениями лингвистической переменной могут быть нечеткие переменные, т. е. лингвистическая переменная находится на более высоком уровне, чем нечеткая переменная. Состав каждой лингвистической переменной:

- название;
- множество своих значений, которое также называется базовым терм-множеством  $T$  (элементы базового терм-множества представляют собой названия нечетких переменных);
- универсальное множество  $X$ ;
- синтаксическое правило  $G$ , по которому генерируются новые термы с применением слов естественного или формального языка;
- семантическое правило  $P$ , которое каждому значению лингвистической переменной ставит в соответствие нечеткое подмножество множества  $X$  [12].

Механизм работы нечетких запросов основан на теории нечетких множеств и ее понятиях, описанных выше. Рассмотрим наиболее распространенные способы генерации новых лингвистических термов на основе базового терм-множества. Это полезно для построения разнообразных семантических конструкций, которые усиливают или ослабляют высказывания, например, «очень высокая наработка», «приблизительно среднего возраста» и т. д. Для этого существуют лингвистические модификаторы (linguistic hedges), усиливающие или ослабляющие высказывание. К усиливающим относится модификатор «очень» (*VERY*), к ослабляющим – «более-или-менее» или «приблизительно», «почти» (*MORE-OR-LESS*), нечеткие множества которых описываются функциями принадлежности вида  $MF_{\text{VERY}}(X) = (MF(X))^2$ ;  $MF_{\text{MORE-OR-LESS}}(X) = \sqrt{MF(X)}$ .

Для примера формализуем нечеткое понятие «возраст машины агрегата». Это и будет названием соответствующей лингвистической переменной. Зададим для нее область определения возраста  $X = [0; 10]$  и три лингвистических терма: «малый», «средний», «большой». Осталось только построить функции принадлежности для каждого лингвистического терма.

Выберем трапецидальные функции принадлежности со следующими координатами:

$$\begin{aligned}\text{«Малый» (small)} &= [1, 2, 3, 4], \text{«средний» (mean)} = [4, 5, 6, 7], \\ \text{«большой» (big)} &= [7, 8, 9, 10].\end{aligned}$$

В заключение определим операцию нечеткого отрицания (NOT):

$$MF[\text{NOT}](X) = 1 - MF(X).$$

Приведенных выше сведений достаточно для построения и выполнения нечетких запросов.

Остановимся на примере. Для простоты предположим, что вся необходимая информация находится в одной таблице со следующими полями: *ID* – номер машины агрегата, *AGE* – возраст, *OPERATING TIME* – наработка:

ID	AGE	OPERATING TIME
1	2	2169
2	4	4089
3	6	6035
4	7	7475
5	9	12954

Лингвистическая переменная «возраст» (*AGE*) была задана ранее. Определим еще одну лингвистическую переменную для поля *OPERATING TIME* с областью определения  $X = [0; 13680]$  и термами «малый», «средний» и «большой» и аналогично построим для них функции принадлежности: «малый» (*low*) =  $[0, 0, 0, 5760]$ ; «средний» (*mid*) =  $[2280, 4800, 6720, 7440]$ ; «большой» (*large*) =  $[7680, 11760, 13680, 13680]$ .

К такой таблице можно делать нечеткие запросы. Например, получить список всех новых машин и агрегатов с большой наработкой эксплуатации, что на SQL-подобном синтаксисе запишется так:

```
SELECT*FROM MACHINES WHERE
(AGE = low AND OPERATING TIME = large).
```

Рассчитав для каждой записи агрегированное значение функции принадлежности *MF* (при помощи операции нечеткого «*И*»), получим результат нечеткого запроса:

ID	AGE	OPERATING TIME	MF
3	6	6035	0,86
4	7	7475	0,53

Записи 1, 2, 5 не попали в результат запроса, так как для них значение функции принадлежности равно нулю. Записей, точно удовлетворяющих поставленному запросу ( $MF = 1$ ), здесь не нашлось. Машина и агрегат со сроком эксплуатации 6 лет и с наработкой 6035 моточасов соответствует запросу с функцией принадлежности 0,86. На практике обычно вводят пороговое значение функции принадлежности, при превышении которого записи включаются в результат нечеткого запроса.

Аналогичный четкий запрос можно было бы сформулировать, например, так:

```
SELECT*FROM MACHINES WHERE  
(AGE ≤ 30 AND OPERATING TIME ≥ 11 760).
```

Его результат является пустым. Однако если мы немного расширим рамки возраста в запросе, рискуем упустить другие машины и агрегаты с чуть большим или меньшим возрастом, поэтому можно сказать, что нечеткие запросы позволяют расширить область поиска в соответствии с изначально заданными человеком ограничениями.

Используя нечеткие модификаторы, можно формировать и более сложные запросы:

```
SELECT*FROM MACHINES WHERE  
(AGE = «более-или-менее средний» AND OPERATING TIME = «средний»),
```

получим результат нечеткого запроса:

ID	AGE	OPERATING TIME	MF
5	9	12954	0,85

Недостатком нечетких запросов является относительная субъективность функций принадлежности.

В заключение следует обратить внимание на программные средства, позволяющие реализовать систему нечетких запросов к реляционным базам данных. В настоящее время активно формируется мировой рынок коммерческих программных продуктов для работы с нечеткой логикой. На нем представлено более 100 пакетов прикладных программ, которые в той или иной мере используют нечеткую логику. Лидерами в данной области являются несколько компаний-разработчиков программного обеспечения. Их инструментальные средства ориентированы на применение нечеткой логики в максимальном количестве областей и приложений. Это пакеты CubiCalc (фирма Hyper Logic), FuzzyTECH (Inform Software), FIDE (Ap-tronix), пакеты расширения к MATLAB: Fuzzy Logic Toolbox (поставляется с MATLAB) и FlexTool for MATLAB (компания Cynap Sys), а также пакет JFS (разработчик Ян Мортенсен) и др. [2, 12, 15].

Основным общим недостатком перечисленных программных средств является их довольно высокая стоимость [2, 15].

## **Выводы**

В статье рассмотрена задача планирования ТО и ремонта специальной техники ЖДВ, приведены примеры применения нечетких запросов к реляционным базам данных, проанализированы возможности их использования в поставленной задаче. Путем сравнительного противопоставления четких и нечетких запросов установлено, что для задачи планирования ТО и ремонта СТ ЖДВ применение нечетких запросов целесообразно в случаях, когда невозможно сгруппировать данные по четким характеристикам. Примеры, приведенные в статье, показывают, что даже численные значения могут оцениваться неоднозначно. Однако необходимо отметить и недостаток применения нечетких запросов: принадлежность выборки к искомой группе относительно субъективна. Эта субъективная оценка параметров закладывается программистом, поэтому уже с этапа разработки постановки задачи требуется усиленный контроль работы специалистом в области ТО и ремонта СТ ЖДВ.

## **Библиографический список**

1. Каракулов А. В. Ремонт средств технического вооружения железнодорожных и дорожных войск : учеб. / А. В. Каракулов. – Л. : ВАТТ, 1972. – 128 с.
2. Колкер А. Б. Обоснование выбора программного обеспечения для робототехники / А. Б. Колкер, Д. А. Ливенец, А. И. Кошелева. – URL : <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/Paper-2012-1-5.pdf>.
3. Заде Л. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений / Л. Заде // Математика сегодня. – М. : Знание, 1974. – С. 5–49.
4. Центр компетенций MathWorks. – URL : <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/1.php>.
5. Автоматика и программная инженерия. – 2012. – № 1 (1). – URL : [http://www.nstu.ru/static\\_files/1885/nstu\\_APE-1-2012.pdf](http://www.nstu.ru/static_files/1885/nstu_APE-1-2012.pdf).
6. Каракулов А. В. Методы синтеза и оценок эффективности системы ремонта и ремонтных органов воинского звена : дис. ... д-ра техн. наук / А. В. Каракулов. – Л. : ВАТТ, 1968. – 415 с.
7. Военно-промышленный курьер ВПК. – 2016. – № 37 (652). – URL : <http://vpk-news.ru>.
8. Вилков В. Б. Задачи материально-технического обеспечения в условиях нечетко заданных исходных данных : монограф. / В. Б. Вилков, И. Е. Молоков. – СПб. : ВАМТО, 2016. – 119 с.
9. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М. : Мир, 1976. – 165 с.

10. Куликовский. Е.И. Интеллектуальная поддержка экипажей авиационных комплексов : содержание, цели, задачи / Е. И. Куликовский // Вестн. академии военных наук. – 2014. – № 1 (46). – URL : [http://www.avnrf.ru/attachments/article/639/AVN-1\(46\)\\_001-184\\_print.pdf](http://www.avnrf.ru/attachments/article/639/AVN-1(46)_001-184_print.pdf).
11. Вилков В.Б. Методы экономико-математического моделирования : учеб.-методич. пособие для высш. проф. образования / В. Б. Вилков, И. Е. Молоков. – СПб. : ВАМТО, 2014. – 144 с.
12. Федулов А. Я. Методы и программные средства поддержки выбора решений на основе прямого и обратного нечеткого оценивания : дис. ... канд. техн. наук : А. Я. Федулов. – Смоленск : НИУ МЭИ, 2015. – 157 с.
13. Кузнецов Е. Техническая эксплуатация автомобилей : учеб. для вузов / Е. Кузнецов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Наука, 2004. – 535 с.
14. Нормы наработки до капитального ремонта, нормы наработки до списания, предельный срок службы, предельный срок хранения : отчет о НИР. Шифр «Нормы – СТТИ». – 2013. – 51 с.
15. Атанов С. К. Анализ программных средств построения адаптивных моделей с нечеткой логикой / С. К. Атанов. – URL : [enu.kz/repository/repository2013/2008-1.doc](http://enu.kz/repository/repository2013/2008-1.doc).

## **Use of fuzzy interference in the tasks of maintenance and repair of special railway troops technique planning**

Vasily E. Maksakov

*„Hardware and technique of the Railway troops“ department  
Military institute (Railway troops and soldiery reports)  
To the military academy of logistical support  
to the name of general of army Hrulyov*

The article discusses ways of maintenance and repair of special railway troops technique measures planning, contains examples of application of fuzzy queries to relation databases, and analyzes the possibility of their use in given task. The notion of fuzzy set theory is explained, types of heterogeneous information are given. Author describes notions of fuzzy and linguistic variables and analyzes the topicality of use of fuzzy queries to relation databases. Examples of software realized fuzzy logic tasks are also given.

**Keywords:** maintenance and repair; planning; fuzzy queries; fuzzy logic.

### **Сведения об авторе**

*МАКСАКОВ Василий Евгеньевич* – адъюнкт кафедры «Технического обеспечения и техники Железнодорожных войск» Военного института (ЖДВ и ВОСО) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулёва; e-mail: maksakov@yandex.ru

© Максаков В. Е., 2017

# *Стандартизация и сертификация*

УДК 004.05; 004.413.5; 519.816; 519.226.3

## **ПОЛУЧЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФОРМУЛЫ БАЙЕСА**

**Г. И. Кожомбердиева, Д. П. Бураков**

Рассматриваются характеристики качества программного обеспечения и модель процесса оценивания качества, рекомендуемые ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93 (ISO/IEC 9126). Предлагается использовать формулы Байеса для формирования интегральной оценки качества программного обеспечения на основе неточных измерений разнородных метрик качества и субъективных экспертных оценок.

**Ключевые слова:** качество программного обеспечения; метрики качества; методы оценки программного обеспечения; экспертное оценивание; аттестация программного обеспечения; формула Байеса; байесовский подход.

### **Введение**

В области разработки программного обеспечения (ПО) можно гарантировать потребителю высокое качество продукта двумя путями [1]:

- совершенствовать процессы производства ПО в соответствии с современными подходами (модели СММ/СММІ, стандарты ISO/IEC 90003: 2004 и ISO/IEC 15504) для достижения высоких уровней зрелости и/или возможностей предприятий-разработчиков;
- контролировать соответствие характеристик качества разработанной программной продукции требованиям (заказчика, ГОСТа) на всех этапах ее создания (проектирования, реализации, внедрения и эксплуатации).

Эти направления обеспечения качества ПО взаимно дополняют друг друга. Проблематике оценивания качества производственных процессов, согласно модели СММІ®, посвящена, например, статья [2]. В настоящей статье авторы отдают дань второму направлению обеспечения качества ПО – оценке качества программной продукции.

На данный момент предложено множество моделей оценки качества ПО, краткий обзор которых дается в [3]. Общим моментом во всех этих моделях

является попытка построить интегральный критерий оценки качества программного продукта через оценку набора характеристик качества (таких как надежность, эффективность, мобильность и т. п.) посредством измерения значений выбранных количественных признаков, называемых метриками, и их соотнесения с требуемыми (ожидаемыми) значениями.

Основной проблемой всех известных моделей является именно способ получения обоснованной интегральной оценки, поскольку измеряемые метрики разнородны. Для получения значений выбранных метрик используются разные способы: экспертное оценивание, непосредственное измерение, в том числе в процессе тестирования или аттестации программного изделия. Для непосредственного измерения значений характеристик ПО в рамках тестирования, аттестации и даже последующей эксплуатации могут применяться разные специализированные программные инструменты, такие как профилировщики и вспомогательные утилиты, фиксирующие степень использования системных ресурсов (см., например [4]).

Кроме этого, модели оценки качества не предлагают обоснованного способа агрегировать результаты частных измерений в итоговую интегральную оценку качества, отдавая это на откуп лицам, выполняющим оценку. Как правило, рекомендуются процедуры, сводящиеся к получению взвешенных средних, что дополнительно требует определить относительную важность показателей и привести значения разнородных метрик к единой шкале [5].

Ясно, что результаты единичных измерений метрик (тем более экспертные оценки) не обладают достаточной точностью, которая могла бы гарантировать высокую точность обобщенного показателя качества ПО. Для повышения надежности измерений приходится прибегать к их многократному повторению с последующим усреднением результатов (см., например [6]).

В связи с неопределенностью результатов оценки имеет смысл перейти к получению вероятностных оценок качества в виде апостериорного распределения вероятностей на множестве гипотез о достижении определенного уровня качества оцениваемого ПО. При этом необходимо использовать информацию обо всех измерениях и экспертных оценках, которые могут быть выражены, в частности, в виде субъективных вероятностей. Для получения таких оценок авторы предлагают использовать известную формулу Байеса.

## **1. Модели качества ПО и процесса оценивания качества по ISO 9126**

В данной статье авторы следуют определению качества ПО, данному в стандарте ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93 [7] (ISO/IEC 9126 [8–11]).

Качество программного обеспечения определяется как весь объем признаков и характеристик программной продукции, который относится к ее спо-

собности удовлетворять установленным или предполагаемым потребностям всех заинтересованных лиц (пользователя, непосредственно разработчика, руководителя организации-разработчика).

В стандарте ISO 9126 различаются понятия:

- внутреннего качества, связанного с характеристиками ПО как такового на каждой фазе его разработки, без учета поведения конечного продукта;
- внешнего качества, характеризующего ПО с точки зрения его поведения;
- качества ПО при использовании в различных контекстах, т. е. качества, воспринимаемого пользователями в конкретных сценариях работы ПО [7–11].

Стандарт ISO 9126 использует для внутреннего и внешнего качества трехуровневую модель. На первом уровне располагаются характеристики качества ПО, каждая из которых уточняется набором комплексных показателей (атрибутов), а каждый атрибут оценивается по совокупности метрик. Приведем определения характеристик и атрибутов качества по стандарту ISO 9126-1.

**Функциональность** – способность ПО в определенных условиях решать задачи, соответствующие установленным или предполагаемым потребностям пользователя. Определяет, что именно выполняет ПО, какие задачи решает. Оценивается следующими атрибутами: *функциональная пригодность, точность (вычислений), способность к взаимодействию (с нужным набором других систем), соответствие стандартам и нормативным актам, защищенность*.

**Надежность (reliability)** – способность ПО поддерживать определенный уровень качества функционирования (работоспособность) в заданных условиях в установленный период времени. Оценивается следующими атрибутами: *зрелость, устойчивость к отказам, способность к восстановлению, соответствие стандартам надежности*.

**Удобство использования (usability)** – способность ПО быть удобным при обучении и в использовании, а также привлекательным для пользователей. Оценивается следующими атрибутами: *понятность, удобство обучения, простота использования, привлекательность, соответствие стандартам практичности*.

**Эффективность/производительность (efficiency)** – соотношение между уровнем качества функционирования ПО и объемом используемых ресурсов при установленных условиях. Можно определить как отношение получаемых с помощью ПО результатов к затрачиваемым ресурсам. Оценивается следующими атрибутами: *временная эффективность, эффективность использования ресурсов, соответствие стандартам производительности*.

**Сопровождаемость (maintainability)** – удобство выполнения всех видов деятельности, связанных с сопровождением программ. Оценивается следующими атрибутами: *анализируемость, удобство внесения изменений,*

*устойчивость, тестируемость, соответствие стандартам удобства сопровождения.*

**Переносимость (portability)** – способность ПО сохранять работоспособность при переносе из одного окружения в другое с учетом организационных, аппаратных и программных аспектов окружения. Оценивается следующими атрибутами: *адаптируемость, удобство установки, способность к сосуществованию, взаимозаменяемость, соответствие стандартам переносимости*.

Для описания качества ПО при его использовании стандарт ISO 9126-4 предлагает другой, более узкий набор характеристик:

**Эффективность (effectiveness)** – способность ПО предоставлять пользователям возможность решать нужные задачи с необходимой точностью при использовании в заданном контексте;

**Продуктивность (productivity)** – способность ПО предоставлять пользователям определенные результаты в рамках ожидаемых затрат ресурсов;

**Безопасность (safety)** – способность ПО обеспечивать необходимо никий уровень риска нанесения ущерба жизни и здоровью людей, бизнесу, собственности или окружающей среде;

**Удовлетворение пользователей (satisfaction)** – способность ПО приносить удовлетворение пользователям при использовании в заданном контексте.

Для оценки каждого атрибута качества стандарт ISO 9126 определяет наборы метрик, например: *полнота реализации функций*, измеренная как процент реализованных функций по отношению к перечисленным в требованиях, используется для измерения функциональной пригодности; *корректность реализации функций*, оцененная через правильность их реализации по отношению к требованиям, используется для измерения функциональной пригодности; *наглядность и полнота документации*, оценивается экспертами и используется для оценки понятности.

Процесс оценивания качества в стандарте ISO 9126 состоит из трех последовательных стадий (рис. 1):

1) определение требований к качеству в терминах характеристик и атрибутов качества;

2) подготовка к оцениванию, включающая в себя:

2.1. Выбор используемых метрик качества;

2.2. Определение для каждой метрики уровней ранжирования: шкала измерений каждой метрики разделяется на диапазоны, соответствующие уровням удовлетворения поставленных требований: «отличный», «хороший», «средний», «низкий» (рис. 2).

В стандарте приведен пример деления шкалы на четыре части (см. рис. 2), ограниченные запланированным уровнем, установленным уровнем и уровнем худшего случая.

Установленный уровень определяется таким образом, чтобы оцениваемое ПО не было бы по данному атрибуту хуже уже существующего. Запла-

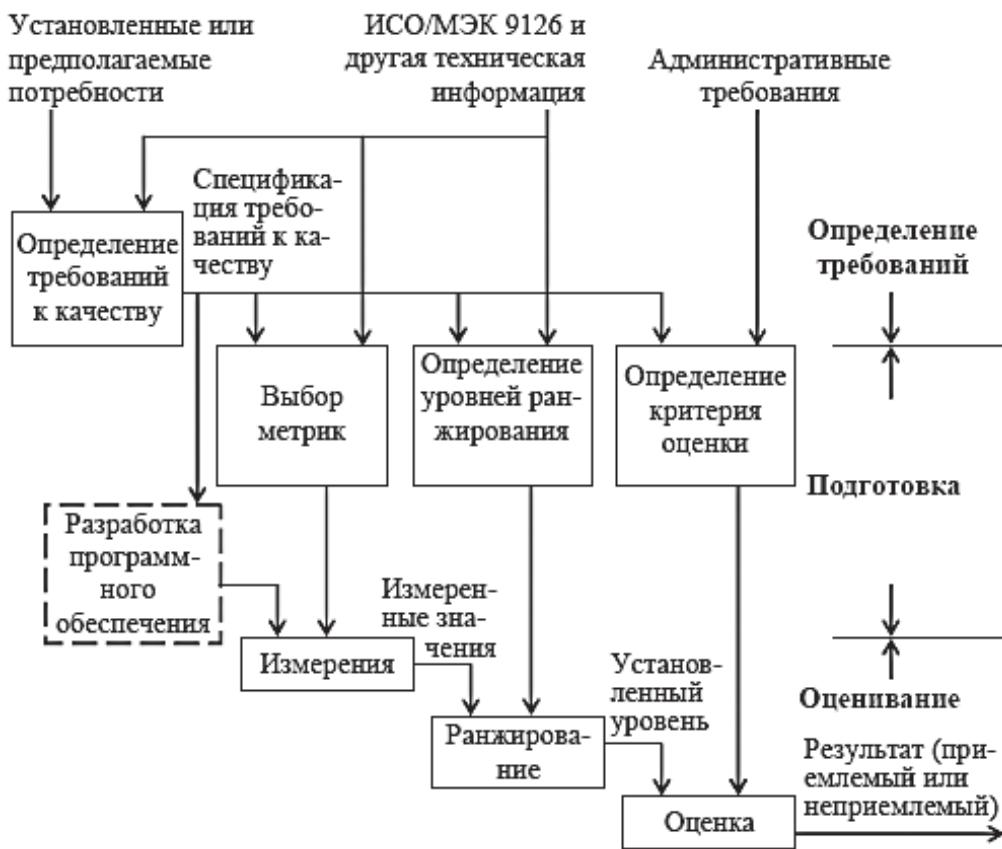


Рис. 1. Модель процесса оценивания качества ПО по ISO 9126

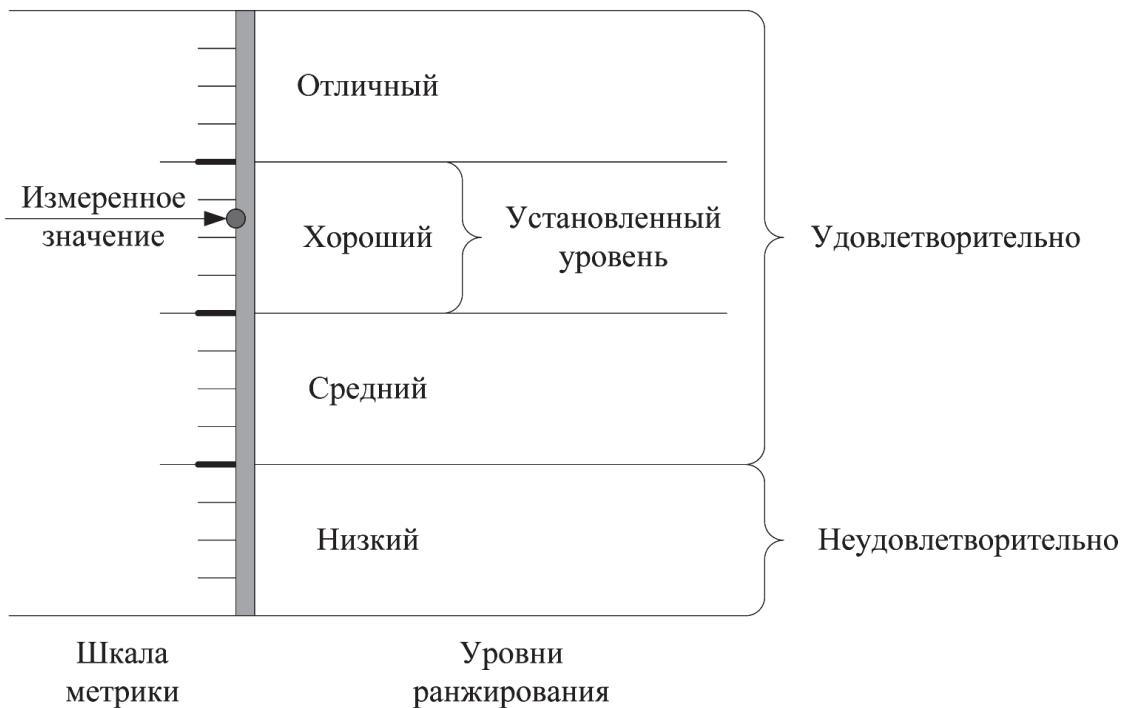


Рис. 2. Определение уровней ранжирования

нированный уровень устанавливает уровень качества, который считается достижимым при доступных разработчику ресурсах. Уровень худшего случая определяет минимально допустимый уровень качества, приемлемый для использования ПО.

На базе уровня худшего случая шкала метрики может быть разбита на два диапазона ранжирования: неудовлетворительно (если по результатам измерений не достигнут уровень худшего случая) и удовлетворительно (в случае его превышения);

2.3. Определение критерия оценки. Результаты оценивания разных характеристик должны быть подытожены. Для этого необходимо подготовить специальные процедуры (использование таблицы решений, определение среднего взвешенного и т. п.);

3) Оценивание, включающее в себя:

3.1. Измерение значений выбранных метрик для получения значения количественного признака;

3.2. Ранжирование измеренных значений;

3.3. Получение обобщенной (интегральной) оценки качества.

Далее заключение о качестве ПО анализируется с учетом факторов времени и стоимости. Результатом является решение руководства о приемке/отбраковке или выпуске/отказе от выпуска программной продукции.

## **2. Байесовский подход к оцениванию качества ПО**

Рекомендуемая в стандарте ISO 9126 модель трехэтапного процесса оценивания качества ПО может применяться в любой подходящей фазе жизненного цикла для каждого компонента программной продукции. Прямые рекомендации по выбору метода получения интегральной оценки качества, подытоживающей результаты оценивания различных характеристик, в стандарте отсутствуют. Имеется только замечание о необходимости подготовки специальных процедур.

С точки зрения авторов, в отсутствие прямых рекомендаций при выборе метода интегральной оценки качества следует обратить особое внимание, что высокая точность при оценивании в любом случае невозможна, да и не требуется в силу неопределенности исходных данных. Неопределенность обусловлена естественной неточностью измерений и субъективностью экспертиз оценок, и в этом контексте привлекательным выглядит применение в процедуре оценивания качества ПО формулы Байеса [12]. Как известно, байесовский подход давно и успешно используется в области принятия решений в условиях неопределенности [13, 14].

В данной статье предлагается использовать формулы Байеса для формирования интегральной оценки качества ПО на основе неточных измерений разнородных метрик качества и субъективных экспертиз оценок. Предлагаемый

мый способ применения формулы Байеса базируется на подходе к оцениванию качества управлеченческих решений в железнодорожной отрасли [15, 16]. Авторы искренне благодарны за ценное сотрудничество и уроки уважения к научной истине соавтору работ [15, 16], профессору А. Е. Красковскому, крупному специалисту в области проблем управления на железнодорожном транспорте, к сожалению, недавно безвременно ушедшему.

Рассмотрим предлагаемый способ получения интегральной оценки качества программного продукта.

1. В модели процесса оценивания качества, рекомендуемой стандартом ISO 9126, каждое измеренное значение метрики соотносится с одним из четырех уровней ранжирования. Будем использовать эти же уровни ранжирования применительно к итоговой интегральной оценке качества ПО. Обозначим через  $H_i$  гипотезу (*hypothesis*) вида «качество программного продукта соответствует уровню  $i$ », где  $i = 1, 4$  – порядковый номер уровня из набора {«отличный», «хороший», «средний», «низкий»}. Для оценивания качества необходимо выбрать набор характеристик и атрибутов качества (из перечня, предлагаемого стандартом ISO), а также наборы метрик для оценки каждого атрибута.

2. Перед началом оценивания лицо, принимающее решение, формирует априорное распределение вероятностей  $P(H_i)$  на множестве гипотез  $H_i$ , где  $i = 1, 4$ . Каждая вероятность  $P(H_i)$  рассматривается как степень уверенности этого лица в справедливости  $i$ -й гипотезы об уровне качества оцениваемого программного продукта до начала оценивания, т. е. до получения результатов измерения выбранных метрик. Если априорная информация о качестве отсутствует, то гипотезы  $H_i$  можно считать равновероятными:  $P(H_i) = 1/4$ . При наличии достаточного основания допускается использовать и неравномерное распределение априорных вероятностей на множестве гипотез. Например, крайние гипотезы  $H_1$  и  $H_4$  представляются менее вероятными, чем все остальные, поэтому их априорные вероятности могут иметь более низкие значения. Кроме того, в качестве априорных вероятностей  $P(H_i)$  могут быть использованы апостериорные байесовские вероятности  $P(H_i | A_1, A_2, \dots, A_n)$ , полученные на предыдущей итерации оценивания.

3. Условная вероятность  $P(A_j | H_i)$  понимается как степень соответствия полученных результатов измерений множества метрик, используемых для атрибута  $A_j$ ,  $j = 1, n$ , предположению об истинности данной гипотезы  $H_i$ . Такая вероятность в [14] называется правдоподобностью – *likelihood*. Значение этой условной вероятности определяется как отношение числа отметок о принадлежности результатов измерений метрик уровню ранжирования  $i$  к общему количеству используемых метрик. Назначенные уровни ранжирования показывают, какой (по результату измерения или по субъективному мнению эксперта) уровень качества достигнут по выбранной метрике. При этом естественно возникающая в процессе измерения значений метрик неопределенность отражается в назначении метрике двух смежных уровней качества.

4. Условная вероятность  $P(H_i | A_1, A_2, \dots, A_n)$  понимается как степень уверенности лица, производящего оценивание, в справедливости  $i$ -й гипотезы об уровне интегрального качества ПО после получения оценок по всем атрибутам  $A_j$ ,  $j = \overline{1, n}$ . В соответствии с теоремой Байеса, при условии независимости всех измерений она вычисляется как апостериорная байесовская вероятность:

$$P(H_i | A_1, \dots, A_n) = \frac{P(H_i) \cdot P(A_1 | H_i) \cdot P(A_2 | H_i) \cdot \dots \cdot P(A_n | H_i)}{\sum_{k=1}^4 P(H_k) \cdot P(A_1 | H_k) \cdot P(A_2 | H_k) \cdot \dots \cdot P(A_n | H_k)}. \quad (1)$$

5. Полученное по формуле (1) апостериорное распределение вероятностей  $P(H_i | A_1, A_2, \dots, A_n)$  на множестве гипотез  $H_i$ ,  $i = \overline{1, 4}$  является итоговой интегральной оценкой качества ПО и показывает, насколько правдоподобными по завершении процедуры оценивания стали гипотезы о том, что интегральное качество программного продукта достигло каждого из уровней.

### 3. Пример

Пусть для оценки качества выбрано три атрибута  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$ ; в свою очередь, для оценки уровня качества ПО для атрибута  $A_1$  используются три метрики  $m_{11}$ ,  $m_{12}$ ,  $m_{13}$ ; аналогично для атрибута  $A_2$  используются метрики  $m_{21}$  и  $m_{22}$ , а для атрибута  $A_3$  – метрики  $m_{31}$ ,  $m_{32}$ ,  $m_{33}$  и  $m_{34}$ .

В табл. 1 показаны результаты соотнесения измерений, полученных по каждой метрике, с установленными уровнями ранжирования и вычисления на их основе условных вероятностей  $P(A_j | H_i)$  по каждому атрибуту. Отметим, что для моделирования неопределенности, естественно возникающей в процессе измерения значений метрик, значения некоторых метрик соотнесены сразу с двумя смежными уровнями качества.

Вероятностные оценки используются для получения итогового распределения вероятностей на множестве гипотез об интегральном качестве ПО (табл. 2).

В данном примере по результатам измерений выбранных атрибутов и метрик можно сделать вывод, что качество программного продукта выше среднего уровня. При этом у лица, принимающего решение, нет оснований предпочесть гипотезу об отличном уровне качества гипотезе о том, что уровень качества хороший.

В отличие от методов усреднения, основанных на вычислениях взвешенных средних, рассмотренный способ получения интегральной оценки обладает дополнительным преимуществом: он позволяет обнаружить «перекосы» в оценках качества продукта по различным атрибутам. Например, если по каждому атрибуту все используемые метрики получили разные уровни

**Таблица 1.** Оценка качества по выбранным атрибутам и метрикам

Ранжирование метрик атрибута	Уровни качества	$H_1$ Отличный	$H_2$ Хороший	$H_3$ Средний	$H_4$ Низкий
	Атрибут $A_1$				
$m_{11}$	*	*			
$m_{12}$		*	*		
$m_{13}$					*
$P(A_1   H_i)$	1/3	2/3	1/3	1/3	
Атрибут $A_2$					
$m_{21}$	*				
$m_{22}$	*	*			
$P(A_2   H_i)$	1	1/2	0	0	
Атрибут $A_3$					
$m_{31}$		*	*		
$m_{32}$					*
$m_{33}$				*	*
$m_{34}$	*				
$P(A_3   H_i)$	1/4	1/4	1/2	1/2	

**Таблица 2.** Байесовская интегральная оценка качества программного продукта

Вероятности	Гипотезы об уровне качества	$H_1$ Отличный	$H_2$ Хороший	$H_3$ Средний	$H_4$ Низкий
Априорные	$P(H_i)$	1/4	1/4	1/4	1/4
Оценки соответствия гипотезам	$P(A_1   H_i)$	1/3	2/3	1/3	1/3
	$P(A_2   H_i)$	1	1/2	0	0
	$P(A_3   H_i)$	1/4	1/4	1/2	1/2
Апостериорные	$P(H_i   A_1, A_2, A_3)$	1/2	1/2	0	0

ранжирования, итоговое распределение условных вероятностей по данному атрибуту будет равномерным (или близким к равномерному), что приведет к совпадению априорного и апостериорного распределений на множестве гипотез. Данный случай сигнализирует, что измерения разных метрик каждого атрибута существенно противоречат друг другу, и результаты таких из-

мерений не несут достоверной информации, влияющей на итоговое распределение. Другим характерным случаем противоречий будет ситуация, когда по каждому уровню ранжирования найдется, по крайней мере, один атрибут, для которого условная вероятность отнесения качества к данному уровню равна нулю. В итоге полная вероятность в знаменателе формулы (1) примет значение 0, что также позволяет трактовать результаты измерений как существенно противоречивые и отказаться от вынесения обоснованного суждения об интегральном уровне качества ПО. Чтобы итоговая апостериорная вероятность истинности гипотезы о достижении ПО некоторого интегрального уровня качества была отлична от нуля, необходимо, чтобы были отличны от нуля вероятности достижения данного уровня ранжирования по каждому атрибуту, характеризующему ПО.

В случае использования взвешенных средних при наличии неравномерных оценок качества в силу вступает эффект компенсации [17], проявляющийся в том, что низкий уровень качества по одному атрибуту компенсируется (интенсивность такой компенсации как раз и регулируется весами) высоким уровнем качества, достигнутым по другому атрибуту. Наличие данного эффекта может в существенной мере исказить представление лица, принимающего решение, об интегральном уровне качества ПО.

## Выводы

Авторы с пониманием относятся к ироничному высказыванию признанного авторитета в области программной инженерии Р. Гласса: «О качестве мы говорим так: “Когда я его увижу, я пойму, что это оно”. Но на самом деле нет ни приемлемого определения качества программного продукта, ни согласия по поводу того, на ком лежит ответственность за это качество. И даже если мы найдем определение, которое всех устроит, нам еще придется придумать, как измерить достигнутый уровень качества для любого программного продукта» [18, с. 160].

Разделяя эту иронию и осознавая сложность задачи, авторы, тем не менее, хотят внести свой скромный вклад в дело ее решения и, исходя из того, что «сложные модели редко бывают полезными» [19, с. 231], предлагают в настоящей статье простой подход с использованием формулы Байеса для формирования интегральной оценки качества ПО на основе показателей (атрибутов) и метрик, предлагаемых в ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93 (ISO/IEC 9126).

Данный подход не накладывает никаких ограничений на количество, конкретный перечень, содержание показателей и точность измерения метрик, используемых при формировании байесовской оценки качества ПО. Полученные условные вероятности рассматриваются как оценки соответствия обобщенных результатов измерений и мнений экспертов гипотезам о достижении

программным продуктом того или иного уровня качества. В силу вероятностного характера таких оценок точность их представления несущественна. Важно, что итоговое распределение вероятностей на множество гипотез позволяет лицу, принимающему решение, обоснованно отдать предпочтение той или иной гипотезе о качестве ПО.

## Библиографический список

1. Кожомбердиева Г. И. Оценка качества программного обеспечения : учеб. пособие / Г. И. Кожомбердиева. – СПб. : ПГУПС, 2010. – 44 с.
2. Кожомбердиева Г. И. Об использовании аппарата теории принятия решений в задачах оценивания согласно модели CMMI® / Г. И. Кожомбердиева, М. И. Гарина, Д. П. Бураков // Программные продукты и системы. – 2013. – № 4. – С. 117–124.
3. Жарко Е. Ф. Сравнение моделей качества программного обеспечения : аналитический подход / Е. Ф. Жарко // Тр. XII всерос. совещания по проблемам управления ВСПУ-2014, Москва, ИПУ РАН, 16–19 июня 2014 г. – С. 4585–4594. – URL : <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/vspu2014.zip> (дата обращения 09.12.2016).
4. Intel® VTune™ Amplifier 2017. – URL : <https://software.intel.com/sites/default/files/managed/d7/ba/intel-vtune-amplifier-2017-product-brief.pdf> (дата обращения 11.12.2016).
5. Дроботун Е. Б. Оценка степени влияния антивирусных программных средств на качество функционирования информационно-вычислительных систем / Е. Б. Дроботун, Д. В. Козлов // Программные продукты и системы. – 2016. – № 4. – С. 129–134.
6. Картавенко М. Тест антивирусов на быстродействие / М. Картавенко. – 2012. – URL : [http://www.anti-malware.ru/antivirus\\_test\\_performance\\_2012](http://www.anti-malware.ru/antivirus_test_performance_2012) (дата обращения 16.05.2016).
7. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93. Информационная технология. Оценка программного продукта. Характеристики качества и руководство по их применению.
8. ISO/IEC 9126-1:2001. Software engineering – Software product quality – Part 1: Quality model.
9. ISO/IEC TR 9126-2:2003 Software engineering – Product quality – Part 2: External metrics.
10. ISO/IEC TR 9126-3:2003 Software engineering – Product quality – Part 3: Internal metrics.
11. ISO/IEC TR 9126-4:2004 Software engineering – Product quality – Part 4: Quality in use metrics.
12. Вентцель Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М. : Наука, 1988. – 480 с.
13. Райфа Г. Анализ решений (введение в проблему выбор в условиях неопределенности) / Г. Райфа ; пер с англ. – М. : Физматлит, 1977. – 408 с.
14. Моррис У. Т. Наука об управлении : байесовский подход / У. Т. Моррис ; пер. с англ. – М. : Мир, 1971. – 304 с.
15. Кожомбердиева Г. И. Байесовский подход к оценке качества управлеченческих решений / Г. И. Кожомбердиева, А. Е. Красковский // Интеллектуальные системы на транс-

- порте : материалы III междунар. науч.-практич. конф. «ИнтеллектТранс-2013», С.-Петербург, 3–5 апр. 2013 г.– СПб. : ПГУПС, 2013.– С. 384–391.
16. Кожомбердиева Г. И. Способ определения условных вероятностей при байесовском оценивании качества управлеченческих решений на железнодорожном транспорте / Г. И. Кожомбердиева, А. Е. Красковский // Интеллектуальные системы на транспорте : материалы IV междунар. науч.-практич. конф. «ИнтеллектТранс-2014», С.-Петербург, 3–4 апр. 2014 г.– СПб. : ПГУПС, 2014.– С. 412–418.
  17. Микони С. В. Теория принятия управлеченческих решений / С. В. Микони.– СПб. : Лань, 2015.– 448 с.
  18. Гласс Р. Факты и заблуждения профессионального программирования / Р. Гласс ; пер. с англ.– СПб. : Символ-Плюс, 2007.– 240 с.
  19. Арнольд В. И. О преподавании математики / В. И. Арнольд // Успехи математических наук.– 1998.– Т. 53, вып. 1 (319).– С. 229–234.

## Obtaining of integral evaluation of quality of software based on Bayes formula

Gul'nara I. Kozhomberdieva  
“Information Technology Systems” department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university

Dmitry P. Burakov  
“Mathematics and Modeling”  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university

In this paper characteristics of software quality and quality evaluation process model recommended by ISO/IEC 9126 are observed. Authors offer use of Bayes formula for the formation of integral software quality evaluation based on imprecise measurement of dissimilar metrics of quality and subjective expert assessments.

**Keywords:** software quality; metrics of quality; software quality evaluation methods; expert assessment; software validation; Bayes formula; Bayes approach.

## Сведения об авторах

*КОЖОМБЕРДИЕВА Гульнара Исмановна* – доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные и вычислительные системы» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* kg1-liizht@yandex.ru

*БУРАКОВ Дмитрий Петрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика и моделирование» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* burakovdmitry8@gmail.com

© Кожомбердиева Г. И., Бураков Д. П., 2017

# КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАНДАРТА ДЛЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОРОГ

**Е. О. Смирнова, Н. О. Смирнов**

Описывается влияние строительства и эксплуатации дорожного полотна на экологию. Рассматривается текущее положение нормативно-правовой базы Российской Федерации и мировой опыт в вопросе экологичного проектирования дорог. Указываются преимущества экологической сертификации объектов урбанизации. Кратко описывается концепция экологического стандарта по проектированию и эксплуатации дорожного полотна в Российской Федерации. Указана часть критериев раздела «Транспорт».

**Ключевые слова:** энергоэффективность; «зеленые» стандарты; устойчивое развитие; Год экологии в России; автотранспорт; BREEAM; LEED; GREEN ZOOM; Green Roads.

## Введение

Рост экономики страны ведет за собой и рост протяженности дорог. Так, к началу 1991 г. общая протяженность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием составляла 657 тыс. км, а к 2016 г. эта цифра увеличилась до 1369 тыс. км [1, 2]. Строительство и эксплуатация дорог существенно влияет на экологию: изменяется природный ландшафт, режим стока поверхностных и грунтовых вод, места обитания флоры и фауны, качественное состояние атмосферного воздуха, почвы и воды [3]. При выборе способа прокладки автодороги и ее конструкции необходимо обращать внимание на степень вмешательства в экологическую среду. Нормативно-правовая база Российской Федерации устанавливает требования к экологической безопасности при строительстве и эксплуатации дорог, но действующие нормы противоречат друг другу, носят больше рекомендательный и общий характер. Это приводит к произвольному толкованию норм и правил, к существенному ухудшению экологической обстановки в прилегающих к дорожному полотну районах [4]. Только 10% из более чем 50 тыс. км федеральных трасс могут обеспечить перевозку, соответствующую современным стандартам по скорости, безопасности и качеству [5].

Улучшение нормативно-правовой базы привело к появлению экологических стандартов проектирования зданий различного назначения, до-

рог в США. Экологические, или «зеленые», стандарты направлены на качественное улучшение объектов урбанизации, которые минимально разрушают экологическую среду. Соблюдение прописанных в стандартах норм и правил тщательно отслеживают компетентные лицензированные специалисты. По окончании строительства и проектирования объектам присуждается определенная категория и выдается сертификат согласно выбранному стандарту.

Подобная сертификация имеет ряд преимуществ [6]:

- конкретные нормы и правила проектирования;
- лицензированные сотрудники, оценивающие объект;
- более комфортные условия для пользователей объекта;
- более высокая конкурентоспособность проекта или решения как экологически чистого и соответствующего принципам устойчивого развития окружающей среды;
- улучшение имиджа компании как социально ответственной и экологически ориентированной;
- сокращение потребляемой объектом энергии;
- сокращение затрат на обслуживание объектов;
- гарантия, что при строительстве объекта применялись современные инновационные решения и технологии, которые минимизируют давление на окружающую среду и людей;
- гарантия защиты среды обитания человека, забота о будущих поколениях;
- сохранение невозобновляемых природных ресурсов;
- снижение уровня загрязнений воды, почвы и воздуха;
- общее повышение качества жизни.

## **1. Предпосылки к созданию стандарта проектирования и эксплуатации дорог**

США разработали «зеленый» стандарт, направленный на проектирование и эксплуатацию дорожного полотна – Green Roads. По данному сертификату спроектировано уже 37 автодорог. В свободном доступе нет данных по критериям и правилам оценки автодорог согласно данной системе сертификации, однако известно, что стандарт направлен на развитие экологической устойчивости Соединенных Штатов. Также в каждом штате разработан собственный стандарт проектирования и строительства экологически устойчивых дорожных полотен [7].

В связи с указом президента Российской Федерации от 05.01.2016 г. № 7 «О проведении в Российской Федерации Года экологии» [8] разработана концепция экологического стандарта проектирования и эксплуатации дорог в Российской Федерации. Она основывается на базе существующих «зеле-

ных» стандартов проектирования зданий мирового (BREEAM, LEED) и российского (GREEN ZOOM) уровней, а также с учетом нормативной базы РФ.

## 2. Краткое описание стандарта

Экологический стандарт направлен на создание комфортных и безопасных условий для передвижения транспортных средств и пешеходов с минимальным ущербом природе. Экологический стандарт проектирования и эксплуатации дорожного полотна, как и «зеленые» стандарты в строительстве зданий, имеет ряд принципов [9]:

- добровольность процедуры оценки (сертификации) на соответствие критериям «зеленых» стандартов;
- оценка (сертификация) проектов или объектов независимыми от заказчика экспертами-оценщиками, прошедшиими соответствующее обучение и работающими самостоятельно или в специализированных аккредитованных фирмах;
- присуждение объекту баллов (рейтингование) за соответствие тем или иным критериям, заложенным в систему;
- деление таких критериев на группы и приданье большего удельного веса той группе, которая более важна с точки зрения конкретных условий данной страны;
- применение математической формулы расчета итоговой суммы;
- научная обоснованность критериев;
- строгая система аккредитации фирм – органов сертификации объектов;
- наличие открытых детальных методических материалов и инструкций по применению критериев оценки;
- непрерывное развитие и совершенствование систем оценки с целью отражения изменений, происходящих в общественном, природном и технологическом пространствах;
- выдача по результатам сертификации соответствующего знака или документа, подтверждающего «зеленый» уровень объекта недвижимости.

Разделы, по которым оценивается дорожное полотно, схожи с критериями оценки зданий по системе BREEAM: менеджмент, здоровье и благополучие, энергия, транспорт, материалы, отходы, землепользование и экология, загрязнение окружающей среды, инновации [10]. Данные разделы имеют ряд критериев, которые могут перекликаться с критериями оценки зданий, однако они максимально адаптированы для использования дорожного полотна. Это можно увидеть на примере раздела «транспорт», который включает в себя определенные критерии, некоторые из них рассмотрены в таблице. Раздел «менеджмент» включает критерии, направленные на строительство полотна, которое соответствует утвержденному проекту. «Здоровье и благополучие»

### Критерии раздела «Транспорт»

Критерии	Пояснение
Наличие заправок для электромобилей и транспортных средств, работающих на биотопливе	Данная мера стимулирует население приобретать и использовать транспортные средства, которые оказывают менее пагубное влияние на окружающую среду
Отделенные ограждением полосы для велосипедов и прочих тихоходных малогабаритных транспортных средств	Данная мера позволяет обезопасить людей на тихоходных транспортных средствах от возможных ДТП с транспортными средствами повышенной опасности, что мотивирует население использовать велосипеды и экологичные персональные средства передвижения
Бесплатные парковки для велотранспорта и специальный паркинг для электромобилей	Для стимулирования пользователей дорог к использованию более экологичных средств передвижения
Возможность пользоваться велопрокатом	Для предотвращения возможных препятствий к передвижению по экологичной магистрали, способствует здоровому образу жизни
Пункты питания и отдыха, пункты технического обслуживания автотранспорта и медпункты	Необходимая мера для избегания негативных последствий, вызванных поломкой транспортных средств, травм и их последствий у участников движения, а также для восстановления водителей после длительной работы
Наличие выделенной полосы для движения маршрутных транспортных средств, а также для транспорта специальных служб	Позволит специальным службам и общественному транспорту без помех и временных потерь добираться до места назначения
Наличие выделенной полосы для различных видов транспортных средств в зависимости от типа дороги	Позволит минимизировать аварийность на дороге, сократит временные затраты на передвижение до пункта назначения

регламентируется критериями, направленными на максимально безопасное передвижение по дороге транспорта и пешеходов. Раздел «энергия» рекомендует использовать решения, направленные на энергоэффективность при строительстве и использовании полотна. Раздел «материалы» описывает критерии обеспечения долговечности и устойчивости к повреждениям дорожного полотна. Способы утилизации и транспортировки отходов на стадии строительства и эксплуатации дороги описаны в разделе «отходы». Решения по максимальному сохранению ландшафта, зеленых насаждений, пущ

тей миграции животных и другие раскрыты в разделе «землепользование и экология». Средства защиты окружающей среды от загрязнения шумом и светом, от выбросов отравляющих газов в атмосферу, защита воды и почвы от загрязнений представлены в разделе «загрязнение окружающей среды». В разделе «инновации» рассматриваются возможности создания инноваций, направленных на экологически устойчивое проектирование, строительство и эксплуатацию, а также применение современных технологий на всех стадиях строительства объекта.

## **Выводы**

Анализ нормативной документации по проектированию и эксплуатации дорог в России показал, что необходимо создать единый свод норм и правил, который ясно регламентирует решения по улучшению качества дорожного полотна и способствует сохранению экологии. На примере части раздела «транспорт» показано, каким критериям необходимо следовать для соблюдения экологичности и удобства одновременно. Это позволит сохранить природу без ущерба потребностям.

## **Библиографический список**

1. Предпосылки необходимости создания автомагистралей и скоростных автомобильных дорог в Российской Федерации. – URL: [https://www.russianhighways.ru/about/strategiya/khod-razrabotki/uralskiy-federalnyy-okrug/Spravochnuy\\_material\\_k\\_sessii\(UFO\).pdf](https://www.russianhighways.ru/about/strategiya/khod-razrabotki/uralskiy-federalnyy-okrug/Spravochnuy_material_k_sessii(UFO).pdf).
2. Автомобильные дороги России. – URL : [https://ru.wikipedia.org/wiki/Автомобильные\\_дороги\\_России](https://ru.wikipedia.org/wiki/Автомобильные_дороги_России).
3. Автомобильные дороги. Проблемы экологии при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог. Тематическая подборка. – URL : <http://www.complexdoc.ru/ntdtext/541544/12>.
4. Стандарты «позеленеют». – URL : <http://transportrussia.ru/avtomobilnye-dorogi/standarty-pozeleneyut.html>.
5. Минтранс : 90 % федеральных трасс в России не соответствуют стандартам. – URL : <https://ria.ru/society/20160707/1460401329.html>.
6. «Зеленая» сертификация. – URL : <http://www.greenstand.ru/watch/sertificats.html>.
7. What is Greenroads. – URL : <https://www.greenroads.org>.
8. Указ президента Российской Федерации от 05.01.2016 г. № 7 «О проведении в Российской Федерации Года экологии». – URL : <http://kremlin.ru/acts/bank/40400>.
9. Правила функционирования «зеленых» стандартов. – URL : <http://www.greenstand.ru/watch/stroy.html>.
10. Разделы стандарта BREEAM. – URL : <http://www.icsgroup.ru/green/ecostandards/breeam.php>.

# **Conceptual model of Russian ecological standard for design and operation of roads**

Ekaterina O. Smirnova

,,Architecture“ department of Building Institute

*Ural federal university named after the first President of Russia B. N. Yeltsin*

Nikolay O. Smirnov

,,Physical methods and quality control instruments“

*Physics and technology institute*

*Ural federal university named after the first President of Russia B. N. Yeltsin*

The paper is devoted to the description of influence of construction and exploitation of roadway on the ecology. The current state of Russian regulatory framework and international experience in the field of ecological roadway design is considered. Authors specify advantages of the ecological certification of urban objects. The concept of Russian ecological standard for design and operation of roadway is shortly described. Some criterions of “Transport” section are stated.

**Keywords:** energy efficiency; „green“ standards; sustainable development; Year of Ecology in Russia; motor transport; BREEAM; LEED; GREEN ZOOM; Green Roads.

## **Сведения об авторах**

*СМИРНОВА Екатерина Олеговна – магистр кафедры архитектуры строительного института Уральского федерального университета имени первого президента России Б. Н. Ельцина;*

*e-mail: catherina.smirnova.usaaa@gmail.com*

*СМИРНОВ Николай Олегович – студент кафедры физических методов и приборов контроля качества физико-технологического института Уральского федерального университета имени первого президента России Б. Н. Ельцина;*

*e-mail: nikolai\_sm1996@mail.ru*

© Смирнова Е. О., Смирнов Н. О., 2017

# Электротехника

УДК 621.311.314

## ПОГРЕШНОСТЬ ШИРОКОДИАПАЗОННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

Б.Х. Хушбоков

Показан способ расчета токовой и угловой погрешности широкодиапазонного трансформатора тока. Изучено влияние изменения температуры окружающей среды, частоты, коэффициента мощности нагрузки на погрешность широкодиапазонного трансформатора тока. Рассмотрено влияние внешних магнитных полей на погрешность широкодиапазонного трансформатора тока.

**Ключевые слова:** нелинейность основной кривой намагничивания; магнитный гистерезис; влияние внешних магнитных полей; токовая и угловая погрешность.

### Введение

На кафедре «Электроснабжение и микропроцессорное управление» ТашИИТа разработан новый широкодиапазонный трансформатор тока (ТТ) [1] (рис. 1).

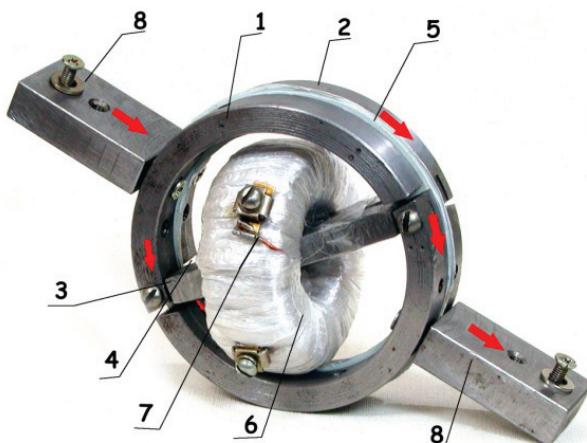


Рис. 1. Общий вид широкодиапазонного ТТ:

1, 2 – кольцевые элементы; 3, 4 – диаметральные перемычки; 5 – изоляция; 6 – ферромагнитный сердечник; 7 – измерительная обмотка; 8 – токосъемные выводы

Широкодиапазонный ТТ, как и любое другое измерительное устройство, характеризуется погрешностью: в реальном ТТ действительный первичный ток всегда отличается от его значения, полученного в результате преобразования.

Зависимость коэффициента преобразования от диапазона преобразуемых токов, нелинейность основной кривой намагничивания, магнитный гистерезис, влияние внешних магнитных полей и другие факторы так или иначе приводят к изменению коэффициента преобразования ТТ. Это определяет погрешность преобразования ТТ.

Наиболее характерна погрешность ТТ, определяющая их метрологические возможности. Она подразделяется на токовую и угловую [2].

Токовая погрешность определяется как алгебраическая разность действительного вторичного тока  $I_2$  и приведенного ко вторичной цепи первичного тока  $I_2 = \frac{I_1}{n_h}$ , выраженная в процентах приведенного ко вторичной цепи действительного первичного тока [3]:

$$\gamma_I = \frac{I_2 - I_1 / n_h}{I_1 / n_h} 100\%, \quad (1)$$

где  $n_h$  – номинальный коэффициент трансформации (преобразования).

Токовая погрешность, соответствующая номинальным параметрам, называется номинальной токовой погрешностью широкодиапазонного ТТ [4]:

$$\gamma_{I_H} = \frac{I_2 - I_{2H}}{I_{2H}} 100\% = \frac{\Delta U_{\mu 0}}{\Delta U_{\mu 1}} \sin(\psi + \alpha_1) 100\%, \quad (2)$$

где  $\Delta U_{\mu 1} = I'_{\mathcal{E}1} - I''_{\mathcal{E}1}$ ;  $\Delta U_{\mu 0} = \Delta U_{\mu 1} - U_{\mu 2}$  – соответственно, разностная МДС первичной цепи и МДС цепи намагничивания широкодиапазонного ТТ;  $\psi$  – угол потерь в сердечнике;  $\alpha_1$  – угол сдвига фаз между вторичной ЭДС и вторичным током;  $I'_{\mathcal{E}1}, I''_{\mathcal{E}1}$  – ток в кольцевых элементах первичной цепи широкодиапазонного ТТ.

Чтобы установить связь токовой погрешности с конструктивными и электромагнитными параметрами ТТ, воспользуемся некоторыми известными формулами. Так, для начального участка кривого намагничивания (при индукции  $B_m$  в сердечнике до 0,7 Тл) справедливо следующее выражение [5]:

$$\Delta U_{\mu 0} = \eta B_m^\beta l_\mu, \quad (3)$$

где  $\eta, \beta$  – соответственно, коэффициент и степень, т. е. показатели, зависящие от сорта электротехнической стали, из которой изготовлен сердечник ТТ;  $l_\mu$  – средняя длина силовых линий магнитного поля в сердечнике.

В свою очередь, максимальное значение магнитной индукции в сердечнике определяется выражением [2]

$$B_m = \frac{E_{\Theta 2}}{4,44 f w_2 S_\mu}, \quad (4)$$

где

$$E_{\Theta 2} = I_2 z_2 = K_I I_{2H} z_2, \quad (5)$$

ЭДС во вторичной цепи ТТ;  $S_\mu$  – поперечное сечение сердечника;  $K_I = \frac{\Delta I_1}{\Delta I_{1H}}$  – кратность разностного первичного тока в кольцевых элементах широкодиапазонного ТТ.

Подставляя (3), (4) и (5) в (2), после некоторых несложных преобразований получим

$$\gamma_I = \frac{33,8 l_\mu z_2^\beta I_{2H}^{2\beta} \sin(\psi + \alpha_1)}{K_I^{(1-\beta)} f^\beta \Delta U_{\mu 1H}^{(1+\beta)} S_\mu^\beta} 100\%. \quad (6)$$

Если учесть, что для сортов трансформаторной стали среднего качества  $\alpha = 0,82$  и  $\beta = 0,6$  [6, 7], то выражение (6) получит вид

$$\gamma_I = \frac{33,8 l_\mu z_2^{0,6} I_{2H}^{1,2} \sin(\psi + \alpha_1)}{K_I^{0,4} f^{0,6} \Delta U_{\mu 1H}^{1,6} S_\mu^{0,6}} 100\%. \quad (7)$$

Угловой погрешностью ТТ называется фазовый сдвиг между векторами первичного и вторичного токов при таком выборе их направлений, чтобы для идеального ТТ этот угол равнялся нулю, т. е. это угол между вектором первичного и перевернутым на  $180^\circ$  вектором вторичного тока [2]:

$$\delta_I = \frac{3440 \Delta U_{\mu 0}}{\Delta U_{\mu 1}} \cos(\psi + \alpha_1) = \frac{119332 l_\mu z_2^{0,6} I_{2H}^{1,2} \cos(\psi + \alpha_1)}{K_I^{0,4} f^{0,6} \Delta U_{\mu 1H}^{1,6} S_\mu^{0,6}} 100\%. \quad (8)$$

Угол потерь  $\psi$  также зависит от индукции  $B_m$ , зависимость  $\psi = f(B_m)$  обычно выражается формулой [7]

$$\psi = K_\psi B_m^\lambda + \psi_0, \quad (9)$$

где  $K_\psi$ ,  $\lambda$ ,  $\psi_0$  – коэффициенты, зависящие от марки стали. Для сортов электротехнической стали среднего качества при  $B_m \leq 0,7$  Тл,  $K_\psi = 22–27$ ,  $\lambda = 0,3–0,43$ ,  $\psi_0 = 30^\circ$  [6].

Подставив в формулу (9) выражения (3) и (4), получим

$$\Psi = K_\Psi \left( \frac{K_I I_{2H}^2 z_2}{4,44 f \Delta U_{\mu 1H}} \right)^\gamma + \Psi_0. \quad (10)$$

Угол  $\alpha$  определяется отношением суммарного индуктивного сопротивления и нагрузки к суммарному активному сопротивлению широкодиапазонного ТТ [8]:

$$\alpha_1 = \arctg \frac{X_{20} + Z_H \sin \phi}{R_{20} + Z_H \cos \phi}, \quad (11)$$

где  $R_{20}$ ,  $X_{20}$  – активная и индуктивная составляющие вторичной обмотки, соответственно.

Из (11) следует, что при изменении коэффициента мощности нагрузки ( $\cos \phi$ ) изменяется угол  $\alpha_1$ . Следует отметить, что активное и индуктивное сопротивления нагрузки определяются через  $\cos \phi$  нагрузки и полное сопротивление нагрузки  $Z_H$ .

Полное сопротивление вторичной цепи широкодиапазонного ТТ находится как [8]

$$Z_2 = \sqrt{(R_2 + Z_H \cos \phi)^2 + (X_2 + Z_H \sin \phi)^2}. \quad (12)$$

Формулы (7) и (8) позволяют произвести расчет токовой и угловой погрешностей и наглядно представить влияние на них конструктивных и электромагнитных параметров ТТ.

На рис. 2 приведена классификация источников погрешностей, соответствующая их наиболее полной совокупности [4]. При анализе источников погрешности, влияющих на коэффициент преобразования, следует их разделить для выявления класса точности, которому соответствует конкретная конструкция широкодиапазонного ТТ, на источники основной и дополнительной погрешностей. Как известно, источники основной погрешности выявляются при нормальных условиях эксплуатации измерительных преобразователей [6, 7, 9–12]. Для широкодиапазонных ТТ нормальными условиями работы являются нормальная температура окружающей среды, отсутствие внешних магнитных полей и ферромагнитных масс, центральное положение шины с преобразуемым током внутри окна магнитопровода ТТ. При отклонении условий эксплуатации от нормальных начинает проявляться влияние источников дополнительных погрешностей.

Источники основной и дополнительной погрешностей широкодиапазонных ТТ разделяются на источники систематических и случайных погрешностей. Источниками систематических погрешностей являются зависимость коэффициента преобразования от диапазона контролируемых токов, нелиней-



Рис. 2. Классификация источников погрешностей широкодиапазонного ТТ

нность характеристик магнитного сопротивления стали, неточность аппроксимации магнитной проводимости магнитной цепи и т. п. Эти погрешности можно либо исключить, либо свести к минимуму разными способами [12].

К источникам случайных погрешностей относятся те, между которыми отсутствуют взаимные связи. Применительно к широкодиапазонным ТТ источниками случайных погрешностей является, например, влияние внешних магнитных полей, внешних ферромагнитных масс и т. п. Разделение источников основных и дополнительных погрешностей широкодиапазонных ТТ на источники систематических и случайных погрешностей будет недостаточно четким, если заранее не уточнить технологические и эксплуатационные особенности широкодиапазонных ТТ. Например, влияние внешних полей магнитных на вторичный ток широкодиапазонных ТТ в общем случае относится к разряду источников случайных погрешностей. Так, если широкодиапазонный ТТ снабдить дополнительным измерительным преобразователем, реагирующим только на ток, созданный за счет ЭДС, наводимый внешними магнитными полями, и выходные величины обоих преобразователей фиксировать так, чтобы выходная величина дополнительного преобразователя компенсировала изменение выходной величины широкодиапазонного ТТ от влияния внешних магнитных полей, то последнее, согласно определению, следует отнести к источнику систематических погрешностей [12]. Граница между источниками случайных и систематических погрешностей зависит от уровня знаний всех особенностей работы ТТ, и чем выше этот уровень, тем больше погрешностей переходит из разряда случайных в разряд систематических. Источники основных погрешностей широкодиапазонных ТТ подразделяются

на методические, технологические и эксплуатационные, а дополнительных – на внутренние, внешние и режимные [13].

К методическим источникам погрешностей широкодиапазонных ТТ относятся погрешности, вызванные неполным учетом всех закономерностей работы ТТ при разработке их математических моделей [14].

Неточность и несовершенство технологии изготовления первичных и вторичных обмоток, сердечника и других деталей ТТ относятся к технологическим источникам погрешностей, сюда же относятся погрешности сборки и настройки ТТ [2, 11–13].

Эксплуатационные источники основных погрешностей проявляются в нормальных условиях эксплуатации и не могут быть полностью учтены при разработке математических моделей ТТ.

Внутренние источники дополнительных погрешностей ТТ – несинусоидальность токов, колебание частоты первичного тока и т. д.

К внешним источникам дополнительных погрешностей ТТ следует отнести непостоянство внешних условий эксплуатации, например, колебания температуры окружающей среды, внешние магнитные поля и ферромагнитные массы, смещение шины с током в окне сердечника ТТ с ее центрального положения и т. п.

К режимным источникам дополнительных погрешностей следует отнести погрешности, вызванные нестабильностью нагрузки ТТ и скоростью изменения первичного тока, т. е. влиянием динамического режима ТТ.

Таким образом, точность преобразования первичного тока ТТ определяется в основном случайными погрешностями [3, 11], появление которых вызвано дестабилизирующими факторами, причем функциональная связь последних с источниками погрешностей не может быть точно выявлена.

## **1. Влияние изменения температуры окружающей среды на погрешности широкодиапазонного ТТ**

Электрическая проводимость вторичной обмотки  $G_{\vartheta_{20}}$  изменяется при отклонении температуры окружающей среды от установленного значения. При понижении температуры омическое сопротивление вторичной обмотки уменьшается, а при повышении увеличивается. Изменение температуры окружающей среды приводит к незначительным изменениям электрических и магнитных свойств материала сердечника ТТ, поэтому ими можно пренебречь [6].

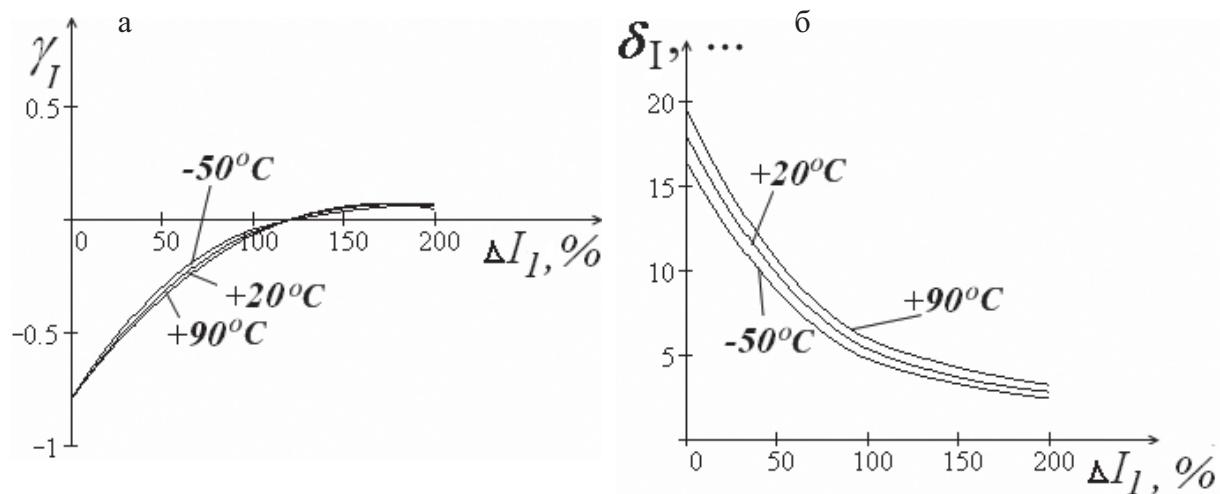
Таким образом, при изменении температуры погрешности широкодиапазонного ТТ могут изменяться в сторону как уменьшения, так и увеличения.

При расчете влияния температуры на погрешности широкодиапазонного ТТ учитывалось изменение сопротивления вторичной обмотки ТТ по формуле [6]

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha_T \Delta T),$$

где  $\rho$ ,  $\rho_0$  – соответственно, значения удельных сопротивлений провода вторичной обмотки при заданной температуре и при  $T = 20^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta T$  – разность температуры между заданной температурой и температурой  $20^{\circ}\text{C}$ ;  $\alpha_T$  – температурный коэффициент сопротивления материала провода вторичной обмотки (для меди  $\alpha_T = 0,0043$ ).

Расчет влияния температуры на погрешности разработанного широкодиапазонного ТТ проводился для температур  $-50^{\circ}\text{C}$ ;  $+20^{\circ}\text{C}$  и  $90^{\circ}\text{C}$  по формулам (7) и (8). Коэффициент мощности вторичной нагрузки принимался равным 0,8. Результаты расчетов показаны на рис. 3.



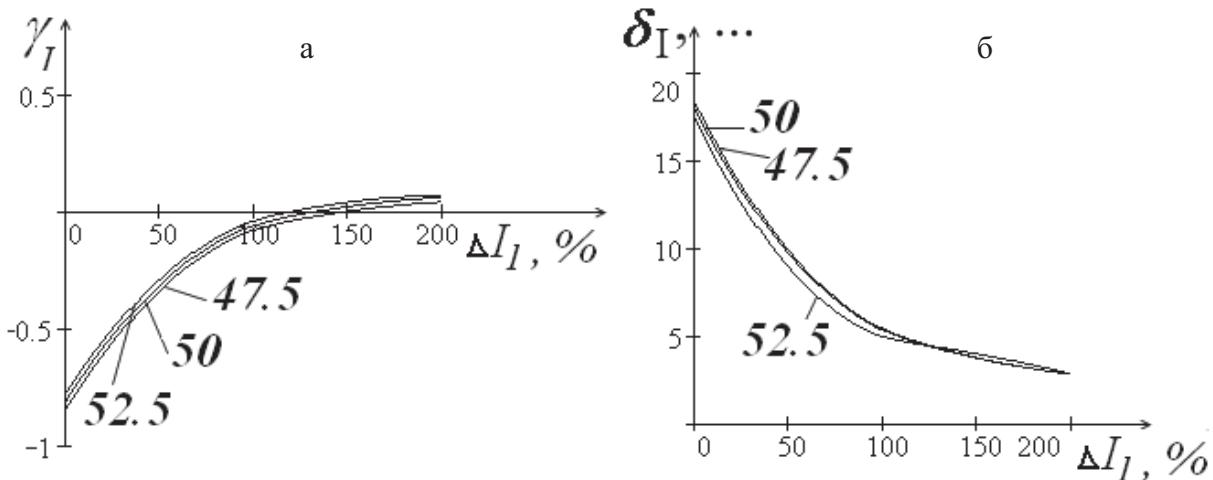
**Рис. 3.** Кривые влияния температуры на погрешности разработанного широкодиапазонного ТТ: а) токовая погрешность; б) угловая погрешность

Анализ результатов расчета погрешностей широкодиапазонного ТТ при разной температуре показывает, что изменение температуры окружающей среды практически не влияет на погрешности ТТ. Например, при первичном токе, равном номинальному, изменение температуры на  $+70\%$  от нормального приводит к изменению погрешностей  $0,012\%$ .

## 2. Влияние изменения частоты на погрешность широкодиапазонного ТТ

Расчет влияния частоты первичного тока на погрешности разработанного широкодиапазонного ТТ проводился при разных значениях первичного тока и  $\cos\phi = 0,8$  по формулам (7) и (8) [9]. При этом учитывалось влияние частоты на индуктивное сопротивление обмотки. Результаты расчетов приведены на рис. 4.

По результатам расчетов видно, что при отклонении частоты первичного тока от номинального на  $5\%$  изменение токовой погрешности составляет  $0,03\%$ .

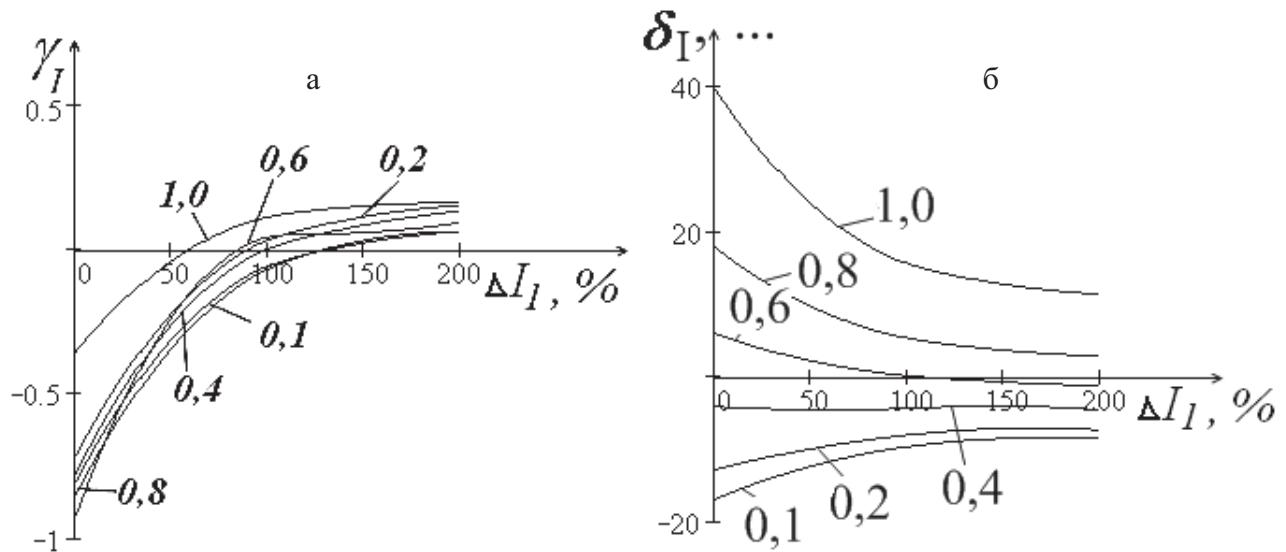


**Рис. 4.** Кривые влияния частоты первичного тока на погрешности разработанного широкодиапазонного ТТ: а) токовая погрешность; б) угловая погрешность

### 3. Влияние изменения коэффициента мощности нагрузки на погрешности широкодиапазонного ТТ

Погрешность широкодиапазонного ТТ рассчитана с помощью уравнений (8)–(12) при значениях  $\cos\phi$  1,0; 0,8; 0,6; 0,4; 0,2; 0,1 и 20, 100, 120 и 200% первичного тока (рис. 5). Расчет производился для номинальной мощности нагрузки.

Расчеты показывают, что при уменьшении  $\cos\phi$  до 0,6 токовая погрешность по абсолютному значению возрастает, а при его дальнейшем уменьшении уменьшается. Для угловой погрешности ТТ наоборот: при  $\cos\phi = 0,6\delta = \delta_{min}$ .



**Рис. 5.** Кривые влияния изменения коэффициента мощности нагрузки на погрешности широкодиапазонного ТТ: а) токовая погрешность; б) угловая погрешность

## 4. Влияние внешних магнитных полей на погрешность широкодиапазонного ТТ

Влияние внешних магнитных полей, в том числе магнитных полей токов соседних шин на работу ТТ подробно исследованы в работах [2, 14]. Поэтому мы ограничимся исследованием влияния магнитных полей кольцевых частей первичной цепи разработанного широкодиапазонного ТТ на его погрешности [12].

При расчете погрешностей ТТ от влияния магнитных полей двух кольцевых частей первичной цепи с токами  $I'_1$  и  $I''_1$  магнитные поля этих токов рассматриваются как внешние поля по отношению к рабочему магнитному полю.

Кольцевые элементы разработанного широкодиапазонного ТТ с указанием силовых линий магнитных потоков, создаваемых токами  $I'_1$  и  $I''_1$ , показаны на рис. 6. Когда ток первого кольца меньше тока второго кольца, т. е.  $I'_{\Theta 1} < I''_{\Theta 1}$ , имеет место соотношение между соответствующими потоками  $\Phi'_1 < \Phi''_1$ .

Как видно из рис. 6б, силовые линии нерабочих магнитных потоков  $\Phi'_B$  и  $\Phi''_B$  значительную часть своего пути проходят по воздуху, поэтому их распределение в пространстве практически не зависит от магнитной проницаемости ( $\mu$ ) и других параметров ферромагнитного материала сердечника ТТ. Отсюда достаточно оценивать влияние внешних магнитных полей на работу ТТ, приближенно считая, что  $\mu = \text{const}$  и, следовательно, индуктивность намагничивания  $L_{\Theta 0} = \text{const}$ . Сопротивление намагничивания определяется как [11]

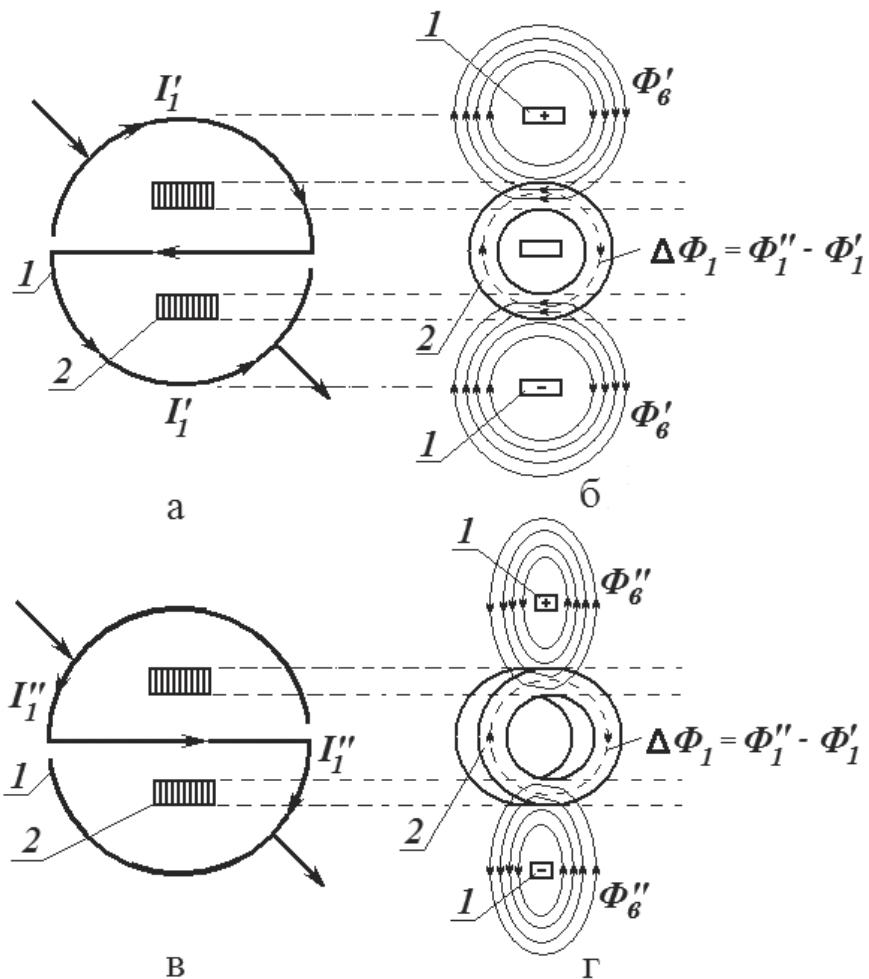
$$x_O = \omega L_{\Theta 0} = 2\pi f \mu \mu_0 (S_\mu / l_\mu) = 314 \mu_a (S_\mu / l_\mu). \quad (13)$$

При рассмотрении влияния внешних магнитных полей удобно воспользоваться понятием «первичный ток влияния», выражаемым в процентах от номинального первичного тока ТТ [2]:

$$I_{\text{вл}1\%} = (I_{\text{вл}1} / I_{1H}) 100\% = (x_{\text{вл}} / x_O) 100\%, \quad (14)$$

где  $I_{\text{вл}1}$  и  $I_{1H}$  – токи, приведенные к одному витку;  $I_{1H}$  – номинальное значение первичного тока.

Определим величину погрешности от влияния токов  $I'_{\Theta 1}$  и  $I''_{\Theta 1}$ , протекающих по кольцевым участкам первичной цепи рассматриваемого широкодиапазонного ТТ при ширине  $a = r_H - r_B = (0,035 - 0,020) \text{ м} = 0,015 \text{ м}$  и высоте  $h = 0,025 \text{ м}$  тороида и разных значениях расстояния от центра сердечника до кольцевых участков первичной цепи  $r_{\text{вл}}$ . Будем считать, что кольцевые участки первичной цепи широкодиапазонного ТТ с током  $I'_{\Theta 1}$  расположены



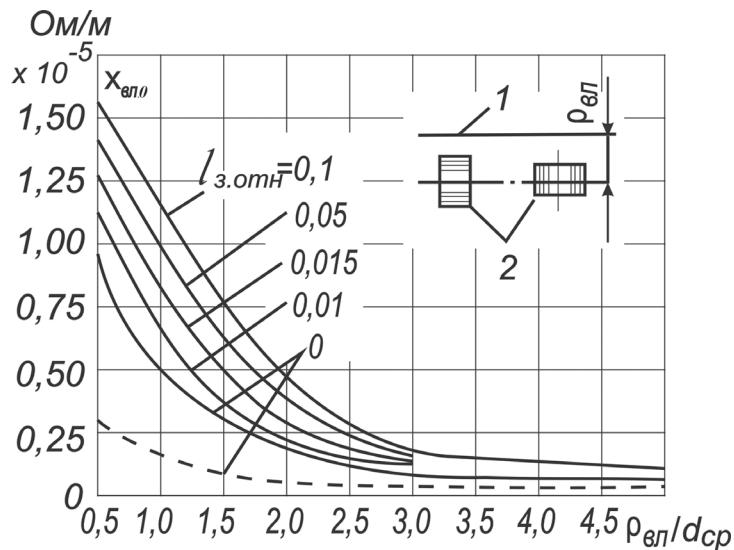
**Рис. 6.** Кольцевые элементы (а, в) и силовые линии нерабочих магнитных полей токов  $I'_1$  и  $I''_1$  (б, г): 1 – кольцевые элементы; 2 – сердечник

параллельно образующей тороидального сердечника (см. рис. 6а, б), а кольцевые элементы с током  $I''_{\text{Э}1}$  – параллельно его торцевой поверхности (см. рис. 6в, г). Для расчета сопротивления влияния  $x_{\text{вл}}$  воспользуемся экспериментальными кривыми, приведенными на рис. 7 [2]. Здесь нижняя сплошная кривая соответствует сердечнику без зазоров и внешнему токопроводу, параллельному образующей тороида. Штриховая линия относится к сердечнику без зазоров и к внешнему токопроводу, помещенному над ним, параллельно его торцевой поверхности.

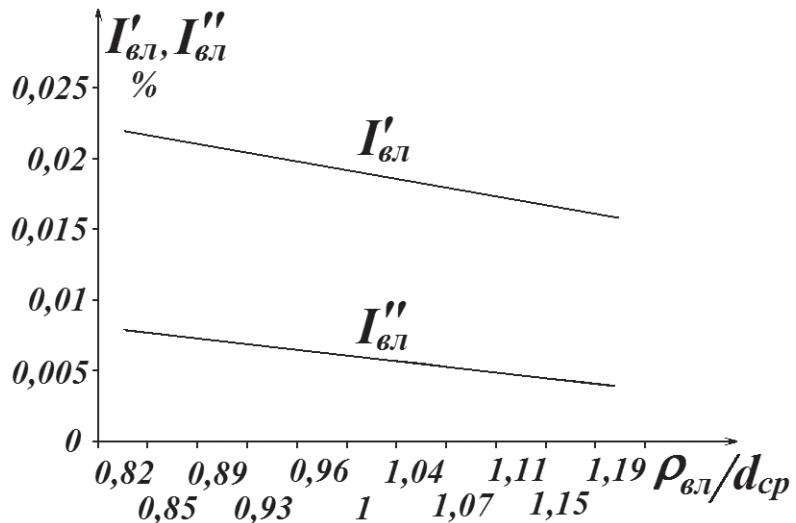
По нижней сплошной кривой на рис. 7 находим единичное сопротивление влияния  $x_{\text{вл.о}}$  при  $l_{\text{з.отн}} = 0$  ( $l_{\text{з.отн}}$  – общая расчетная длина зазора в сердечнике при разных значениях  $\rho_{\text{вл}}$ , отнесенных к среднему диаметру тороида  $d_{\text{ср}} = 0,055$  мм). Например, при  $\rho_{\text{вл}}/d_{\text{ср}} = 0,063/0,055 \approx 1,19$  сопротивление  $x_{\text{вл.о}}$  приблизительно равно  $0,4 \cdot 10^{-5}$  Ом/м.

Сопротивление влияния, приведенное к одному витку, определяется по формуле

$$x'_{\text{вл}} = x'_{\text{вл.о}} d_{\text{ср}} = 0,4 \cdot 10^{-5} \cdot 0,055 = 2,2 \cdot 10^{-7} \text{ Ом.}$$



**Рис. 7.** Кривые зависимости единичного сопротивления влияния от относительного расстояния до влияющего токопровода



**Рис. 8.** Кривые зависимости первичного тока влияния от относительного расстояния до влияющего токопровода

Для определения первичного тока влияния необходимо найти сопротивление намагничивания, приведенное к одному витку. Согласно формуле (13), при заданных геометрических размерах тороидального сердечника и  $\mu_a = 2512 \cdot 10^{-7}$  Гн/м [6] имеем  $x_o = 314\mu_a(S_\mu/l_\mu) = 314 \cdot 2512 \cdot 10^{-6} \cdot (3 \cdot 10^{-4} / 0,17) = 1,39 \cdot 10^{-3}$  Ом.

Первичный ток влияния  $I'_{вл\%}$  находим по формуле (14):

$$I'_{вл\%} = (x'_o/x_o)100\% = (2,2 \cdot 10^{-7} / 1,39 \cdot 10^{-3})100\% = 1,58 \cdot 10^{-2} = 0,016\%.$$

Первичный ток влияния  $I''_{вл\%}$  от тока  $I''_{\vartheta 1}$  определяется в аналогичной последовательности. Кривые зависимости первичного тока влияния от относительного расстояния до влияющего токопровода (рис. 8) показывают, что

с увеличением отношения  $\rho_{вл}/d_{ср}$  погрешность разработанного широкодиапазонного ТТ от влияния магнитных полей кольцевых участков первичной цепи снижается.

Расчет показывает, что погрешность разработанного широкодиапазонного ТТ от влияния магнитных полей кольцевых участков первичной цепи незначительна и ею можно пренебречь при проектировании таких ТТ.

## Выводы

Таким образом, исследование погрешностей разработанного широкодиапазонного ТТ показывает, что основными источниками возможных погрешностей широкодиапазонных ТТ являются несовершенство метода, неточность изготовления и сборки, нестабильность характеристик материала сердечника, частоты тока и параметров нагрузки, а также неблагоприятные внешние условия. При исследовании полученных аналитических выражений токовой и угловой погрешностей установлено, что на точность преобразования широкодиапазонных ТТ наибольшее влияние оказывает нестабильность нагрузки и колебания частоты первичного тока. При этом максимальная приведенная погрешность не превышает  $\pm 0,5\%$ .

## Библиографический список

1. Пат. РУз. № 03858. Трансформатор тока. Амиров С. Ф., Халиков А. А., Хушбоков Б. Х., Шойимов Й. Ю., Балгаев Н. Э. ; Офиц. Вестн. – 2009. – № 1.
2. Афанасьев Ю. В. Трансформаторы тока / Ю. В. Афанасьев, Н. М. Адоньев, В. М. Кильбель, И. М. Сирота, Б. С. Стогний. – Л. : Энергоатомиздат, 1989. – 417 с.
3. Казанский В. Е. Измерительные преобразователи тока в релейной защите / В. Е. Казанский. – М. : Энергия, 1988. – 240 с.
4. Хушбоков Б. Х. Погрешность многопредельного трансформатора тока от влияния внешних магнитных полей / Б. Х. Хушбоков // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте : сб. науч. тр. Респ. науч.-технич. конф. с участием зарубежных ученых, 2–3 дек. 2009. – Ташкент, 2009. – С. 80–82.
5. Шабад М. А. Трансформаторы тока в схемах релейной защиты / М. А. Шабад. – М. : Энергопрогресс, 1998. – 64 с. (Библиотека электротехника. Прил. к журн. «Энергетик» ; Вып. 1).
6. Амиров С. Ф. Многопредельные трансформаторы тока / С. Ф. Амиров, Н. Е. Балгаев, Б. Х. Хушбоков, Е. Б. Даусеитов // Вестн. Казах. акад. транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – Алматы, 2006. – № 4. – С. 126–130.
7. Амиров С. Ф. Дистанционные преобразователи больших токов с многовитковыми сердечниками / С. Ф. Амиров, Б. Х. Хушбоков, Й. Ю. Шойимов // Вестн. ТашИИТ. – 2006. – № 1. – С. 162–169.
8. Демирчян К. С. Теоретические основы электротехники : учеб. для вузов : В 3 т. / К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин, В. Л. Чечурин. – 4-е изд. – СПб. : Питер, 2006. – 576 с.

9. Амиров С. Ф. Многодиапазонные трансформаторы тока / С. Ф. Амиров, Б. Х. Хушбоков, Н. Е. Балгаев // Электротехника. – 2009. – № 2. – С. 61–64.
10. Амиров С. Ф. Вопросы измерения больших токов на железнодорожном транспорте (особенность, состояние и перспектива) / С. Ф. Амиров, Б. Х. Хушбоков, А. М. Сафаров, Й. Ю. Шойимов // Вестн. ТашИИТ. – 2006. – № 2. – С. 88–97.
11. Андреев Ю. А. Преобразователи тока для измерений без разрыва цепи / Ю. А. Андреев, Г. В. Абрамзон. – Л. : Энергия, 1979. – 144 с.
12. Раскулов Р. Ф. Погрешности трансформаторов тока. Влияние токов короткого замыкания / Р. Ф. Раскулов // Новости электротехники. – 2005. – № 2 (32). – С. 86–90.
13. Гуртовцев А. Л. Измерительные трансформаторы тока на 0,4 кВ : испытания, выбор, применение / А. Л. Гуртовцев, В. В. Бордаев, В. И. Чижонок // Новости электротехники. – 2004. – № 1 (25). – С. 66–71 ; № 2 (26). – С. 91–94.
14. Строганов Б. Г. Влияние внешнего магнитного поля на работу трансформатора тока / Б. Г. Строганов, А. А. Чунихин // Электричество. – 1990. – № 3. – С. 67–69.

## Error of broadband current transformers

Bahtiyor Kh. Hushbokov

*,,Transportation facilities and highways“ department  
Termiz state university*

Author shows the way of calculation of current and phase error of designed broadband current transformers (CT). The influence of ambient temperature, frequency, load power factor and external magnetic field on broadband CT error were studied.

**Keywords:** nonlinearity of basic magnetization curve; magnetic hysteresis; external magnetic field influence; current and phase error.

## Сведения об авторе

*ХУШБОКОВ Бахтиёр Худоймурадович* – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Транспортных сооружений и автомобильных дорог» Терmezского государственного университета;  
*e-mail:* hushboqov\_1977@mail.ru

© Хушбоков Б. Х., 2017

# ШИРОКОДИАПАЗОННЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА С БЕСКОНТАКТНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

**Б.Х. Хушбоков, У.А. Эшкувватов**

Разработаны несколько конструкций широкодиапазонных трансформаторов тока. Анализ их работы установил, что наиболее полно требованиям систем управления и контроля отвечают трансформаторы тока, широкодиапазонность в которых обеспечена спиралевидным сердечником в виде архимедовой спирали. Это повышает стабильность работы трансформатора тока.

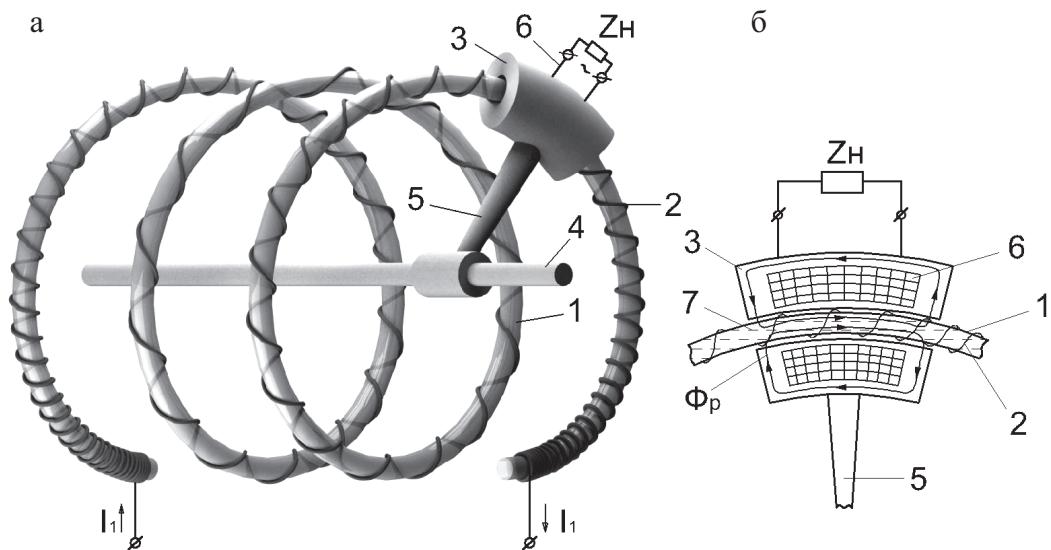
**Ключевые слова:** широкодиапазонность; трансформаторы тока; магнитопровод; магнитное сопротивление; стабильность; ферромагнитная жидкость.

## Введение

Как известно, трансформатор тока (ТТ), в котором широкодиапазонность обеспечена плавным регулированием количества витков обмоток, имеет низкую надежность из-за скользящего контакта [1–6]. В данной статье предложена новая конструкция с бесконтактным регулированием диапазона преобразования [2, 7–9]. На рис. 1 показан разработанный широкодиапазонный ТТ.

## 1. Первое предложение

Разработанный ТТ состоит из неподвижного полого сердечника 1 в форме спирали из немагнитного и неэлектропроводного материала, первичной обмотки 2, нанесенной по требуемому функциональному закону на неподвижный сердечник 1, подвижного ферромагнитного магнитопровода 3, имеющего возможность вращаться вокруг общей оси 4 с помощью держателя 5, вторичной обмотки 6, расположенной во внутренней полости подвижного ферромагнитного сердечника 3, и ферромагнитной жидкости 7, заполняющей охватываемую подвижным ферромагнитным сердечником 3 части спиралевидной полой трубы 1. Первичная обмотка 2 намотана на спиралевидный сердечник 1 так, что удельное число витков, приходящееся на единицу угла поворота подвижной части, растет от центра сердечника 1 к его концам. Описываемый трансформатор относится к классу маломощных лабораторных ТТ с воздушным зазором.



**Рис. 1.** Конструктивная схема широкодиапазонного трансформатора тока по [7]:

а) общий вид; б) подвижный магнитопровод с измерительной обмоткой;  
 1 – неподвижный полый сердечник; 2 – первичная обмотка; 3 – подвижный  
 ферромагнитный магнитопровод; 4 – ось; 5 – держатель; 6 – вторичная обмотка;  
 7 – ферромагнитная жидкость

Широкодиапазонный ТТ работает следующим образом. При прохождении переменного тока по первичной обмотке под воздействием магнитного поля ферромагнитная жидкость за счет электромагнитной силы удерживается в охватываемой подвижным магнитопроводом части спиралевидной трубы. При перемещении подвижного магнитопровода вдоль спиралевидной трубы ферромагнитная жидкость также перемещается. Изготовление спиралевидного сердечника в виде полой трубы существенно уменьшает массу и снижает расход материала магнитопровода ТТ.

Суммарное магнитное сопротивление на пути рабочего потока находится как [4, 10]

$$R_{\mu\Sigma} = \frac{l_{\mu c}}{\mu_c \mu_o S_{\mu c}} + \frac{l_{\mu jk}}{\mu_j \mu_o S_{\mu jk}} + \frac{l_{\mu\delta}}{\mu_o S_{\mu\delta}},$$

где  $l_{\mu\delta} = 2(\delta + \delta_C)$  – суммарный немагнитный зазор на пути рабочего магнитного потока;  $\delta$  – зазор между подвижным магнитопроводом 3 и спиралевидным полым сердечником 1;  $\delta_C$  – толщина спиралевидного полого сердечника 1;  $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная постоянная;  $\mu_c$ ,  $\mu_j$  – магнитная проницаемость, соответственно, стали и ферромагнитной жидкости;  $S_{\mu c}$ ,  $S_{\mu jk}$ ,  $S_{\mu\delta}$  – поперечное сечение на пути рабочего магнитного потока, соответственно, подвижного магнитопровода, ферромагнитной жидкости и зазора.

Первичный ток создает МДС [10]:

$$U_{\mu 1} = I_1 w_2 = I_1 k \alpha,$$

где  $w_2 = k\alpha$  – число витков измерительной обмотки, приходящееся на единицу угла поворота  $\alpha$  подвижного магнитопровода;  $k$  – коэффициент пропорциональности.

Описываемый ТТ предназначен для преобразования не очень больших токов. Широкодиапазонность (плавное регулирование в сторону расширения нижнего предела преобразования) обеспечивается изменением количества витков первичной обмотки путем поворота подвижного магнитопровода без разрыва первичной цепи, что очень важно, когда нежелательны перебои электроснабжения в системе [11].

Вместе с тем, при кратковременном внезапном отключении первичного тока ферромагнитная жидкость вытекает из места расположения подвижного магнитопровода с обмотками, а при восстановлении первичного тока ТТ будет работать без ферромагнитной жидкости. Это приводит к существенной погрешности преобразования. Поэтому была поставлена задача повысить стабильность работы ТТ.

## 2. Второе предложение

Поставленная задача решается тем, что в широкодиапазонном ТТ, содержащем спиралевидный сердечник, выполненный в виде полой диамагнитной и неэлектропроводной трубки, на которую по требуемому функциональному закону нанесена первичная обмотка, и подвижный магнитопровод с вторичной обмоткой, охватывающий часть спиралевидного сердечника с ферромагнитной жидкостью, сердечник выполнен в виде архимедовой спирали и расположен вертикально с возможностью поворота. Подвижный магнитопровод свободно установлен на вертикально расположенной направляющей с возможностью перемещения.

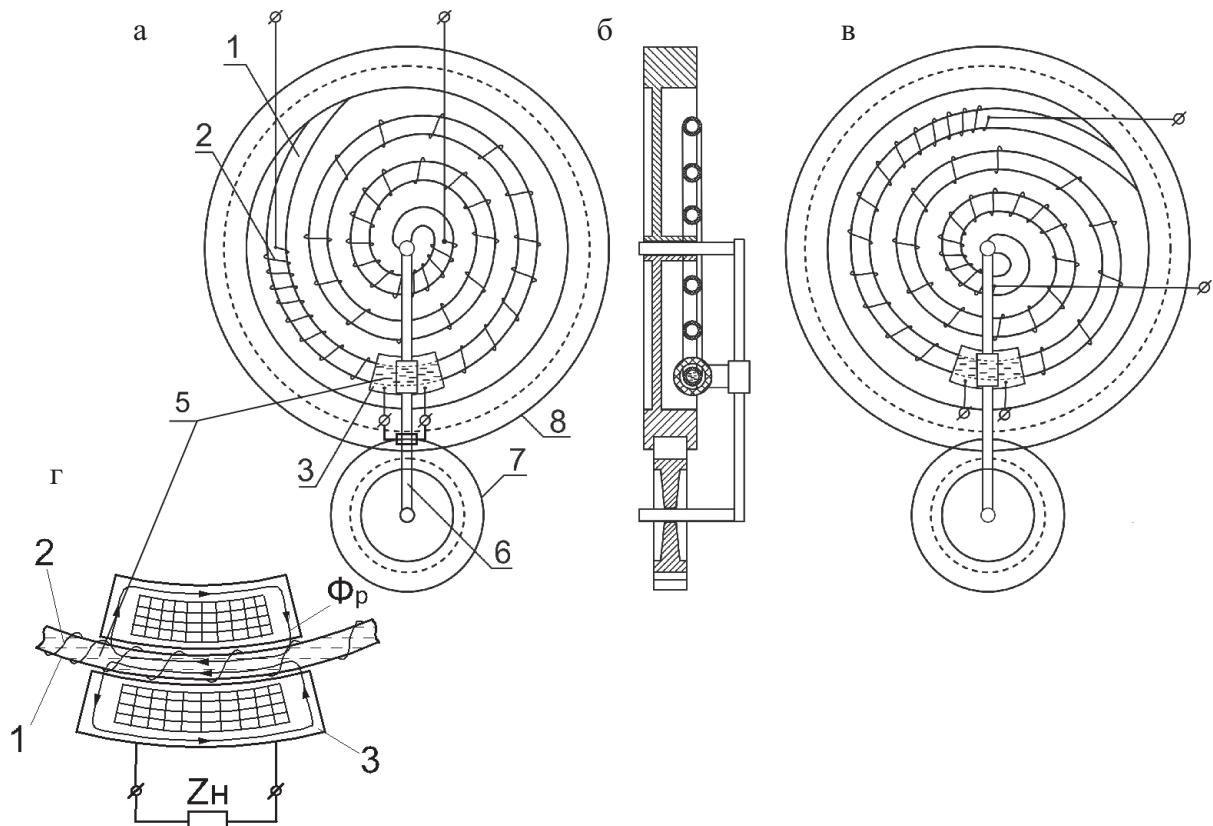
Стабильность работы ТТ повышается за счет того, что спиралевидный сердечник выполнен в виде вертикально установленной архимедовой спирали с возможностью поворота, при этом подвижный магнитопровод охватывает часть спиралевидного сердечника, заполненного ферромагнитной жидкостью, и имеет возможность перемещаться только по вертикали.

В предлагаемом ТТ при повороте спиралевидного сердечника подвижный магнитопровод с вторичной обмоткой и ферромагнитной жидкостью перемещается только по вертикальной направляющей, поэтому ферромагнитная жидкость всегда удерживается в охватываемой подвижным магнитопроводом нижней части архимедова спиралевидного сердечника.

Спиралевидный сердечник в виде архимедовой спирали и его вертикальное размещение, а также свободное установление подвижного магнитопровода на вертикальной направляющей с возможностью перемещения исключают вытекание ферромагнитной жидкости из-под подвижного магнитопровода с вторичной обмоткой при кратковременном внезапном отключении источ-

ника питания, и при восстановлении источника питания ТТ продолжает работать в установленном режиме, сохраняя тем самым стабильность работы.

На рис. 2 показан разработанный широкодиапазонный ТТ [12–17].



**Рис. 2.** Многопредельный ТТ по [14]:

- а) вид спереди; б) вид сбоку в разрезе; в) вид при повороте спиралевидного сердечника на 90°; г) подвижный магнитопровод с вторичной обмоткой в разрезе; 1 – сердечник; 2 – первичная обмотка; 3 – подвижный магнитопровод; 4 – вторичная обмотка; 5 – ферромагнитная жидкость; 6 – направляющая; 7, 8 – вспомогательные шестеренки

Предлагаемый широкодиапазонный ТТ состоит из сердечника 1, выполненного в виде вертикально расположенной архимедовой спирали из полой диамагнитной и неэлектропроводной трубы, на которую по требуемому функциональному закону нанесена первичная обмотка 2, и подвижный магнитопровод 3 с вторичной обмоткой 4, охватывающей часть спиралевидного сердечника 1, заполненного ферромагнитной жидкостью 5. Подвижный магнитопровод 3 с обмоткой 4 установлен на вертикально расположенной направляющей 6 с возможностью перемещения в вертикальном направлении при повороте спиралевидного сердечника 1. Поворот сердечника осуществляется с помощью вспомогательных шестеренок 7 и 8.

Подвижный магнитопровод 3 служит для создания магнитного потока. Он представляет собой полый цилиндр с изогнутой осью, совпадающей с осью провода, намотанного на полый сердечник 1, и охватывающий только

часть сердечника 1 с обмоткой 2. Принцип действия этого ТТ не отличается от принципа действия предыдущего ТТ.

Сpirалевидный сердечник 1 поворачивается с помощью вспомогательной зубчатой передачи. При этом ферромагнитная жидкость 5 под воздействием электромагнитной силы, создаваемой магнитным полем, удерживается в охватываемой подвижным магнитопроводом нижней части витков спиралевидного сердечника 1. Перемещение подвижного магнитопровода 3 с обмоткой 4 при повороте спиралевидного сердечника 1 происходит только по направляющей 6.

## Выводы

Таким образом, положительный эффект достигается тем, что спиралевидный сердечник в виде архimedовой спирали, его вертикальное размещение с возможностью поворота, а также свободное установление подвижного магнитопровода с обмоткой на вертикальную направляющую с возможностью перемещения при повороте спиралевидного сердечника не позволяют вытекать ферромагнитной жидкости из-под подвижного магнитопровода с обмоткой при кратковременном внезапном отключении питания, и при восстановлении источника питания ТТ продолжает работать в установленном режиме. Это повышает стабильность работы ТТ.

## Библиографический список

1. Амиров С. Ф. Дистанционные преобразователи больших токов с многовитковыми сердечниками / С. Ф. Амиров, Б. Х. Хушбоков, Й. Ю. Шойимов // Вестн. ТашИИТ.– 2006. – № 1. – С. 162–169.
2. Амиров С. Ф. Широкодиапазонные электромагнитные преобразователи больших постоянных токов / С. Ф. Амиров, Й. Ю. Шойимов, Н. Н. Очилов // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте : сб. науч. тр. республ. науч.-технич. конф. с участием зарубежных ученых. – Ташкент, 2006. – С. 40–43.
3. Андреев Ю. А. Преобразователи тока для измерений без разрыва цепи / Ю. А. Андреев, Г. В. Абрамзон. – Л. : Энергия, 1979. – 144 с.
4. Афанасьев Ю. В. Трансформаторы тока / Ю. В. Афанасьев, Н. М. Адоньев, В. М. Кильбель и др. – Л. : Энергоатомиздат, 1989. – 417 с.
5. А. с. СССР № 135789, Кл. 74 в, 8/04, БИ № 3, 1961.
6. А. с. СССР № 211638, Кл. 71 д, 54, 21 е, 32, GOIR 17/20, БИ, № 8, 1968.
7. Пат. РУз. № 03316. Многооборотный бесконтактный потенциометр переменного тока / Амиров С. Ф., Турдибеков К. Х., Шойимов Й. Ю., Саттаров Х. А., Хушбоков Б. Х. // Расмий ахборотнома.– 2007.– № 3.
8. Плахтиев А. М. Бесконтактные ферромагнитные преобразователи с распределенными магнитными параметрами для систем контроля и управления : автореф. дис. ... докт. техн. наук / А. М. Плахтиев. – Ташкент : ТашГТУ, 2009.– 46 с.

9. Розенблат М. А. Новые достижения и направления в развитии магнитных датчиков / М. А. Розенблат // Приборы и системы управления. – 1996. – № 9. – С. 42–50.
10. Голованова А. М. Теоретические основы электротехники / А. М. Голованова, А. В. Кравцов // Электрические измерения : учеб. пособие для студентов электротехнических специальностей. – М. : ФГОУ ВПО МГАУ, 2006. – 96 с.
11. Шабад М. А. Трансформаторы тока в схемах релейной защиты / М. А. Шабад. – М. : Энергопрогресс, 1998. – 64 с. (Библиотечка электротехника. Прил. к журн. «Энергетик»; Вып. 1).
12. Амиров С. Ф. Трансформаторы тока с многовитковым сердечником для систем управления / С. Ф. Амиров, Б. Х. Хушбоков // Инновация-2006 : тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. 26–27 окт. 2006 : В 2 т. Т. 2. – Ташкент, 2006. – С. 670–673.
13. Амиров С. Ф. Датчики тока с многовитковыми сердечниками / С. Ф. Амиров, Б. Х. Хушбоков // Инновационные технологии в управлении, образовании, промышленности «АСТИНТЕХ-2007» : материалы всерос. науч. конф. : В 2 т. Т. 2. – Астрахань, 2007. – С. 76–78.
14. Амиров С. Ф. Трансформаторы тока для работы в переходных режимах / С. Ф. Амиров, Б. Х. Хушбоков, Дж. Ф. Кадыров, Н. Е. Балгаев // От легендарного Турксиба к стратегической трансевразийской магистрали : материалы науч.-практич. конф., посвящ. 75-летию со дня начала эксплуатации Турксиба, г. Алматы, 31 мая 2006 : В 2 т. Т. 2. – Алматы, 2006. – С. 51–55.
15. Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин : учеб. пособие / Э. Г. Атамалян. – М. : Дрофа, 2005. – 415 с.
16. Гуртовцев А. Л. Измерительные трансформаторы тока на 0,4 кВ : испытания, выбор, применение / А. Л. Гуртовцев, В. В. Бордаев, В. И. Чижонок // Новости электротехники. – 2004. – № 1 (25). – С. 66–71 ; № 2 (26). – С. 91–94.
17. Кочемасов Ю. Н. Сравнительный анализ характеристик датчиков магнитного поля / Ю. Н. Кочемасов, Ю. Б. Колегаев // Датчики и системы. – 2001. – № 4. – С. 33–34.

## Broadband current transformers with contactless control

Bahtiyor Kh. Hushbokov, Ulugbek A. Eshkuvvatov

*“Transportation facilities and highways” department  
Termiz state university*

Authors have developed some designs of broadband current transformers (CT). Analysis of their operation have shown that those CT most fully meet the requirements of control and check systems whose broadband is implemented by execution of spiral core as Archimedean spiral. This leads to the increase of CT operation stability.

**Keywords:** broadband; current transformers; magnetic circuit; magnetic resistance; stability; ferrofluid.

## **Сведения об авторах**

*ХУШБОКОВ Бахтиёр Худоймуродович* – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Транспортных сооружений и автомобильных дорог» Терmezского государственного университета;  
*e-mail:* hushboqov\_1977@mail.ru

*ЭШКУВВАТОВ Улугбек Абдулла угли* – студент факультета «Техника» Терmezского государственного университета;  
*e-mail:* hushboqov\_1977@mail.ru

© Хушбоков Б.Х., Эшкуватов У.А., 2017

# *Электронный документооборот*

УДК 004.896+656.25

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА В ХОЗЯЙСТВЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ**

**М. Н. Василенко, Д. В. Зуев, Д. В. Седых, П. А. Василенко**

Рассматривается состояние разработки, внедрения и функционального развития системы электронного документооборота, предназначенной для создания, редактирования, хранения, передачи, а также для согласования технической документации хозяйства автоматики и телемеханики. Определяются задачи и особенности внедрения систем электронного документооборота в ОАО «РЖД» на ближайшую перспективу.

**Ключевые слова:** железнодорожная автоматика и телемеханика; система электронного документооборота; электронное делопроизводство; электронно-цифровая подпись; программное обеспечение.

### **Введение**

Группа компаний «ИМСАТ» имеет многолетний опыт разработки и внедрения систем электронного документооборота (СЭД) на транспорте [1–4]. На современном этапе развития СЭД эффективность их применения обеспечивается за счет дополнения функциями электронной цифровой подписи (ЭЦП) и электронного делопроизводства (ЭДП) [5]. При этом ЭЦП обеспечивает контроль исполнительской дисциплины в электронном документообороте, распараллеливание технологических процессов обработки документов и личную ответственность участников, без чего невозможен переход к безбумажной технологии.

Технология ЭДП позволяет включить в процесс электронного документооборота другие виды документации, кроме чисто технической (схематические планы, двухниточные планы и кабельные сети, таблицы взаимозависимости, схемы аппаратов управления, принципиальные электрические и монтажные схемы). К таким видам документации могут быть отнесены

указания ГТСС, инструкции по пользованию, содержанию, техническому обслуживанию устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), технические паспорта, приказы, письма, телеграммы и т. п. Без автоматизации работ с этой документацией необходимый эффект от внедрения СЭД не достигается. Такая технология применяется во всем мире как прогрессивная технология высокой эффективности.

Следует отметить, что в РЖД господствует высокозатратная электронно-бумажная технология (ЭБТ), которая не соответствует современным требованиям. При ЭБТ потеряна легитимность как бумажной документации, так и электронной, что недопустимо для документации на системы обеспечения безопасности движения поездов. На рисунке представлена программа развития и результаты внедрения СЭД ЖАТ (синим цветом показано то, что уже сделано и внедлено, красным – что еще предстоит внедрить).

## **Основные особенности разработки и внедрения СЭД ЖАТ**

### *1. Разработка электронной версии контрольного экземпляра технической документации*

Разработка электронной версии контрольного экземпляра технической документации ведется по многим направлениям:

- при новом проектировании – за счет применения конвертации из формата КАСПР;
- отрисовка «старых» схем на бумажных носителях редактором АРМ-ВТД;
- с использованием модулей распознавания принципиальных электрических и монтажных электрических схем [6, 7].

Необходимо отметить, что многие организации по-прежнему не выполняют распоряжение № 1299р и передают на дороги техническую документацию в запрещенных к применению форматах (растровых, AutoCAD и прочих).

Завершена разработка системы электронного делопроизводства в рамках предлагаемой СЭД (внедрение в ШЧ-14, АРМ-ХПС на Октябрьской ж. д.), что обеспечит широкое применение этой отечественной разработки в рамках программы «Цифровая железная дорога в холдинге РЖД», а также новой версии отечественного универсального графического редактора «АВТОГРАФ».

Для перехода к современным безбумажным технологиям планируется в 2016–2018 гг. завершить работы, указанные в красных блоках рисунка – создание в рамках СЭД эффективных средств распознавания всех основных типов технической документации ЖАТ, что позволит решить проблемы:

- автоматизации переноса схем с бумажной документации в ОФТД;
- конвертации в ОФТД схем в растровом и других форматах.

Необходимо завершить разработку интеллектуальной системы электронной экспертизы технической документации, включая программное обеспечение (ПО) ЖАТ и все виды схем (АС-ЭСР) [8–13], которая обеспечит:

- автоматическую сверку всех схем (и ПО) с контрольным экземпляром технической документации [14];
- автоматическую сверку разных типов схем на соответствие между собой и НСИ;
- автоматическую проверку ПО на функциональность и безопасность по программам пуско-наладочных работ (ПНР).

Только в этом случае решаются проблемы кибербезопасности технической документации [15] на устройствах СЦБ.

По завершении указанных работ в 2018 г. при наличии новой инструкции по ведению электронной технической документации можно окончательно решить проблему перехода к безбумажной технологии в хозяйстве СЦБ.

### *2. Большой опыт внедрения и длительный срок эксплуатации ПО*

Внедрение первых версий СЭД в хозяйстве ЖАТ было начато на базе разработок научно-технического центра (НТЦ) САПР ПГУПС еще в 1997 г., когда была принята в эксплуатацию первая версия АРМа ведения технической документации (АРМ-ВТД). В настоящее время новые версии АРМ-ВТД эффективно используются на всех 16 дорогах ОАО «РЖД». «ИМСАТ» непрерывно проводит функциональное развитие АРМов и сопровождение ПО более 2500 рабочих мест. Параллельно с АРМ-ВТД разрабатывались и внедрялись АРМ проектирования технической документации ЖАТ (АРМ-ПТД). В проектных организациях внедлено более 600 АРМ ПТД, позволяющих повысить эффективность проектирования устройств и систем ЖАТ. Отметим, что за почти 20-летний период эксплуатации АРМ-ВТД и АРМ-ПТД разработчики не получали существенных замечаний о качестве ПО.

### *3. Непрерывное функциональное развитие и создание новых версий*

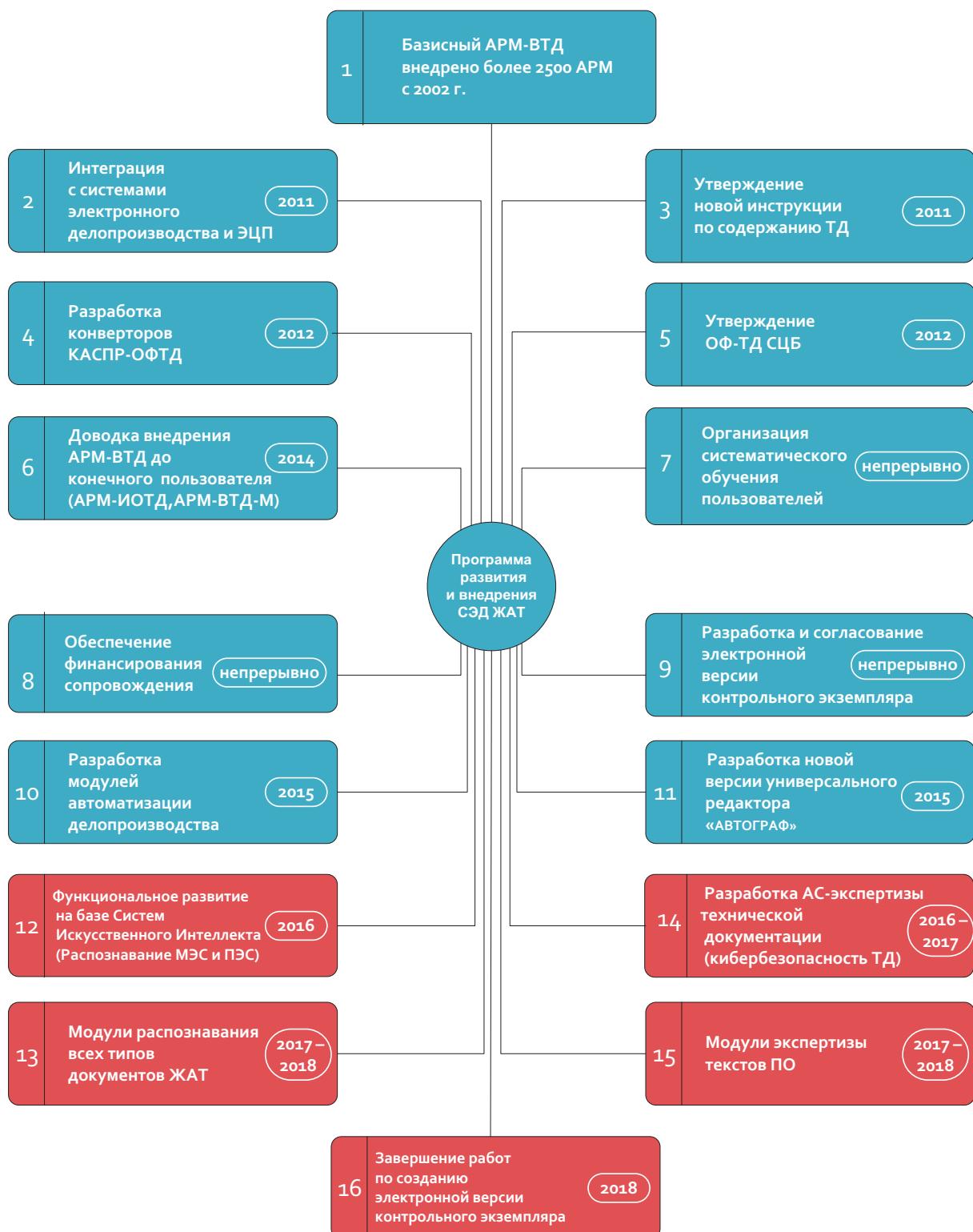
Учитывая, что «старение» ПО происходит каждые 2-3 года, непрерывно (практически с 1996 г.) ведется его функциональное развитие и создание новых версий. Достаточно указать принципиальные новые версии АРМ-ВТД:

- для исполненных кабельных сетей с режимом удаленного доступа (АРМ-ВТД-ИКС);
- информационного обеспечения пользователей (АРМ-ИОТД) с реализацией ЭЦП;
- АРМ-ВТД-М доступа с мобильных устройств (планшета, телефона).

### *4. Не требуется применения импортных технологий и ПО, закупки лицензий западных фирм, высокая эффективность внедрения*

Все наши разработки ПО базируются на графических редакторах, не уступающих по эффективности редакторам ведущих западных фирм. Эффективность применения обеспечивается за счет:

- ускорения процесса и контроля процедуры согласования;
- ведения архива согласования проектов;
- автоматизации обмена документацией при пусконаладочных работах;
- контроля целостности передачи документации в ОФТД;



СЭД

- уменьшения затрат на командировки сотрудников для согласования проектов.

*5. Все АРМ работают в едином отраслевом формате (ОФТД)*

ОФТД [16–19] создан по заданию Управления автоматики и телемеханики и утвержден в качестве основного формата графических баз данных в ОАО «РЖД» (распоряжение № 1299р), который имеет следующие характеристики:

- открытый стандарт и расширяемость;
- поддержка электронной подписи;
- описание внешнего вида чертежа и устройства с техническими характеристиками;
- получение спецификации из чертежа, автоматизация построения чертежей и их экспертиза.

*6. Все АРМ используют новейшие виды информационных технологий*

Широко используются web-технологии для организации режимов удаленного доступа и интерактивного согласования технической документации. При этом обеспечиваются:

- совместный экран для синхронного просмотра документации в режиме online в процессе согласования;
- встроенная система обмена сообщениями между участниками согласования;
- интерактивное комментирование согласуемых документов;
- доступ к истории изменений в процессе согласования.

Применение математического аппарата систем искусственного интеллекта и нейронных сетей позволило резко сократить затраты на создание электронных баз из рукописной бумажной документации (электрические монтажные и принципиальные схемы) или документации в других форматах.

Широко применяются методы автоматического синтеза схем ЖАТ, их анализа на основе компьютерного моделирования. Разработана подсистема экспертизы схемных решений ЖАТ, основанная на свойствах ОФТД и методах моделирования, позволяющая повышать достоверность и безопасность электронных баз технической документации.

*7. ПО СЭД полностью ориентировано на традиционные отечественные технологии работы с документацией*

Мы считаем, что устоявшиеся технологии не должны в корне меняться, в отличие от западных программных пакетов, имеющих низкую эффективность применения по причинам:

- недостаточной технической поддержки программного продукта;
- сложных интерфейса и структуры ПО;
- отсутствия справочной информации в ПО, маршрутов обработки документов;
- неполной автоматизации контроля исполнения документов.

Основная задача наших АРМов – полная автоматизация всех трудоемких и рутинных операций в этой области.

## **Выводы**

Изложенные принципы построения и реализации СЭД эффективно применяются в настоящее время на железнодорожном транспорте.

Приказом № 426 от 06.09.2016 г. «О включении сведений о программном обеспечении в единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных и внесении изменений в сведения о классах программного обеспечения», подписанным министром связи и массовых коммуникаций РФ Н. А. Никифоровым, АРМ-ВТД включен в единый реестр российских программ с присвоением класса программного обеспечения.

Считаем, что наши разработки могут широко применяться не только в области железнодорожной автоматики и телемеханики, но и в других сферах научной и практической деятельности, основанных на обработке больших объемов технической информации и документации.

## **Библиографический список**

1. Булавский П. Е. Автоматизация информационного обеспечения руководителей железнодорожного транспорта на основе внедрения электронного документооборота / П. Е. Булавский, М. Н. Василенко, А. А. Корниенко, А. Д. Хомоненко // Изв. ПГУПС. – 2012. – Вып. 2 (31). – С. 116–118.
2. Василенко М. Н. Электронный документооборот в хозяйстве СЦБ / М. Н. Василенко, В. Г. Трохов, Д. В. Зуев // Автоматика, связь, информатика. – 2014. – № 8. – С. 2–3.
3. Василенко М. Н. Безбумажная технология ведения технической документации ЖАТ / М. Н. Василенко, Д. В. Зуев // Автоматика, связь, информатика. – 2014. – № 4. – С. 34–35.
4. Василенко М. Н. Развитие электронного документооборота в хозяйстве АТ / М. Н. Василенко, В. Г. Трохов, Д. В. Зуев, Д. В. Седых // Автоматика связь, информатика. – 2015. – № 1. – С. 14–16.
5. Василенко М. Н. Современные информационные технологии работы с технической документацией / М. Н. Василенко, Д. В. Зуев // Автоматика, связь, информатика. – 2014. – № 5. – С. 24–25.
6. Матушев А. А. Распознавание структуры монтажных схем ЖАТ / А. А. Матушев, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2015. – № 10. – С. 4–7.
7. Седых Д. В. Методы распознавания структуры монтажных схем железнодорожной автоматики и телемеханики / А. А. Матушев, Д. В. Седых // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 4. – С. 552–563.
8. Василенко М. Н. Автоматизированная система экспертизы схемных решений железнодорожной автоматики и телемеханики / М. Н. Василенко, А. М. Горбачев, Д. В. Зуев, Е. В. Григорьев // Транспорт РФ. – 2012. – № 5 (36). – С. 64–68.
9. Василенко М. Н. Автоматизированная система экспертизы схемных решений железнодорожной автоматики и телемеханики (АС ЭСР ЖАТ) / М. Н. Василенко, А. М. Горбачев, Р. Т. Мустафаев // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 4. – С. 11–13.

10. Василенко М. Н. Математическое моделирование систем и процессов : учеб. пособие / М. Н. Василенко, А. М. Горбачев, Д. В. Новиков. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2015. – 61 с.
11. Седых Д. В. Учет работы приборов с помощью АРМ-УРП / Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 3. – С. 7–8.
12. Горбачев А. М. Автоматизация анализа, экспертизы и сверки технической документации системы железнодорожной автоматики и телемеханики / А. М. Горбачев // Изв. ПГУПС. – 2012. – Вып. 4. – С. 73–78.
13. Безродный Б. Ф. Автоматизация проверки проектов на основе АРМ-ТЕСТ / Б. Ф. Безродный, М. Н. Василенко, Б. П. Денисов, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 9. – С. 22–24.
14. Матушев А. А. Разработка обобщенной модели принципиальных электрических и монтажных схем для экспертизы и интеллектуальной корректировки / А. А. Матушев, Д. В. Седых, И. С. Ушаков // Материалы юбилейной XV Санкт-Петербург. междунар. конф. «Региональная информатика – 2016», Санкт-Петербург, 26–28 окт. 2016 г. – СПб. : СПОИСУ, 2016. – С. 305.
15. Василенко М. Н. Кибербезопасность технической документации железнодорожной автоматики и телемеханики / М. Н. Василенко, Д. В. Зуев // Транспорт РФ. – 2015. – № 2 (57). – С. 25–28.
16. Седых Д. В. Применение отраслевого формата технической документации на устройства железнодорожной автоматики и телемеханики для интеграции приложений / Д. В. Седых, С. А. Суханов // Изв. ПГУПС. – 2005. – Вып. 3. – С. 74–79.
17. Балуев Н. Н. Проблемы внедрения отраслевого формата / Н. Н. Балуев, М. Н. Василенко, В. Г. Трохов, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 3. – С. 2.
18. Булавский П. Е. Принципы построения ядра интеграции АСУ – ТП на железнодорожном транспорте / П. Е. Булавский, Д. В. Седых // IX Санкт-Петербург. конф. «Региональная информатика – 2004», 22–24 июня 2004. – СПб., 2004. – С. 127–129.
19. Седых Д. В. Методы интеграции в АСУ-Ш / Д. В. Седых, М. Н. Василенко // 65-я науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Неделя науки – 2005». – СПб., 2005. – С. 152.

## **Intelligent system of electronic document management in railway automation and remote control**

Mikhail N. Vasilenko, Denis V. Zuev, Dmitry V. Sedykh, Petr A. Vasilenko

*„Automation and remote control on railways“ department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

The paper is devoted to the description of condition of development, introduction and evolution of electronic document management system designed for creation, editing, storage, transmission and coordination of railway automation and remote control

technical documentation. Tasks and introduction features of electronic document management systems in JSC “RZD” in the short term are stated.

**Keywords:** *railway automation and remote control; electronic document management system; electronic record keeping; digital signature; software.*

## Сведения об авторах

*ВАСИЛЕНКО Михаил Николаевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* 9416579@gmail.com

*ЗУЕВ Денис Владимирович* – руководитель НТЦ-САПР кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* zuevdv@gmail.com

*СЕДЫХ Дмитрий Владимирович* – инженер кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* sedyhdmmitriy@gmail.com

*ВАСИЛЕНКО Петр Алексеевич* – студент факультета «Автоматизация и интеллектуальные технологии» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* vasilenko.p.al@gmail.com

© Василенко М. Н., Зуев Д. В., Седых Д. В., Василенко П. А., 2017

## ОБМЕН ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИЕЙ МЕЖДУ ЗАКАЗЧИКОМ И ПРОЕКТИРОВЩИКОМ

Д. В. Зуев, Д. В. Седых, И. С. Горшков

Сегодня нет эффективной системы обмена технической документацией в процессе проектирования. В различных отраслях есть отдельные системы на уровне или заказчика – отдельные либо совмещенные с системами электронного документооборота, или проектировщика. Есть опыт использования базовых систем электронного документооборота, который показал свою невысокую эффективность. Разработанную систему предполагается использовать для обмена технической документацией между ОАО «РЖД» и проектными организациями железнодорожной отрасли.

**Ключевые слова:** системы автоматизированного проектирования; АРМ-ВТД; АРМ-ПТД; электронный формат технической документации; отраслевой формат технической документации.

### Введение

В настоящее время во многих организациях есть множество систем для работы с технической документацией. К ним относятся системы электронного документооборота, автоматизированные средства проектирования и отдельные отраслевые автоматизированные системы. Основными недостатками данных систем является то, что они ограничены рамками одной организации и не обеспечивают взаимодействия между структурами при совместных работах.

Спектр задач, решаемый системами документооборота, широк, носит специфичный характер, как и продолжительность жизненного цикла, объем и разнообразие форматов технических документов. На данный момент имеется много решений унификации форматов и стандартизации технической документации. Максимальные результаты достигнуты в хозяйстве автоматики и телемеханики ОАО «РЖД». Разработаны единый отраслевой формат технической документации [1–4] и комплексные решения для всех этапов жизненного цикла технической документации. Первые версии систем электронного документооборота (СЭД) в хозяйстве автоматики и телемеханики внедрены на базе разработок научно-технического центра САПР ПГУПС еще в 1997 г., когда был принят в эксплуатацию комплекс АРМ-ВТД [5–7]. Сейчас новые версии АРМ-ВТД эффективно используются на всей сети дорог России, во всех службах и дистанциях СЦБ ОАО «РЖД».

Параллельно с АРМ-ВТД разрабатывалось и внедрялось АРМ проектирования технической документации ЖАТ (АРМ-ПТД) [8]. Более 600 комплексов АРМ-ПТД, внедренных в проектных организациях, повышают эффективность проектирования устройств и систем ЖАТ [9, 10]. Разработанные средства автоматизации проектирования тесно связаны с автоматизированными экспертными системами [11–16].

## 1. Проблемы обмена документацией

Приведение к единообразию форм представления документации с помощью разработанного единого отраслевого формата на примере ОАО «РЖД» позволило построить общую платформу для обмена технической документацией, в том числе с другими системами автоматизированного проектирования отрасли.

Организация документооборота других отраслей имеет свои особенности, в частности, отдельные решения для проектирования, несхожесть и многообразие форматов, платформ и т. д. Недостаток действующих систем электронного документооборота заключается в несовершенстве процесса согласования из-за отсутствия средств для интеграции заказчика проектных работ и исполнителя.

Из-за этих недостатков согласование выполняется по смешанной технологии – электронно-бумажной. То есть официально обмен документами происходит только на бумажном носителе, но параллельно используются современные средства информационного обмена. Таким образом, основной путь – это отправка множества копий бумажных документов. Электронные копии документов, как правило, непригодны для дальнейшей эксплуатации у заказчика, так как официально являются просто копиями документов. В результате эффективность данных работ невысока.

Сейчас подрядные проектные организации взаимодействуют «по старинке» – с привлечением новых технологий, но в старом формате использования:

- обмен официальными письмами – на бумаге или факсом, с обязательным созданием физической копии документа;
- обмен сообщениями по электронной почте, в том числе с приложениями электронных версий документов;
- переговоры по телефону;
- отправка документации на предварительное согласование в электронном виде – по электронной почте или путем отправки физического носителя с электронной копией документации;
- с помощью современных средств связи и обмена сообщениями – Viber, WhatsApp, FaceTime, Skype и многих других.

У всех описанных способов есть значительные недостатки:

- использование разнородных средств связи порождает неясность движения документов и отсутствие справочной информации по ним (создатель, имена отправителя и получателя, время и дата отправки);
- использование личных средств связи для обмена информацией – личные почтовые ящики, мессенджеры, телефоны.
- в случае принятия тех или иных решений легитимным является только механизм обмена официальными письмами на бланке организации, зарегистрированными установленным порядком.

Большие объемы и давность информации по ведению истории проекта при долгосрочном проектировании ( $> 1$  года) в дальнейшем затрудняет получение информации и деталей проектирования и делает его практически невозможным. Отсутствие электронной цифровой подписи также лишает легитимности все электронные копии технической документации.

## 2. Структура разработанного решения

В рамках использования единого узаконенного решения для передачи и приемки документов предполагается разработать специальный «портал» для полноценного общения всех участников проектных работ. Данное решение имеет модульную структуру, т. е. основной функционал обеспечивается ядром системы, а дополнительные модули реализуются в виде плагинов, которые позволяют расширить функционал системы.

Основными компонентами являются:

- ядро системы, обеспечивающее основной функционал;
- специальные модули расширения;
- модуль администрирования;
- модуль маршрутизации обмена документами.

Основным компонентом, решающим вопросы управления и организации потоков документов, является ядро системы. Оно представляет собой центральную ось всей системы и реализует основной список технологических операций, а также интерфейсы для подключения сторонних модулей расширения (плагинов).

Основные узлы системы:

- сервер приложений, реализованный на базе web-сервера и предназначенный для обработки запросов от пользователей по протоколу http;
- сервер баз данных, основное назначение которого состоит в хранении документации и проектов, а также в обработке запросов, поступающих от сервера приложений. На сервере размещается база данных (БД) всей системы.

Для организации доступа к технической документации предлагается применить традиционную схему распределения функциональности системы на двух серверах: сервере приложений как в узле формирования визуальной части приложения для удаленных клиентов, сервере БД для хранения

информации системы и обработки запросов пользовательских сообщений. Обращения пользователей к системе будут передаваться и обрабатываться на сервере приложений. Сервер приложений будет, в свою очередь, обращаться к находящемуся во внутренней сети системы серверу БД (см. рисунок).



## **Выводы**

Разработанная система является инновационным подходом в сфере выполнения проектных работ, так как не только автоматизирует технологический документооборот или само проектирование в рамках одной организации, но и позволяет наладить взаимодействие заказчика и проектной организации.

Данный программный продукт – это следующий шаг к внедрению полноценного электронного документооборота, который позволит полностью отказаться от бумажных копий документов между организациями. Это гораздо более сложная задача, чем организация электронного документооборота внутри одной организации. Данный шаг потребует внедрения электронной цифровой подписи для согласования документации и признания ее легитимности на всех уровнях.

## Библиографический список

1. Седых Д. В. Применение отраслевого формата технической документации на устройства железнодорожной автоматики и телемеханики для интеграции приложений / Д. В. Седых, С. А. Суханов // Изв. ПГУПС. – 2005. – Вып. 3. – С. 74–79.

2. Балуев Н. Н. Проблемы внедрения отраслевого формата / Н. Н. Балуев, М. Н. Василенко, В. Г. Трохов, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 3. – С. 2.
3. Булавский П. Е. Принципы построения ядра интеграции АСУ – ТП на железнодорожном транспорте / П. Е. Булавский, Д. В. Седых // IX Санкт-Петербург. конф. «Региональная информатика – 2004», 22–24 июня 2004 г. – СПб., 2004. – С. 127–129.
4. Седых Д. В. Отраслевой формат технической документации на устройства железнодорожной автоматики и телемеханики. 1. Концепция создания / Д. В. Седых, М. А. Гордон // Автоматика на транспорте. – 2017. – Т. 3, № 1.
5. Василенко М. Н. Развитие электронного документооборота в хозяйстве АТ / М. Н. Василенко, В. Г. Трохов, Д. В. Зуев, Д. В. Седых // Автоматика связь, информатика. – 2015. – № 1. – С. 14–16.
6. Седых Д. В. Система автоматизированного проектирования напольного технологического оборудования / Д. В. Седых, М. С. Трясов, М. Н. Василенко // Неделя науки – 2002 : программа и тез. докл. 62-й науч.-технич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – СПб., 2002. – С. 332.
7. Булавский П. Е. Методика оценки временных характеристик процессов электронного документооборота технической документации / П. Е. Булавский, Д. С. Марков // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 1. – С. 81–94.
8. Денисов Б. П. Автоматизация проектирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики на базе АРМ-ПТД версии 6 / Б. П. Денисов, Н. И. Рубинштейн, С. Н. Растворов, Н. Ю. Воробей // Актуальные вопросы развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. трудов ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2013. – С. 66–74.
9. Василенко М. Н. Методы выделения текстовых выражений принципиальных электрических схем железнодорожной автоматики и телемеханики / М. Н. Василенко, Р. А. Ковалев // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 4. – С. 540–551.
10. Василенко М. Н. Метод выделения структуры принципиальной электрической схемы железнодорожной автоматики и телемеханики при распознавании печатной документации / М. Н. Василенко, Р. А. Ковалев // Автоматика на транспорте. – 2017. – Т. 3, № 1.
11. Горбачев А. М. Автоматизация анализа, экспертизы и сверки технической документации системы железнодорожной автоматики и телемеханики / А. М. Горбачев // Изв. ПГУПС. – 2012. – Вып. 4. – С. 73–78.
12. Безродный Б. Ф. Автоматизация проверки проектов на основе АРМ-ТЕСТ / Б. Ф. Безродный, М. Н. Василенко, Б. П. Денисов, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 9. – С. 22–24.
13. Матушев А. А. Распознавание структуры монтажных схем ЖАТ / А. А. Матушев, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2015. – № 10. – С. 4–7.
14. Седых Д. В. Методы сверки чертежей напольного технологического оборудования железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Седых // Материалы юбилейной XV Санкт-Петербург. междунар. конф. «Региональная информатика – 2016», Санкт-Петербург, 26–28 окт. 2016 г. – СПб. : СПОИСУ, 2016. – С. 316–317.
15. Матушев А. А. Разработка обобщенной модели принципиальных электрических и монтажных схем для экспертизы и интеллектуальной корректировки / А. А. Матушев, Д. В. Седых, И. С. Ушаков // Материалы юбилейной XV Санкт-Петербург.

- междунар. конф. «Региональная информатика – 2016», Санкт-Петербург, 26–28 окт. 2016 г. – СПб. : СПОИСУ, 2016. – С. 305.
16. Седых Д. В. Методы распознавания структуры монтажных схем железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Седых, А. А. Матушев // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 4. – С. 552–563.

## **Technical documentation exchange between customer and designer**

Denis V. Zuev, Dmitry V. Sedykh, Igor` S. Gorshkov

*«Automation and remote control on railways» department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

Nowadays the effective system of technical documentation exchange during design process does not exist. Different branches have particular either on customer level (separate or combined with electronic document management system) or designer's systems. Also an experience of basic electronic document management use for this purpose exists; it has shown its low efficiency. Developed system is offered to use for the exchange of technical documentation between JSC “Russian railways” and railway design organizations.

**Keywords:** CAD systems; ARM-PTD; ARM-VTD; technical documentation electronic form; branch format of technical documentation.

### **Сведения об авторах**

*ЗУЕВ Денис Владимирович* – руководитель НТЦ-САПР кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* zuevdv@gmail.com

*СЕДЫХ Дмитрий Владимирович* – инженер кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* sedyhdmmitriy@gmail.com

*ГОРШКОВ Игорь Сергеевич* – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* igor.gorshkov@gmail.com

© Зуев Д. В., Седых Д. В., Горшков И. С., 2017

## ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СИНТЕЗА ТАБЛИЦЫ ЗАВИСИМОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ СТРЕЛОК И ПОКАЗАНИЙ СВЕТОФОРОВ

**М. А. Гордон, Р. А. Ковалев, Д. В. Седых**

С выходом новых методических указаний по проектированию И-325-15 «Проектирование таблицы зависимости положения стрелок и сигнальных показаний светофоров в маршрутах на железнодорожных станциях», выпущенных институтом Гипротранссигналсвязь, появилась необходимость создания нового модуля в составе АРМ-ВТД и АРМ-ПТД по формированию таблиц зависимости для железнодорожных станций. Разработанный модуль на основе алгоритма поиска в глубину по графу станции позволяет сформировать весь набор таблиц по электронному виду схематического плана, сохраненному в отраслевом формате технической документации. Помимо составления новых таблиц зависимостей модуль позволяет находить ошибки в уже имеющейся документации, что, в свою очередь, облегчает процесс внесения изменений и корректировок в документацию.

**Ключевые слова:** таблица зависимостей; системы автоматизированного проектирования; АРМ-ВТД; АРМ-ПТД; ОФТД; И-325-15.

### Введение

При проектировании как релейной, так и микропроцессорной системы электрической централизации (ЭЦ) одним из основных документов наряду со схематическим планом с осигнализованием является таблица зависимости (ТЗ) положения стрелок и сигнальных показаний светофоров в маршрутах. Таблица содержит всю информацию о включенных в централизацию поездных и маневровых маршрутах, негабаритных участках, вариантах управления стрелками, показаниях светофоров в маршрутах, параметрах работы перездной, оповестительной сигнализации и другие сведения, характеризующие принятые в системе ЭЦ зависимости ее основных элементов. Все схемные и программные решения, реализуемые системой ЭЦ, должны полностью соответствовать информации, содержащейся в таблице зависимости. Таблица зависимости разрабатывается на основании схематического плана станции и утверждается до разработки всей оставшейся документации по проекту.

В настоящее время понятие таблицы взаимозависимостей в электронном виде используется как в ОАО «РЖД», так и в подрядных организациях. Разработаны единый отраслевой формат технической документации [1–3] и комплексные решения для всех этапов жизненного цикла технической документации, использующие автоматическое построение таблицы взаимозави-

симости стрелок и сигналов в КЗ АРМ-ВТД [4–6]. Сейчас новые версии АРМ-ВТД эффективно используются на всей сети дорог России, во всех службах автоматики и телемеханики и дистанциях сигнализации, централизации и блокировки ОАО «РЖД».

Параллельно с АРМ-ВТД разрабатывался и внедрялся АРМ проектирования технической документации ЖАТ (АРМ-ПТД) [7]. Более 600 комплексов АРМ-ПТД, внедренных в проектных организациях, повышают эффективность проектирования устройств и систем ЖАТ. Разработанные средства автоматизации проектирования таблицы взаимозависимостей тесно связаны с автоматизированными экспертными системами [8–13].

С выходом методических указаний по проектированию И-325-15 «Проектирование таблицы зависимости положения стрелок и сигнальных показаний светофоров в маршрутах на железнодорожных станциях», разработанных институтом «Гипротранссигналсвязь», вместо таблицы взаимозависимости стрелок и сигналов следует проектировать таблицы зависимости положения стрелок и сигнальных показаний светофоров в маршрутах. Состав и формы новых таблиц отличаются от предыдущих.

## 1. Состав содержимого таблицы

Состав ТЗ можно разделить на четыре группы:

- основные таблицы;
- таблицы для станцийстыкования различного рода тока;
- таблицы, разрабатывающиеся при местных условиях;
- таблицы автоматической оповестительной сигнализации.

К основным таблицам относятся те, которые выдаются практически для каждой станции. К ним относятся «Основные поездные маршруты», «Варианты поездных маршрутов», «Маневровые маршруты», «Перечень маршрутов, исключаемых из централизованного управления», «Негабаритные участки и стрелки, не участвующие, но контролируемые в маршрутах», «Взаимозависимость показаний светофоров».

Для станциистыкований наряду с основными таблицами разрабатываются дополнительные: «Замыкание секций контактной сети», «Замыкание отключателей секций контактной сети», «Дополнительное замыкание секций контактной сети». Наряду с этим и основные таблицы для станцийстыкования имеют другую форму.

## 2. Автоматизация построения по схематическому плану

Автоматизировать построение ТЗ можно только по схематическому плану, разработанному в электронном виде и сохраненному в отраслевом

формате технической документации (ОФТД), утвержденном Департаментом автоматики и телемеханики – филиалом ОАО «РЖД». ОФТД представляет собой файл формата XML, в котором схематический план представлен в виде списка элементов с набором атрибутов и связей.

Процесс формирования ТЗ можно разделить на следующие этапы:

- 1) формирование модели станции;
- 2) составление по модели списка поездных и маневровых маршрутов;
- 3) создание перечня исключаемых маршрутов;
- 4) разделение всех маршрутов на поездные основные, поездные варианты, маневровые и исключаемые маршруты;
- 5) составление маршрутов безостановочного пропуска на основании поездных маршрутов;
- 6) составление перечня показаний светофоров в маршрутах;
- 7) поиск случаев охранности и негабаритности;
- 8) формирование основных таблиц;
- 9) формирование таблиц, разрабатывающиеся при местных условиях, включая таблицы для станцийстыкования различного рода тока;
- 10) поиск элементов автоматической оповестительной сигнализации и формирований таблиц автоматической оповестительной сигнализации;
- 11) поиск враждебных маршрутов.

Структурная схема модуля автоматизации построения ТЗ представлена на рис. 1.

Для автоматизации построения ТЗ необходимо представить схематический план станции в виде строго формализованной модели с определенными правилами взаимодействия элементов внутри нее. В качестве такой модели



Рис. 1. Структурная схема модуля синтеза таблиц зависимости

можно использовать иерархическую структуру данных, представляющую собой иерархию графов.

При графическом отображении графа первого уровня опускаются пути, не имеющие наименования, а для вершин выводится наименование или – если оно не указано – другая идентификационная информация.

Для построения списка маршрутов реализован алгоритм поиска в глубину по графу. Вначале выбираются первичные вершины поиска. Из каждой первичной вершины производится посекционный поиск вглубь. При прохождении секции, удовлетворяющей условиям поиска, пройденная цепочка секций запоминается, и при необходимости поиск может быть продолжен. Поиск заканчивается при достижении вершин графа, для которых нет исходящих ребер или все исходящие ребра ведут на вершины, уже пройденные в данной цепочке поиска.

На следующем этапе проводится поиск всех охранных стрелок, а также случаи проверок негабаритностей. Охранная стрелка – стрелка, не находящаяся непосредственно по трассе маршрута и устанавливаемая при подготовлении маршрута в положение, исключающее возможность выхода на этот подготовленный маршрут другого поезда, маневрового состава или локомотива, а также стрелка, которая исключает искусственное уменьшение пропускной способности станции.

После формирования полного списка маршрутов и списков охранности и негабаритности создается список маршрутов, которые должны быть исключены, и которые далее нигде не будут фигурировать. Исключению могут подлежать маршруты при резких перегибах составов на съездах (при длине вставки между рамными рельсами менее 12,5 м), в отсутствие подвески контактного провода, при использовании отдельных участков пути для стоянки составов и в других случаях. Если нет необходимости в маршрутах по съездам, одновременно находящимся в минусовых положениях, можно не устанавливать изолирующий стык между стрелками, сократив тем самым число изолированных участков и аппаратуры. В таком случае минусовые положения съездов заносятся в список охранных стрелок, и указывается, что другой съезд нужно устанавливать в плюсовое положение.

Из полученного списка всех маршрутов формируются три списка: основных поездных, вариантных поездных, маневровых маршрутов.

По списку поездных маршрутов находятся маршруты, в котором начальный и конечный светофоры имеют взаимозависимые сигнальные показания. Это маршруты приема и передачи на пути безостановочного пропуска. Такие маршруты копируются в отдельный список, который называется списком маршрутов пропуска.

Аналогичным способом создаются списки охранности и негабаритности, показания светофоров, замыкания контактной сети, работы оповестительной сигнализации.

```

<?xml version="1.0" encoding="windows-1251"?>
<?xmlstylesheet type='text/xsl' href='tvz2html.xsl'?>
<Документ xmlns="TabletlevZ" xmlns:TVZ="TabletlevZ">
  <TVZ Type="Таблица взаимозависимости"/>
    <Model>
      <TVZ:Маршруты>
        <TVZ:Маршрут id="792" Категория="поездной" Вид="прием" Способ_задания="основной" Имя="Прием на путь III" Длина="1218" ID_SvF="103" Name_SvF="Н" ID_PutF="111" Name_PutF="ИII" ID_PutTo="67" Name_PutTo="III">
          <СекцииМаршрута>
            <СекцияМаршрута ID_Sec="768" Name_Sec="III" Тип="начало"/>
            <СекцияМаршрута ID_Sec="767" Name_Sec="НII" Длина="237">
              <ИзолирующийСтык ID_IS="107"/>
            <УчастокПути ID_Put="98" Name_Put="НII"/>
            <ИзолирующийСтык ID_IS="94"/>
          </СекцииМаршрута>
          <СекцияМаршрута ID_Sec="766" Name_Sec="1-5СII" Длина="128">
            <ИзолирующийСтык ID_IS="94"/>
            <УчастокПути ID_Put="641"/>
            <Стрелка ID_Str="85" Name_Str="1" Положение="плос"/>
            <УчастокПути ID_Put="639"/>
            <Стрелка ID_Str="80" Name_Str="5" Положение="плос"/>
            <УчастокПути ID_Put="637"/>
            <ИзолирующийСтык ID_IS="72"/>
          </СекцииМаршрута>
          <СекцияМаршрута ID_Sec="765" Name_Sec="III" Длина="853" Тип="конец">
            <ИзолирующийСтык ID_IS="72"/>
            <УчастокПути ID_Put="67" Name_Put="III"/>
            <ИзолирующийСтык ID_IS="63"/>
          </СекцииМаршрута>
        </СекцииМаршрута>
        <ОхранныеСтрелкиМаршрута>
          <Стрелка ID_Str="183" Name_Str="3" Положение="плос"/>
        </ОхранныеСтрелкиМаршрута>
      </TVZ:Маршрут>
    </Model>
  </Документ>

```

Рис. 2. Пример таблицы зависимости в формате ОФГД

### **3. Формирование внешнего вида**

Далее данные из полученных списков маршрутов, охранности и негабаритности, показаний светофоров, замыкания контактной сети и работы оповестительной сигнализации формируются окончательные таблицы по формам, представленным в методических указаниях по проектированию И-325-15 «Проектирование таблицы зависимости положения стрелок и сигнальных показаний светофоров в маршрутах на железнодорожных станциях».

Полученные таблицы сохраняются в электронном виде в формате ОФТД. Пример таблицы зависимости в формате ОФТД представлен на рис. 2.

### **Выводы**

В современном мире компьютерных технологий важной задачей является автоматизация проектирования. При проектировании систем электрической централизации одна из основных задач – автоматизация построения таблицы зависимости положений стрелок и сигнальных показаний светофоров в маршрутах. Создание таблицы в ручном режиме может занимать несколько дней работы высококвалифицированного специалиста, а с использованием системы автоматизированного проектирования – несколько минут. Кроме того, при автоматизированном построении таблиц уменьшается вероятность ошибок. Представленный модуль формирования таблицы зависимости положений стрелок и сигнальных показаний светофоров в маршрутах имеет максимально простой и гибкий алгоритм, чтобы обеспечить необходимый компромисс между безопасностью (защитой от ошибок в самом алгоритме), применимостью в других алгоритмах синтеза и производительностью.

### **Библиографический список**

1. Седых Д. В. Применение отраслевого формата технической документации на устройства железнодорожной автоматики и телемеханики для интеграции приложений / Д. В. Седых, С. А. Суханов // Изв. ПГУПС. – 2005. – Вып. 3. – С. 74–79.
2. Балуев Н. Н. Проблемы внедрения отраслевого формата / Н. Н. Балуев, М. Н. Василенко, В. Г. Трохов, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 3. – С. 2.
3. Булавский П. Е. Принципы построения ядра интеграции АСУ-ТП на железнодорожном транспорте / П. Е. Булавский, Д. В. Седых // IX Санкт-Петербург. конф. «Региональная информатика – 2004», 22–24 июня 2004 г. – СПб., 2004. – С. 127–129.
4. Василенко М. Н. Развитие электронного документооборота в хозяйстве АТ / М. Н. Василенко, В. Г. Трохов, Д. В. Зуев, Д. В. Седых // Автоматика связь, информатика. – 2015. – № 1. – С. 14–16.

5. Седых Д. В. Система автоматизированного проектирования напольного технологического оборудования / Д. В. Седых, М. С. Трясов, М. Н. Василенко // Неделя науки – 2002 : программа и тез. докл. 62-й науч.-технич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – СПб., 2002. – С. 332.
6. Булавский П. Е. Методика оценки временных характеристик процессов электронного документооборота технической документации / П. Е. Булавский, Д. С. Марков // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 1. – С. 81–94.
7. Денисов Б. П. Автоматизация проектирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики на базе АРМ-ПТД версии 6 / Б. П. Денисов, Н. И. Рубинштейн, С. Н. Растворов, Н. Ю. Воробей // Актуальные вопросы развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. трудов ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2013. – С. 66–74.
8. Безродный Б. Ф. Автоматизация проверки проектов на основе АРМ-ТЕСТ / Б. Ф. Безродный, М. Н. Василенко, Б. П. Денисов, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 3. – С. 22–24.
9. Матушев А. А. Распознавание структуры монтажных схем ЖАТ / А. А. Матушев, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2015. – № 10. – С. 4–7.
10. Седых Д. В. Методы сверки чертежей напольного технологического оборудования железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Седых // Материалы юбилейной XV Санкт-Петербург. междунар. конф. «Региональная информатика – 2016», Санкт-Петербург, 26–28 окт. 2016 г. – СПб. : СПОИСУ, 2016. – С. 316–317.
11. Матушев А. А. Разработка обобщенной модели принципиальных электрических и монтажных схем для экспертизы и интеллектуальной корректировки / А. А. Матушев, Д. В. Седых, И. С. Ушаков // Материалы юбилейной XV Санкт-Петербург. междунар. конф. «Региональная информатика – 2016», Санкт-Петербург, 26–28 окт. 2016 г. – СПб. : СПОИСУ, 2016. – С. 305.
12. Василенко М. Н. Метод выделения структуры принципиальной электрической схемы железнодорожной автоматики и телемеханики при распознавании печатной документации / М. Н. Василенко, Р. А. Ковалев // Автоматика на транспорте. – 2017. – Т. 3, № 1.
13. Василенко М. Н. Методы выделения текстовых выражений принципиальных электрических схем железнодорожной автоматики и телемеханики / М. Н. Василенко, Р. А. Ковалев // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 4. – С. 540–551.

## **Technology of automated synthesis of points and signals dependence table**

Mikhail A. Gordon, Roman A. Koval'ov, Dmitry V. Sedykh

*„Automation and remote control on railways“ department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

New issue of guidelines I-325-15 “Design of points and signals dependence in routes of railway stations” published by Giprotranssignalsvyaz institute created the necessity

of invention of new module in ARM-PTD and ARM-VTD that could form dependence table for railway stations. The module developed is based on the deep-first search on station graph algorithm and allows forming the full set of tables by electronic form of schematic plan stored in the branch format of technical documentation. Besides dependence tables' formation module allows to find errors in existing documents that simplifies the process of documentation amending.

**Keywords:** *dependence table; CAD systems; ARM-PTD; ARM-VTD; branch format of technical documentation.*

## Сведения об авторах

*ГОРДОН Михаил Аркадьевич* – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* gordon\_ma@mail.ru

*КОВАЛЕВ Роман Александрович* – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* romanlisper@gmail.com

*СЕДЫХ Дмитрий Владимирович* – инженер кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* sedyhdmmitriy@gmail.com

© Гордон М. А., Ковалев Р. А., Седых Д. В., 2017

# ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ ИЗ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ

**А. А. Матушев, Д. В. Седых, И. С. Ушаков**

В данный момент принципиальные электрические схемы железнодорожной автоматики и монтажные схемы к ним существуют как два разных документа. Для них разработаны специальные отраслевые форматы. Однако несмотря на то, что принципиальные и монтажные схемы являются разными документами, они должны соответствовать друг другу. Для проверки соответствия схем необходимо представить их в качестве единой модели, которую можно построить с помощью как принципиальных, так и монтажных схем. В данной статье подробно рассмотрен алгоритм и ключевые особенности построения модели на основе принципиальных электрических схем.

**Ключевые слова:** моделирование; модель; диагностика; экспертиза технической документации; распознавание; отраслевой формат технической документации.

## Введение

В данный момент электрическая часть систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) описывается в документации с помощью принципиальных электрических и монтажных схем. Они представляют собой два разных способа описания электрической части систем ЖАТ. Для них разработаны специальные отраслевые форматы технической документации [1–4]. Этот формат внедрен на железных дорогах России и активно применяется при ведении технической документации [5–8]. Однако несмотря на то, что принципиальные и монтажные схемы являются разными документами, они должны соответствовать друг другу. Для проверки соответствия схем необходимо представить их в качестве единой модели, которую можно построить с помощью как принципиальных, так и монтажных схем.

Модуль экспертизы и корректировки схем [9] с помощью предложенной модели позволит избежать множества схемных ошибок еще на стадии проектирования [10]. Также модуль улучшит качество работы программного комплекса распознавания монтажной технической документации [11,12], корректируя полученные данные.

Также разработанная модель может быть использована в системах экспертизы технических решений [13–15], в системах функциональной диагностики и мониторинга [16–19].

Разработанная для решения этой задачи модель имеет восемь компонентов, которые условно можно разделить на три группы:

- 1) общие элементы: рабочее пространство, листы схемы. Эти элементы одинаковы для принципиальных и монтажных схем;
- 2) элементы, формирующие связи элементов: электрические узлы, выводы приборов, различные переходы схемы;
- 3) элементы, определяющие приборы, использованные на схеме: визуальные элементы листа, части устройств, устройства.

## 1. Алгоритм построения модели

Рассмотрим алгоритм формирования модели системы на основе принципиальных электрических схем.

Как видно из рис. 1, построение модели можно условно разделить на три этапа:

- создание рабочего пространства и листов схемы;
- построение электрических узлов схемы, определяющих связи элементов;
- определение используемых на схеме приборов.

В рабочем пространстве для управления данными создаются и хранятся данные с листов схемы. Количество загружаемых листов не регламентировано и характеризует объем и размеры схем, используемых в качестве исходных данных. Этот этап является первым как для принципиальных, так и для монтажных схем.

Электрические узлы представлены лишь на принципиальных схемах, поэтому построение модели принципиальной схемы начинается именно с построения электрических узлов. На монтажных схемах связи элементов закодированы в монтажных адресах, чтобы построить связи элементов, необходимо сначала определить все приборы со всех листов схемы.

Приборы на принципиальных схемах могут быть представлены в виде множества частей и выводов (например, обмотки и контактных групп реле), нередко – на разных листах схемы. Для корректного определения приборов необходимо определить все части устройств со всех листов схемы. На монтажных схемах приборы сгруппированы по модели монтажа, и всю информацию о приборе можно взять с одного листа.

В результате можно сказать, что построение модели для принципиальных схем выглядит так:

- загрузка исходных данных;
- создание рабочего пространства и листов схемы;
- формирование электрических узлов;
- определение устройств;
- построение модели расположения.



A

Рис. 1. Алгоритм формирования модели

## 2. Алгоритм построения электрических узлов

Первым шагом создания электрических узлов является выделение выводов приборов на листах схемы. Множество связей, точек и переходов в совокупности определяют узлы схемы. На одном листе может быть представлено до четырех видов компонентов узлов:

- электрические узлы, представляющие собой места соединения нескольких выводов устройств (рис. 2);
- внутристраничные переходы (рис. 3а);
- межстраничные переходы (рис. 4);
- полюса питания. Один лист схемы содержит в среднем 5–10 полюсов питания, которые также описывают логику работы схемы и представляют собой функциональные ссылки (рис. 3б).

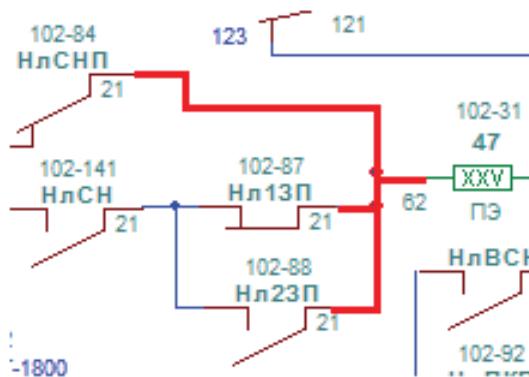


Рис. 2. Электрический узел из выводов устройств

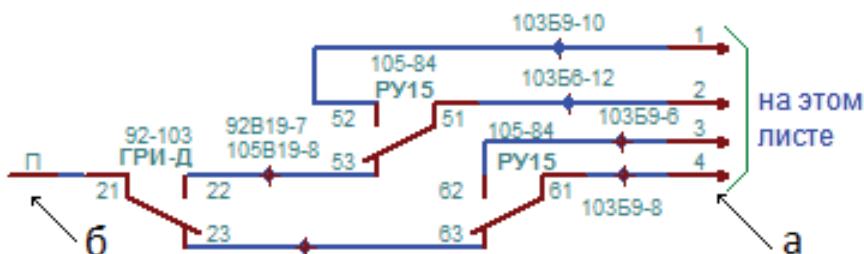


Рис. 3. Внутристраничные переходы (а); полюса питания (б)

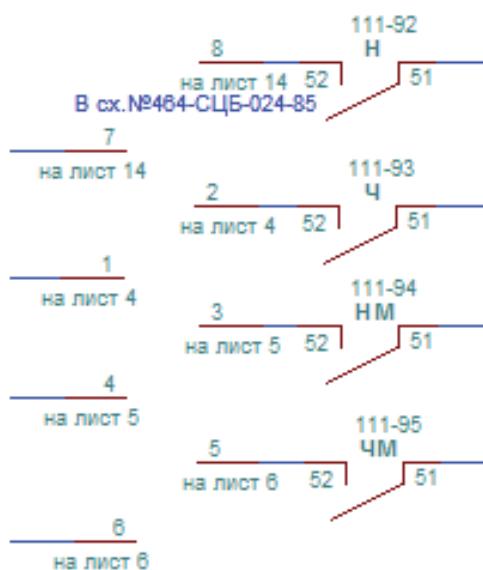
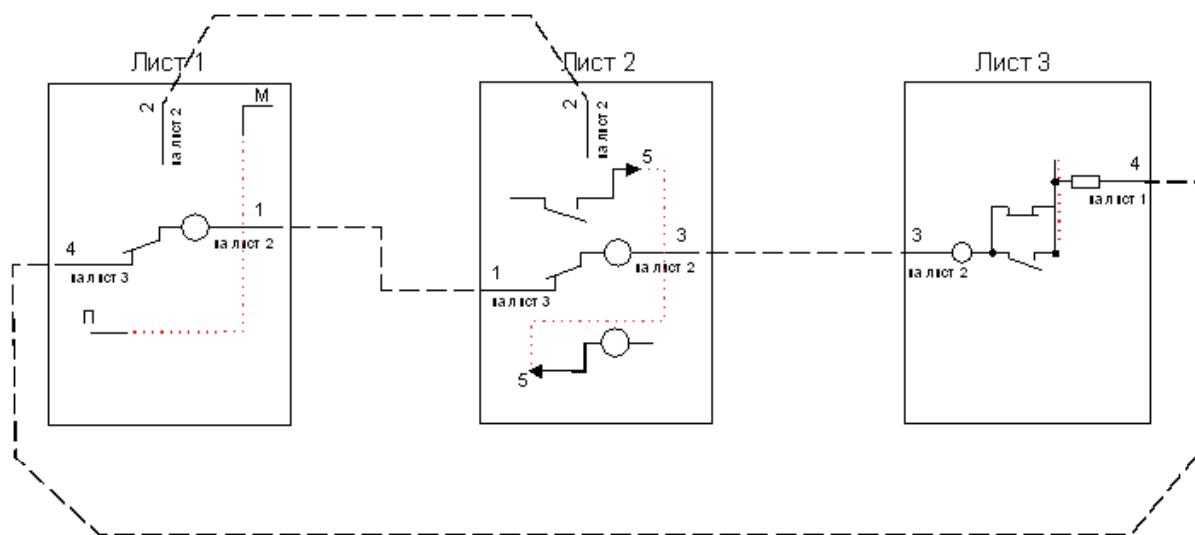


Рис. 4. Межстраничные переходы

Каждый переход на данном этапе определяется алгоритмом отдельно как независимый компонент узла. Если на схеме есть межстраничные и внутристраничные переходы, то они создаются после обработки всех листов.

Далее производится группировка узлов. Одноименные и равнозначные узлы (ссылки, переходы, полюса питания) объединяются в один (или более) узел в зависимости от их информационного назначения и логики. На структурной схеме (см. рис. 5) представлен принцип образования и группировки узлов.



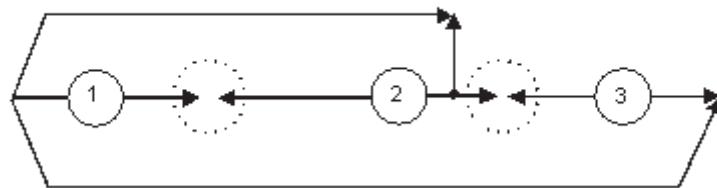
**Рис. 5.** Группировка узлов

Идентификаторы ссылки (1, на лист 2, на 2–2) могут иметь неявные названия, как показано на рис. 5. Но по одному из идентификаторов в пределах одного листа невозможно определить, какой связанностью он обладает на многолистовой схеме. Идентификаторы, имеющие одинаковые значения, будут логически связаны. Процесс группировки реализует глобальную связанность всех страниц и элементов в пределах одной схемы, обеспечивая тем самым точность создаваемой модели.

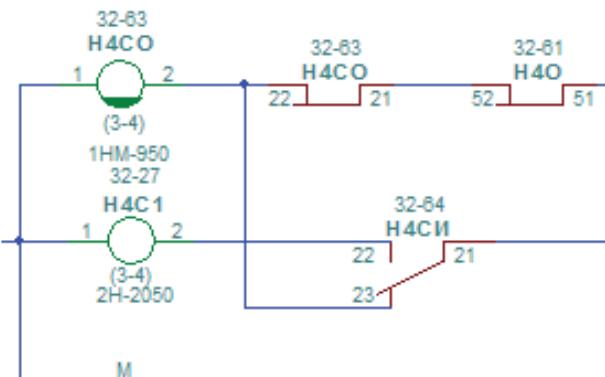
Из шести узлов, выделенных ранее (на рис. 5 обозначены пунктирной линией), образуются соединения узлов. Точки соединения образуют конечные информационные узлы. Граф (рис. 6) демонстрирует точки объединения узлов.

### 3. Алгоритм определения устройств

Для нахождения устройств в первую очередь определяются все визуальные элементы схемы (рис. 7). После определения визуальных элементов необходимо распознать и зафиксировать их логическое описание, после этого они станут частями устройств.



**Рис. 6.** Объединение узлов



**Рис. 7.** Визуальные элементы схемы

Части устройств образуют описание отдельного устройства компьютерной модели. Частная задача состоит в определении всех свойств элемента, верность и точность создаваемой модели напрямую зависят от корректности оценки исходных данных. Для элементов принципиальных схем необходимо определить имя, марку устройства, тип устройства, вид управления, ординату, назначение и т. д. Для контактных групп монтажных электрических схем необходимо определить номер ряда, место в ряду. Набор свойств каждого конкретного визуального элемента любой схемы имеет индивидуальный характер.

В момент определения всех параметров частей устройства также идентифицируется информация, по которой можно найти данный элемент на странице.

В результате определения элементов со всех листов части устройств объединяются в целые устройства.

Последним этапом идет анализ монтажных адресов, цель которого – построить модель расположения приборов в релейном помещении.

## Выводы

Представленные алгоритмы позволяют создать обобщенную модель принципиальных электрических схем. Полученная модель имеет информацию обо всех приборах, использованных в схеме, их свойствах, связях с другими приборами и месте расположения в релейном помещении. С помощью

отдельного модуля построения аналогичной модели из монтажных схем, которая должна соответствовать модели, полученной из принципиальных схем, данную информацию можно использовать для экспертизы принципиальных и монтажных схем. Модель, построенная с помощью рассмотренных алгоритмов, позволит объединить два вида схем в общее описание. Таким образом можно проверить соответствие принципиальных и монтажных схем друг другу.

Модуль экспертизы и корректировки схем с помощью предложенной модели позволит избежать множества схемных ошибок еще на стадии проектирования. Также модуль улучшит качество работы программного комплекса распознавания монтажной технической документации, корректируя полученные данные.

## Библиографический список

1. Седых Д. В. Применение отраслевого формата технической документации на устройства железнодорожной автоматики и телемеханики для интеграции приложений / Д. В. Седых, С. А. Суханов // Изв. ПГУПС. – 2005. – Вып. 3. – С. 74–79.
2. Балуев Н. Н. Проблемы внедрения отраслевого формата / Н. Н. Балуев, М. Н. Василенко, В. Г. Трохов, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 3. – С. 2.
3. Булавский П. Е. Принципы построения ядра интеграции АСУ – ТП на железнодорожном транспорте / П. Е. Булавский, Д. В. Седых // IX Санкт-Петербург. конф. «Региональная информатика – 2004», 22–24 июня 2004 г. – СПб., 2004. – С. 127–129.
4. Седых Д. В. Методы интеграции в АСУ-Ш / Д. В. Седых, М. Н. Василенко // 65-я науч.-технич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Неделя науки – 2005». – СПб., 2005. – С. 152.
5. Василенко М. Н. Развитие электронного документооборота в хозяйстве АТ / М. Н. Василенко, В. Г. Трохов, Д. В. Зуев, Д. В. Седых // Автоматика связь, информатика. – 2015. – № 1. – С. 14–16.
6. Булавский П. Е. Формализация алгоритмического описания систем обеспечения жизненного цикла железнодорожной автоматики и телемеханики / П. Е. Булавский, Д. С. Марков, В. Б. Соколов, Т. Ю. Константинова // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1, № 4. – С. 418–432.
7. Булавский П. Е. Методика оценки временных характеристик процессов электронного документооборота технической документации / П. Е. Булавский, Д. С. Марков // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 1. – С. 81–94.
8. Василенко М. Н. Развитие электронного документооборота в хозяйстве АТ / М. Н. Василенко, В. Г. Трохов, Д. В. Зуев, Д. В. Седых // Автоматика связь, информатика. – 2015. – № 1. – С. 14–16.
9. Матушев А. А. Разработка обобщенной модели принципиальных электрических и монтажных схем для экспертизы и интеллектуальной корректировки / А. А. Матушев, Д. В. Седых, И. С. Ушаков // Материалы юбилейной XV Санкт-Петербург. меж-

- дунар. конф. «Региональная информатика – 2016», Санкт-Петербург, 26–28 окт. 2016 г.– СПб. : СПОИСУ, 2016.– С. 305.
10. Денисов Б. П. Автоматизация проектирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики на базе АРМ-ПТД версии 6 / Б. П. Денисов, Н. И. Рубинштейн, С. Н. Растегаев, Н. Ю. Воробей // Актуальные вопросы развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. трудов ; под ред. Вл. В. Сапожникова.– СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2013.– С. 66–74.
  11. Матушев А. А. Распознавание структуры монтажных схем ЖАТ / А. А. Матушев, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2015. – № 10. – С. 4–7.
  12. Седых Д. В. Методы распознавания структуры монтажных схем железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Седых, А. А. Матушев // Автоматика на транспорте. – 2016.– Т. 2, № 4. – С. 552–563.
  13. Седых Д. В. Учет работы приборов с помощью АРМ-УРП / Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 3. – С. 7–8.
  14. Горбачев А. М. Автоматизация анализа, экспертизы и сверки технической документации системы железнодорожной автоматики и телемеханики / А. М. Горбачев // Изв. ПГУПС. – 2012.– Вып. 4.– С. 73–78.
  15. Безродный Б. Ф. Автоматизация проверки проектов на основе АРМ-ТЕСТ / Б. Ф. Безродный, М. Н. Василенко, Б. П. Денисов, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 9. – С. 22–24.
  16. Лыков А. А. Техническое диагностирование и мониторинг состояния устройств ЖАТ / А. А. Лыков, Д. В. Ефанов, С. В. Власенко // Транспорт РФ.– 2012.– № 5.– С. 67–72.
  17. Ефанов Д. В. Некоторые аспекты развития систем функционального контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов // Транспорт Урала.– 2015.– № 1.– С. 35–40.
  18. Ефанов Д. В. Становление и перспективы развития систем функционального контроля и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов // Автоматика на транспорте.– 2016.– Т. 2, № 1.– С. 124–148.
  19. Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : моногр. / Д. В. Ефанов. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – 171 с.

## **Formation of model of railway automation and remote control systems technical solutions based on circuit diagrams**

Andrey A. Matushev, Dmitry V. Sedykh, Ivan S. Ushakov

*,,Automation and remote control on railways“ department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

Nowadays circuit diagrams of railway automation and their wiring diagrams exist as two separate documents. Special branch formats are developed for them. But, despite they are

separate documents, they should correspond to each other. To check the correspondence they should be presented as united model, which could be created using either circuit or wiring diagrams. In this paper authors describe the algorithm of model formation based on circuit diagrams.

**Keywords:** *modeling; model; diagnostics; technical documentation expertise; recognition; technical documentation branch format.*

## **Сведения об авторах**

*МАТУШЕВ Андрей Александрович* – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* dron\_90@bk.ru

*СЕДЫХ Дмитрий Владимирович* – инженер кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* sedyhdmitriy@gmail.com

*УШАКОВ Иван Сергеевич* – инженер кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* wsnzone@gmail.com

© Матушев А. А., Седых Д. В., Ушаков И. С., 2017

# *Геоинформатика*

УДК 004.9+656.21

## **РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ СТРУКТУРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ОАО «РЖД»**

**Н.А. Богданов, А.А. Никитчин**

Рассматривается возможность применения геоинформационной системы с системой поддержки принятия решений для повышения эффективности использования ресурсов, оптимизации выполнения работ, связанных с техническим содержанием устройств, в подразделениях дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД». Представлены требования к разрабатываемой геоинформационной системе.

**Ключевые слова:** геоинформационная система; система поддержки принятия решения; дирекция инфраструктуры; система мониторинга.

### **Введение**

Содержание инфраструктуры железных дорог РФ в работоспособном и исправном состоянии требует огромных материальных и людских ресурсов, поэтому одна из главных задач ОАО «РЖД» – уменьшить затраты на содержание и обслуживание инфраструктурного комплекса без потери надежности. Этого можно достичь путем совершенствования методов обслуживания и обновления парка морально и физически устаревших средств механизации, применения современных средств и систем удаленного мониторинга, автоматизированных систем управления и искусственного интеллекта.

Большое количество данных от средств технического диагностирования и мониторинга (ТДМ) и автоматизированных систем управления (АСУ), требующих анализа, приводит к загруженности информацией работников диспетчерского аппарата служб дирекции инфраструктуры (ДИ). Таким образом, необходимо собирать, хранить и визуализировать данные, а также применять системы, способные эффективно в краткие сроки:

- вести паспортную, проектную и нормативно-справочную документацию в соответствии с текущим состоянием объектов;
- собирать, синхронизировать, анализировать и визуализировать данные, получаемые от систем ТДМ и АСУ в режиме реального времени;
  - определять фактическое поездное положение;
  - оценивать эффективность использования ресурсов;
  - планировать работы, связанные с ремонтом и текущим обслуживанием объектов железнодорожной инфраструктуры;
  - выявлять и контролировать своевременное устранение нарушений содержания объектов железнодорожной инфраструктуры;
  - прогнозировать состояние объектов.

В 2012 г. президент ОАО «РЖД» подписал приказ «О создании структурных подразделений дирекции инфраструктуры», в соответствии с которым в сети железных дорог РФ для организации эффективной работы ОАО «РЖД» в составе ДИ выделены специализированные подразделения – дистанции пути и искусственных сооружений, дистанции сигнализации централизации и блокировки, дистанции электроснабжения и электрификации, а также структурные подразделения, в зону ответственности которых входят гражданские сооружения и вагонное хозяйство.

Главной задачей структурных подразделений, включенных в ДИ, является обеспечение существующей или повышение пропускной способности сети железных дорог путем поддержания технической и технологической готовности обслуживаемых устройств, уменьшения количества нарушений и др. Увеличение скоростей движения, перевозимого тоннажа, уменьшение интервалов попутного следования между поездами, повышение количества пар поездов влекут за собой уменьшение времени и создание дополнительных сложностей обслуживающему персоналу при поддержании закрепленных устройств в работоспособном и исправном состоянии. Перечисленные проблемы требуют нахождения новых и совершенствования имеющихся методов обслуживания и ремонта.

Создание высокоточной координатной системы (ВКС) комплексной системы пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта (КСПД ИЖТ) позволит обеспечить высокоточными координатными данными все объекты, входящие в железнодорожную инфраструктуру. Задача ВКС КСПД ИЖД – организовать взаимодействие между АСУ в течение всего жизненного цикла железнодорожного комплекса. В настоящее время ВКС широко применяется при изысканиях, проектировании и ремонте железнодорожного пути, а на железнодорожных магистралях активно создаются геодезические сети [1–10].

Применение пространственных данных и другой информации из ВКС КСПД ИЖД позволит создать геоинформационную систему с блоком поддержки принятия решений (СППР), которая будет способна эффективно решать текущие проблемы эксплуатации железнодорожной инфраструктуры.

## **Формирование требований для создания геоинформационной системы**

Геоинформационная система (ГИС) – система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных (геоинформационных) данных и связанной с ними информации о наблюдаемых объектах [11]. Таким образом, ГИС – это усовершенствованные базы данных с возможностью моделирования территориальной инфраструктуры предприятия (коммуникаций, территориальной структуры и др.).

Системы ГИС позволяют выполнять следующие функции:

- моделировать технологический процесс предприятия по результатам измерений глобальных навигационных спутниковых систем, наземного и воздушного лазерного сканирования;
- управлять парком транспортных средств и эксплуатационным штатом предприятия;
- вести мониторинг текущего состояния объектов инфраструктуры и планировать график технического обслуживания и ремонта закрепленных за предприятием устройств и систем;
- предоставлять информационно-справочные услуги пользователям системы.

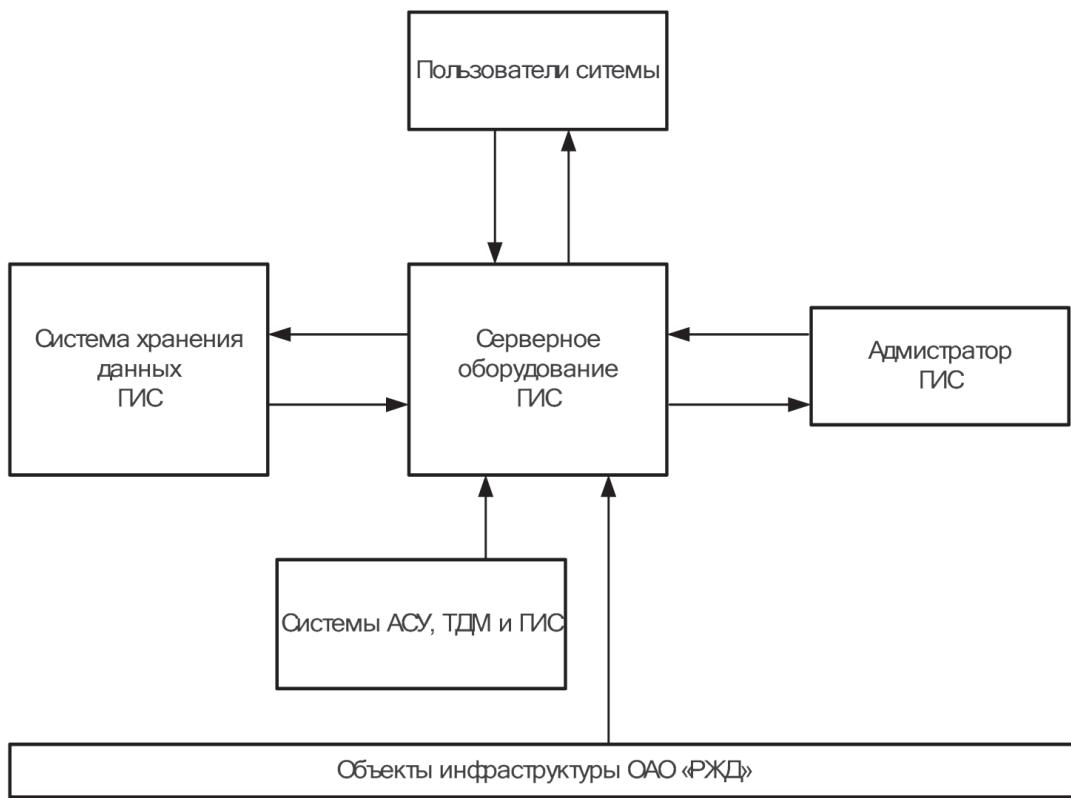
ГИС железнодорожного транспорта – информационно-управляющая автоматизированная система, призванная обеспечивать решение задач инвентаризации, проектирования и управления объектами железнодорожного транспорта [4].

На основании анализа существующих ГИС [12–16], применяемых не только в транспортной, но и в других сферах деятельности человека, учитывая специфику железнодорожного транспорта, сформируем требования к информационному, аппаратно-программному и техническому обеспечению ГИС с СППР для управления структурными подразделениями ДИ ОАО «РЖД».

Система хранения данных должна содержать следующую информацию об объектах железнодорожной инфраструктуры:

- инвентарные и технические данные объектов;
- данные о землях, входящих в полосу отвода железной дороги;
- проекты, нормативные акты и другую нормативно-справочную документацию;
- результаты мониторинга за весь период;
- данные о техническом и технологическом штате и закрепленными за ними объектами;
- графики работ по техническому обслуживанию, ремонту и строительству объектов железнодорожной инфраструктуры.

На основании задач и функций, которые должна решать и выполнять ГИС ДИ ОАО «РЖД», определим ее составные компоненты (рис. 1).



**Рис. 1. Структурная схема ГИС ДИ ОАО «РЖД»**

Управление линейными предприятиями железнодорожной инфраструктуры должно осуществляться на основе:

- картографических, геодезических, геологических и гидрологических баз данных ОАО «РЖД»;
- данных от других ГИС;
- данных топографической съемки, дистанционного зондирования полосы отвода железной дороги и прилегающих к ней территорий;
- измерений, выполненных геодезическими методами и системами ТДМ;
- результатов комиссионных осмотров и обследований;
- данных от систем АСУ и мониторинга;
- данных о реальном поездном положении;
- данных об участковой установленной скорости движения и грузонапряженности железнодорожных участков;
- графика движения поездов.

На этом основании определим необходимый перечень слоев для разрабатываемой ГИС (рис. 2). ГИС с СППР в процессе управления линейным предприятием должна предоставлять пользователям следующую визуализированную информацию:

- график железной дороги с пространственной привязкой всех прилегающих объектов;

Поездное положение
Данные от систем ТДМ, АСУ ГИС
Оснащенность линейных предприятий
Масштабные планы ж.д.
Топография
Гидрография
Грунты

**Рис. 2.** Перечень слоев разрабатываемой ГИС ДИ ОАО «РЖД»

- фото- и видеоматериалы о запрашиваемом объекте (включая режим просмотра в реальном времени);
- паспортную, проектную и нормативно-справочную информацию об объектах;
- данные о работах за не необходимый период;
- результаты периодических проверок, комиссионных осмотров и мониторинга технического состояния;
- графики технологического процесса содержания устройств.

Разрабатываемая ГИС с СППР в процессе управления линейным предприятием должна позволять:

- создавать, дополнять и редактировать базу данных с применением специализированного программного обеспечения;
- вести работу с существующими картографическими слоями, а также позволять создавать и корректировать новые слои;
- работать в системах координат ВКС ОАО «РЖД», ПЗ-90 и WGS-84;
- искать объекты;
- выполнять необходимые измерения;
- прокладывать маршруты движения транспортных средств;
- планировать работы по техническому обслуживанию и ремонту;
- получать данные от смежных систем (ГИС, АСУ, ТДМ) и визуализировать их для более точной информации о техническом состоянии объектов и о поездном положении в режиме реального времени;
- создавать отчетную документацию в соответствии с установленными требованиями ОАО «РЖД».

## Выводы

Создание ГИС с СППР, способной решать перечисленные задачи и проблемы, возникающие при содержании объектов железнодорожной инфраструктуры, позволит:

- накапливать, систематизировать и визуализировать данные;
- оперативно передавать техническому и технологическому персоналу достоверную и актуальную информацию о техническом состоянии объектов инфраструктуры, поездном положении и выполняемых работах;
- повысить уровень контроля качества работ по содержанию объектов железнодорожной инфраструктуры;
- увеличить эффективность принятия управленческих решений;
- снизить эксплуатационные затраты на содержание объектов инфраструктуры;
- повысить безопасность движения поездов.

## **Библиографический список**

1. Матвеев С. И. Высокоточные цифровые модели пути и спутниковая навигация железнодорожного транспорта : моногр. / С. И. Матвеев, В. А. Коугия. – М. : Маршрут, 2005. – 290 с.
2. Гапанович В. А. В едином высокоточном координатном пространстве / В. А. Гапанович // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 11. – С. 16–20.
3. Воробьёв В. Б. Реализуя инновационные подходы и технологии / В. Б. Воробьёв, В. М. Ермаков // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 11. – С. 21–23.
4. Гельфгат А. Г. Топографо-геодезическое обеспечение с использованием ГЛОНАСС / А. Г. Гельфгат, В. Д. Гайдуков, Д. А. Вольфсон, Д. С. Манойло // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 11. – С. 24–26.
5. Родоманченко М. Г. Инженерные изыскания и проектирование ВКС / М. Г. Родоманченко, А. А. Альхимович, Д. С. Манойло, А. В. Портнов // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 11. – С. 27–29.
6. Черногоров Ю. А. Диагностика объектов инфраструктуры с применением КСПД ИЖТ / Ю. А. Черногоров, В. П. Бирюзов, А. И. Лисицын, Е. В. Ермаков // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 11. – С. 30–32.
7. Борецкий А. А. Особенности инновационной технологии модернизации пути / А. А. Борецкий, И. Я. Пименов, В. М. Ермаков и др. // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 11. – С. 33–35.
8. Танаев, В. Ф. Пилотный проект на Октябрьской железной дороге / В. Ф. Танаев, Е. В. Дорот, Е. А. Шевцов, О. Ю. Попов // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 11. – С. 36–39.
9. Тяглов Р. С. Решение прикладных задач инфраструктурного комплекса / Р. С. Тяглов, О. А. Янович, Н. П. Фомин и др. // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 11. – С. 40–42.
10. Назаров А. С. Нормативное обеспечение координатных методов / А. С. Назаров, Д. А. Вольфсон, Б. Ш. Альтшулер, Н. В. Сазонов // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 11. – С. 43–44.
11. Географическая информационная система. – URL : <http://nku3.ru/1-kurs/geograficheskaiainformatcionnaia-sistema>.
12. Розенберг И. Н. Интегрированная система управления железной дорогой применением спутниковых технологий / И. Н. Розенберг, О. В. Тони, В. Я. Цветков // Транспорт РФ. – 2010. – № 6. – С. 54–57.

13. Управление и контроль транспортных средств различного назначения с применением спутниковых навигационных систем, систем цифровой связи и дистанционного зондирования. – URL : <http://www.vniias.ru/control-and-supervision-of-various-vehicles>.
14. Чесноков В. С. Геоинформационные системы железнодорожного транспорта / В. С. Чесноков, М. И. Ярушина. – URL : <http://www.scienceforum.ru/2015/pdf/13879.pdf>.
15. Иодис В. Я. Система мониторинга деформаций компании JAVAD GNSS / В. Я. Иодис // Геопрофи. – 2015 – № 3. – С. 4–8.
16. Брусило В. А. Комплексная отраслевая геоинформационная система автомобильных дорог «ДОРГИС» / В. А. Брусило // Геопрофи. – 2015. – № 3. – С. 9–13.

## **Development of concept of geoinformation system for effective control of structural units of JSC “RZD”**

Nikolay A. Bogdanov, Andrey A. Nikitchin

*„Engineering geodesy“ department,  
„Automation and remote control on railways“ department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

Authors consider the possibility to apply a geoinformation system with decision support system for resource efficiency and optimisation of works connected with equipment maintenance in structural units of Infrastructure directorate JSC “RZD”. Requirements to the system are developed.

**Keywords:** *geoinformation system; decision support system; Infrastructure directorate; monitoring system.*

### **Сведения об авторах**

**БОГДАНОВ Николай Александрович** – ассистент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах», аспирант кафедры «Инженерная геодезия» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;

*e-mail:* nabogdanov85@gmail.com

**НИКИТЧИН Андрей Андреевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная геодезия» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;

*e-mail:* anikitchin@gmail.com

© Богданов Н. А., Никитчин А. А., 2017

# *Техносферная безопасность*

УДК 504.064.36+681.5.015+331.452

## **ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТНИКА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЯХ**

**В. В. Хорошев**

Представлен вариант построения мониторинговой системы, позволяющей сократить число несчастных случаев при производстве технологических окон на железнодорожном транспорте. Предлагается использовать существующую систему мониторинга контактной сети с частотой передачи данных в 868,7 МГц как основу для построения подсистемы слежения за передвижением персонала по железнодорожным путям.

**Ключевые слова:** система мониторинга; безопасность производства работ; охрана труда; мониторинг контактной подвески; GPS-модуль; GSM-модуль; RFID-технология; техническое обслуживание; железнодорожный транспорт; мониторинг.

### **Введение**

Обеспечение безопасности при производстве работ на железнодорожных линиях Российской Федерации – первостепенный вопрос. Ежегодно персонал травмируется по различным причинам. Главными факторами опасных ситуаций являются невнимательность, плохое состояние здоровья или погодные условия. Вопрос организации производства работ должен решаться на высоком уровне. Необходим надзор за персоналом и безопасным производством работ. Сегодня надзор за работниками производят специально уполномоченные люди: сигналисты, начальники бригады или наблюдающий. В их обязанности входит надзор за производством работы и за поездной обстановкой в зоне работ [1, 2]. Множество несчастных случаев происходит из-за некачественной организации производственного процесса.

Для примера рассмотрим полигон центральной дирекции инфраструктуры (ЦДИ) за период с 01.01.2016 г. по 30.09.2016 г. Согласно справке начальника службы охраны труда, промышленной безопасности и экологии ЦДИ А. В. Морковникова от 11.10.2016 г. о несчастных случаях, произошедших в ее подразделениях, охрана труда на предприятии на 2016 г. неудовлет-

ворительна, было смертельно травмировано 16 работников [3]. Основными причинами травмирования являются невнимательность и халатное отношение к инструкциям по безопасному проведению работ. Для дополнительного контроля персонала на полигоне российских железных дорог необходимо ввести мониторинг каждого работника, попадающего в зону движения поездов.

Обязательными атрибутами работников на путях являются спецодежда и сигнальный жилет, которые позволяют отчетливо различать персонал издалека [4]. Старшие, наблюдающие и сигналисты имеют с собой радиостанции для связи и оповещений о приближающихся поездах. Но если работы производятся в зоне движения поездов с плохой видимостью, например в кривой? Кривая сокращает расстояние, на котором можно заметить работника. А при работе с техникой затруднительно использовать радиостанцию из-за сильных шумов от механизмов. В таких условиях на порядок вырастает вероятность несчастного случая – наезда подвижного состава на персонал. Сейчас при производстве работ на путях машинистам поездов выдается листок предупреждения о проводимых работах. Чтобы снизить вероятность несчастных случаев, необходима система, позволяющая отслеживать местоположение каждого работника и подвижных единиц и в случае их близкого расположения выдавать предупреждение об опасности. Такого рода задача решается путем внедрения системы мониторинга персонала «Работник на пути».

## **1. Система мониторинга персонала «Работник на пути»**

Систему можно поделить на три составляющие. Первая – это радиочастотная метка на сотруднике. Датчик (метка) может быть как на сигнальном жилете (вшита или наклеена), так и в браслете-трекере. Энергопотребление метки минимальное: либо это пассивная метка, не нуждающаяся в питании, либо активная, но с малой мощностью. В качестве таких меток на ближнем расстоянии можно рассматривать метки RFID [5, 6]. Вторая составляющая – система передачи данных: антенны, посылающие и принимающие сигнал от метки, ретрансляторы-модемы, а также специальное ПО для мониторинга за передвижением меток. Ретранслятор-модем размещают на опорах контактной сети. Сеть передачи уже есть – это канал с собственным протоколом на частоте 868,7 МГц (например, она развернута на участке Торбино – Боровенка линии скоростного сообщения «Санкт-Петербург – Москва») [7–10]. Возможно исполнение систем на базе спутниковой или сотовой связи, что требует наличия модуля GPS или, соответственно, GSM-модуля, по которому передается информация о владельце. С помощью метода триангуляции через сотовые сети можно отследить передвижение работника. К третьей составляющей относится аппаратура, устанавливаемая на самоходные подвижные единицы железнодорожного транспорта. Блок системы мониторинга персонала (СМП) размещается в кабине машиниста. Аппаратура имеет антенну,

установленную на корпусе самоходной подвижной единицы. Блок в кабине выдает информацию о приближении к объекту, имеющему радиометку. Блок СМП также посыпает в сеть информацию о своем местоположении. Система сравнивает положения подвижной единицы и находящейся рядом радиометки. Если радиометка находится рядом с подвижной единицей, система отправляет оповещение об этом на блок СМП. При наличии трекера оповещение о подвижной единице приходит на трекер. Тот начинает вибрировать на запястье носителя, а в кабине машиниста блок СМП издает звуковой сигнал и показывает расстояние до ближайшей метки на пути. Таким образом, и машинист, и работник предупреждены об опасности, есть шанс избежать опасности (рис. 1).

Один из важных элементов системы – браслет-трекер, имеющий малый монохромный дисплей и кнопку экстренного вызова. Энергопотребление устройства должно быть максимально снижено для увеличения автономной работы. Изготавливается оно из гипоаллергенного силикона для большей износостойкости и во избежание аллергических реакций у носителя.

Для более подробного наблюдения за работниками возможна модернизация браслета. Так, в корпус трекера можно уместить пульсометр, датчик измерения сопротивления кожи, датчики нахождения паров, радиации, а также динамик и вибромоторчик. В опасной ситуации браслет начнет вибрировать, издавая звук тревоги и выведет на экран бегущую строку о типе опасной ситуации. Для синхронизации с мобильными устройствами или компьютером можно использовать модуль Bluetooth и разъем microUSB. При работе с мобильными устройствами возможна более гибкая и подробная работа с браслетом.

Кроме предупреждения о работниках на пути блоки СМП получают и обрабатывают информацию друг о друге, к примеру, при нахождении двух подвижных единиц на одном пути исключаются столкновения. Так, если

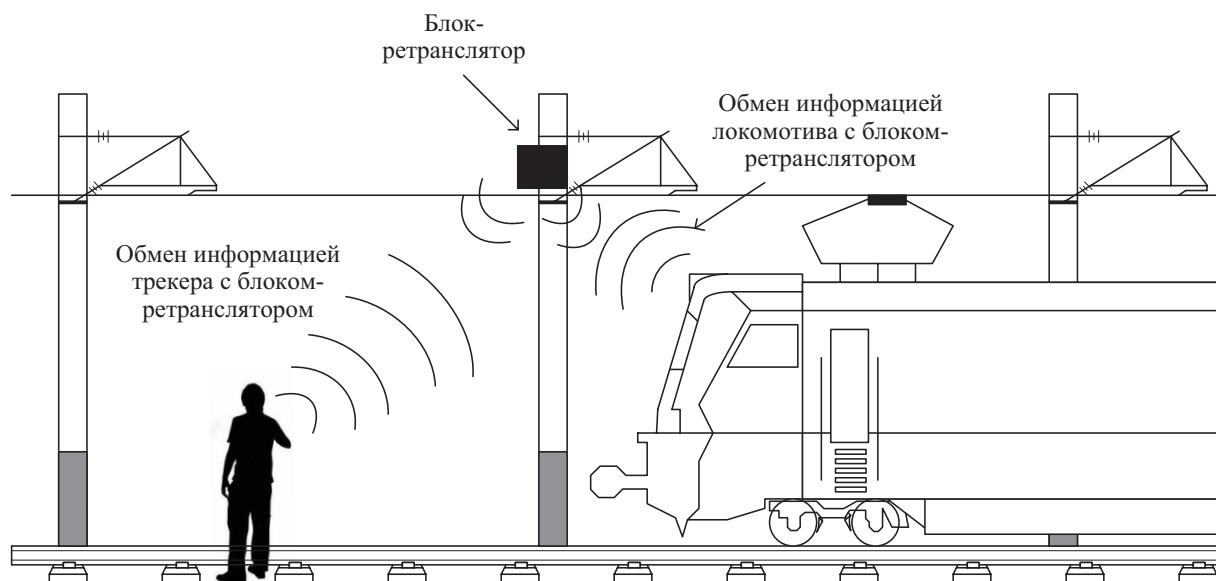
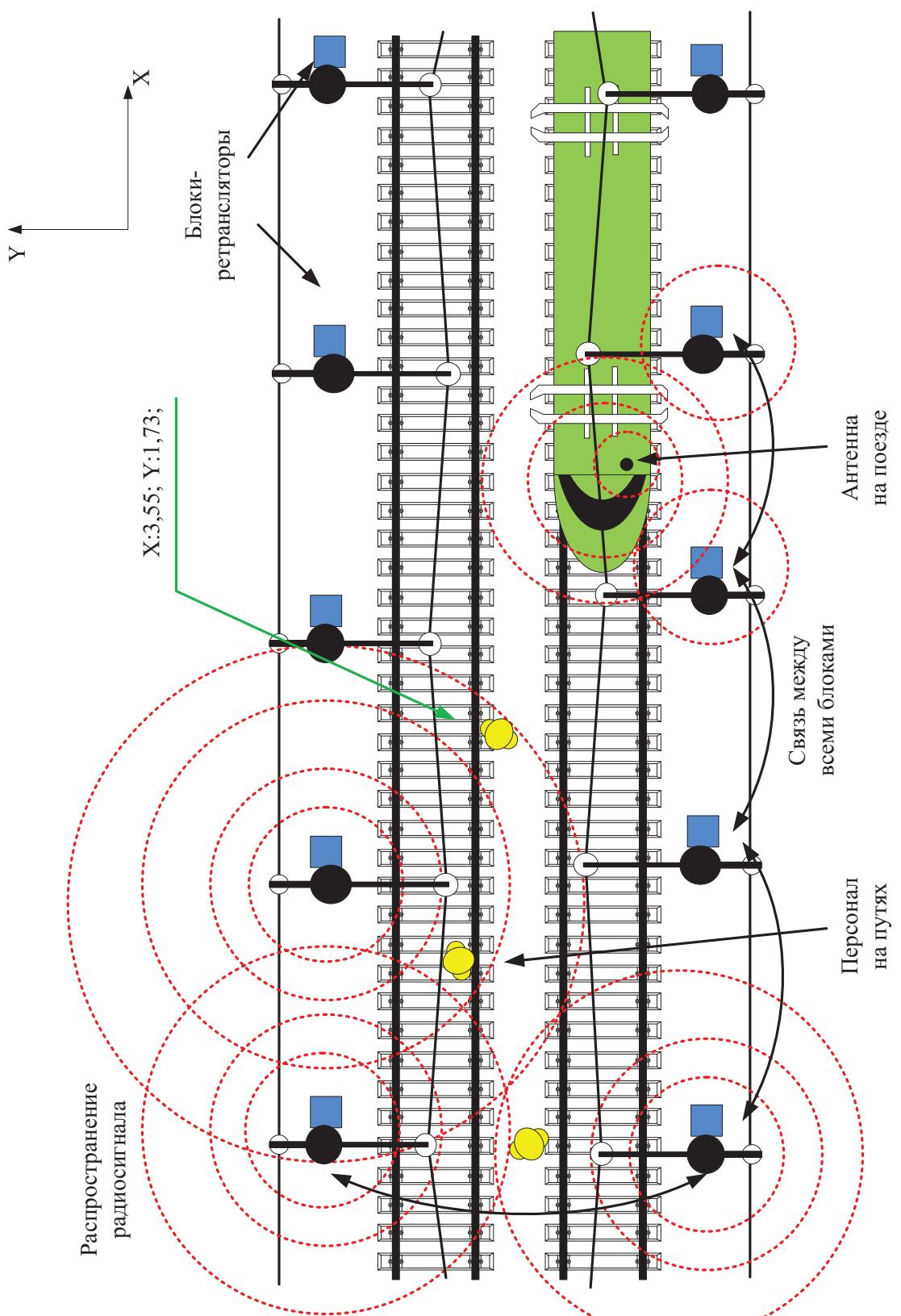


Рис. 1. Функционирование системы «Работник на пути»



**Рис. 2. Принцип работы системы «Работник на пути»**

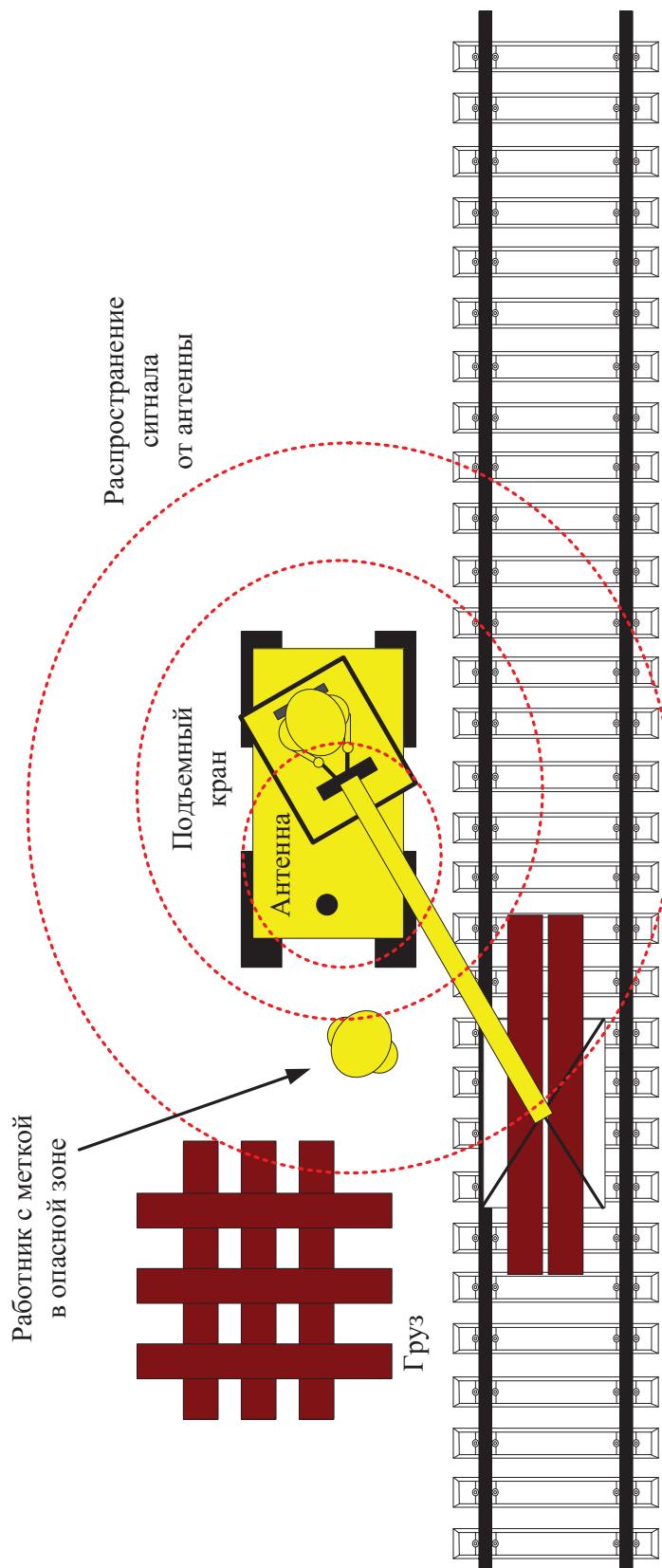


Рис. 3. Нахождение работника в опасной зоне при работе техники

поломалась подвижная единица, машинист по инструкции обязан разложить сигнальные петарды со стороны приближающейся другой подвижной единицы, дабы предупредить об опасности. С помощью СМП данные действия можно исключить, так как все передвижения будут контролироваться. Таким образом, можно следить и за передвижением поездов. Разворачивание системы передачи данных на всей сети железных дорог России с частотой 868,7 МГц позволит отказаться от спутниковых и сотовых сетей для слежения за подвижными единицами [11, 12].

Данную систему можно развернуть на перегонах и станциях. На рис. 2 и 3 представлена схема системы «Работник на пути» при движении поезда или при работе спецтехники в зоне нахождения обслуживающего персонала.

## 2. Мониторинг нахождения вблизи работающей техники

Браслет и радиометки также можно использовать для наблюдения за нахождением работника возле работающей техники (см. рис. 3). Так, при работе с краном техника безопасности запрещает находиться под работающей стрелой и вблизи крана. При наличии у работника распознавательной метки можно установить на технику блок распознавания. Блок распознает находящиеся рядом метки и при приближении объекта наблюдения издаст тревожный сигнал. Блок распознавания можно включить в цепи управления техникой и тем самым обеспечить невозможность функционирования при нахождении людей вблизи.

## Выводы

Мониторинг – это не только современный способ контроля технического состояния объектов управления на железнодорожном транспорте, но и действенный способ повышения культуры технического обслуживания силами сотрудников дистанций дирекций инфраструктуры ОАО «РЖД». Внедрение систем мониторинга работ по техническому обслуживанию устройств железнодорожного транспорта позволяет повысить качество обслуживания и надежность функционирования всей железнодорожной системы. Мониторинг передвижений персонала делает производство работ и нахождение на путях более безопасным.

## Библиографический список

1. Положение о порядке организации ограждения мест производства работ на объектах инфраструктуры ОАО «РЖД» при выполнении технологического процесса (утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 19 авг. 2015 г. № 2087п).

2. Положение об организации в ОАО «РЖД» работы по системе информации «Человек на пути» (утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 14 марта 2016 г. № 410р).
3. Справка по несчастным случаям со смертельным исходом, произошедшим в структурных подразделениях Центральной дирекции инфраструктуры : 11.10.16 / нач. службы охраны труда, промышленной безопасности и экологии ЦДИ А. В. Морковников.
4. Распоряжение ОАО «РЖД» от 3 ноября 2015 г. № 2616 р «Инструкция по охране труда для электромеханика и электромонтера устройств сигнализации, централизации и блокировки в ОАО „РЖД“». – М. : ОАО «РЖД», 2015. – 64 с.
5. ID Expert. – URL : <http://www.idexpert.ru/technology/121> (дата обращения 01.08.2016).
6. Костроминов А. М. Контроль RFID-средств в системе бесконтактной привязки к пути подвижного состава метрополитена / А. М. Костроминов, Т. В. Крючкова, С. А. Рахманин и др. // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 3. – С. 348–363.
7. Ефанов Д. В. Способ непрерывного мониторинга механического усилия в проводах и тросах контактной подвески / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий, Седых Д. В. и др. // Транспорт Урала. – 2016. – № 1. – С. 9–15. DOI: 10.20291/1815-9400-2016-1-9-15.
8. Насонов Г. Ф. Вибродиагностика контактной подвески на линии Санкт-Петербург – Москва / Г. Ф. Насонов, Г. В. Осадчий, Д. В. Ефанов и др. // Транспорт РФ. – 2016. – № 2–3 (63–64). – С. 49–53.
9. Ефанов Д. В. Подсистема мониторинга вибрационных воздействий на провода и тросы контактной подвески / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий, Д. В. Седых и др. // Транспорт Урала. – 2016. – № 3. – С. 36–42. DOI: 10.20291/1815-9400-2016-3-36-42.
10. Efanov D. Monitoring System of Vibration Impacts on the Structure of Overhead Catenary of High-Speed Railway Lines / D. Efanov, G. Osadchay, D. Sedykh et al. // Proc. 14th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTs'2016), Yerevan, Armenia, Oct. 14–17, 2016. – P. 201–208.
11. Насонов Г. Ф. Радиоканал для передачи данных в системах непрерывного мониторинга / Г. Ф. Насонов, Г. В. Осадчий, Д. В. Ефанов, Д. В. Седых // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 11. – С. 2–5.
12. Ефанов Д. В. Особенности организации передачи данных по радиоканалу в системах непрерывного мониторинга объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий, Д. В. Седых, Д. Н. Пристенский // Автоматизация в промышленности. – 2016. – № 6. – С. 29–33.

## **Electronic system of worker safety provision on railway tracks**

Valeriy V. Horoshev

„Biotechnical and Thermophysical Process Automation” department  
 ITMO University  
 JSC „RZD“ Central direction of infrastructure St. Petersburg-Sortirovochniy  
 Moskovskaya signaling department

Author offer the option of monitoring system formation that allow reducing the number of accidents while operational gaps performance on railway transport. He considers use

of existing contact net monitoring system with data transmission frequency 868,7 MHz as the base for the formation of movement of staff on railway tracks tracking subsystem.

**Keywords:** *monitoring system; work safety; labor protection; мониторинг контактной подвески; GPS-module; GSM-module; RFID-technology; maintenance; railway transport; monitoring.*

## Сведения об авторе

*ХОРОШЕВ Валерий Вячеславович – аспирант кафедры «Автоматизации биотехнологических и теплофизических процессов» Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики; сотрудник ОАО «РЖД» ЦДИ ОДИ Санкт-Петербург-Сортировочный Московской дистанции сигнализации, централизации и блокировки;*  
*e-mail:* Hvv91@icloud.com

© Хорошев В. В., 2017

# *Методы обучения*

УДК 378.162.33

## **РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ В КУРСЕ «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ»**

**А. А. Блюдов**

Статья посвящена обновлению лабораторной базы курса «Теоретические основы автоматики и телемеханики» кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I. Описывается новая лабораторная установка, применение которой позволит эффективнее организовать обучение студентов основам работы с микроэлектронной аппаратурой. Раскрывается структура и состав установки, ее технические особенности. Кроме того, дается описание учебного пособия, в котором приведены характеристики используемой аппаратуры, приемы проектирования логических устройств и варианты заданий для самостоятельной работы.

**Ключевые слова:** железнодорожная автоматика и телемеханика; учебный процесс; лабораторная установка; микроэлектронная техника; микросхемы стандартной логики; методическое обеспечение; основы проектирования электрических схем.

### **Введение**

В настоящее время остро стоит проблема модернизации систем автоматики и телемеханики (ЖАТ), применяемых на отечественных железных дорогах. Релейные системы, которые активно тиражировались на протяжении XX в., к настоящему моменту по большей части морально и физически устарели [1, 2]. Необходимость организации высокоскоростного движения, максимальной автоматизации действий оперативного персонала и своевременного диагностирования возникающих неисправностей требует применения современной элементной базы, а именно микроэлектронной и микропроцессорной техники. Именно такие технологии используются в большей части систем и устройств ЖАТ, разрешенных сейчас к проектированию [3]. Кроме того, такая аппаратура широко применяется во всех отраслях про-

мышленности и транспорта. Естественным следствием использования новой элементной базы и расширения функциональных возможностей систем является увеличение их сложности, что требует изменения подхода к подготовке обслуживающих их специалистов.

## **1. Материальное обеспечение учебного процесса**

В настоящее время студенты кафедр «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» и «Электрическая связь» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I изучают элементную базу систем автоматики, телемеханики и связи в основном в курсе «Теоретические основы автоматики и телемеханики» [4]. Первый семестр дисциплины целиком посвящен релейной технике. Изучение этой постепенно устаревающей аппаратуры объясняется ее широким распространением на сети железных дорог, особенно в системах ЖАТ, где несимметричность отказа реле играет важную роль в обеспечении безопасности движения поездов [5–7]. Микроэлектронную аппаратуру проходят во втором семестре. Студенты изучают работу микросхем малой степени интеграции – стандартной логики, шифраторов и дешифраторов, мультиплексоров и демультиплексоров, счетчиков, триггеров и т. п. Кроме того, изучаются основы телемеханики, т. е. удаленного управления объектами. Квинтэссенцией курса является выполнение курсового проекта, который представляет собой разработку системы телемеханики с заданными характеристиками с применением изученных типов микросхем. Проектирование ведется с использованием компьютерной среды разработки и моделирования Multisim. К моменту составления принципиальной схемы системы телемеханики студент должен иметь хорошее представление об используемой элементной базе и ее свойствах, которое он получает на лекциях, а также при самостоятельном изучении технической литературы.

Практика показывает, что большинство студентов лучше всего овладевает материалом, представленным в виде лабораторных (практических) работ. Здесь в области изучения микросхем малой степени интеграции имелся пробел: две имеющиеся установки позволяли изучать очень ограниченный список устройств, были громоздки, непрезентабельны и имели большой уровень физического износа (рис. 1). Поэтому автор предложил расширить лабораторный фонд кафедры за счет создания лабораторной установки, позволяющей изучить работу некоторых типов цифровых микросхем в натурных условиях.

Установка состоит из четырех независимых блоков, размещенных в корпусах размером  $200 \times 300 \times 75$  мм. Разбиение всего комплекса устройств на четыре модуля позволяет организовать одновременную работу до четырех бригад студентов, изучающих разные устройства. На лицевую панель каждого



Рис. 1. Одна из лабораторных установок предыдущего поколения

блока нанесена разметка, имитирующая вид корпусов и маркировку соответствующих микросхем. Также там расположены гнезда разъемов «бананового» типа, соединенные с логическими выводами микросхем и выводами источника питания, переключатели разных видов для ввода двоичных сигналов и светодиоды для вывода. К установке прилагается комплект проводников разной длины, позволяющий произвольно соединять между собой выводы микросхем, переключатели и светодиоды. Внешний вид одного из блоков представлен на рис. 2.

Сами микросхемы (в корпусах типа DIP) располагаются внутри корпуса на макетной плате Velleman SD12N, позволяющей производить монтаж без

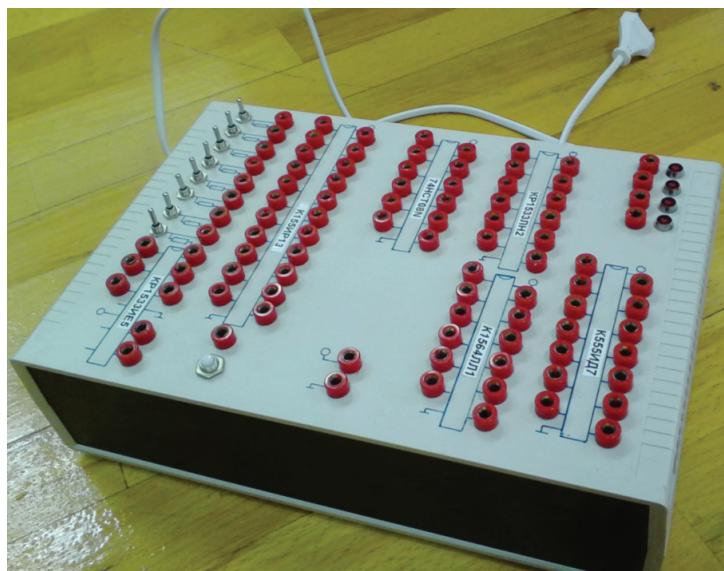


Рис. 2. Внешний вид одного из блоков лабораторной установки

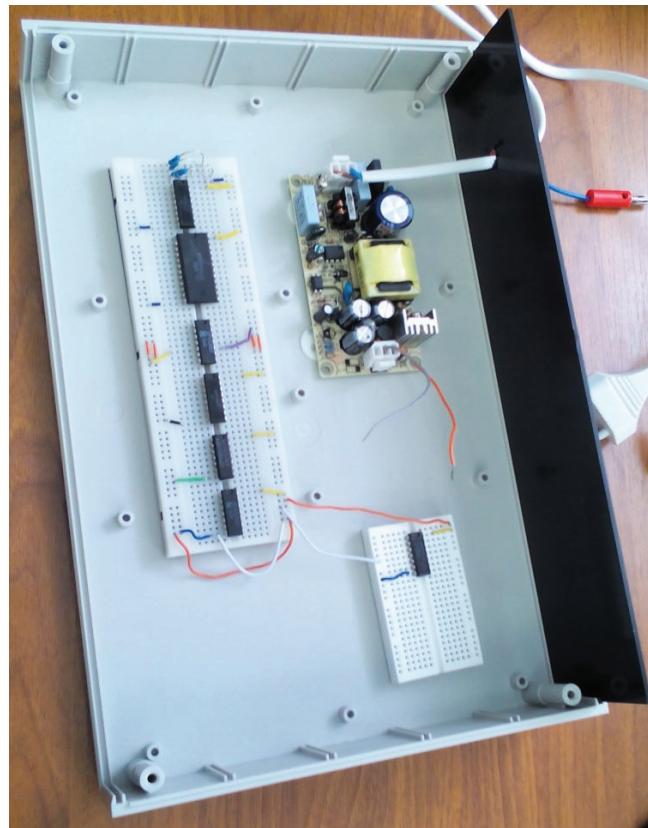


Рис. 3. Внутренняя структура одного из блоков лабораторной установки

пайки (рис. 3). Это позволяет оперативно заменять вышедшие из строя микросхемы на исправные, а также при необходимости помещать на их место микросхемы других типов (при условии совпадения количества выводов и разводки по питанию). Применение корпусов обусловлено необходимостью защиты студентов от удара электрическим током, а микросхем – от поражения electrostaticыми разрядами. Кроме того, это исключает возможность неправильного подключения питания к микросхемам, что приводило бы к их отказу, а также излома их выводов от частых установок и извлечений из макетной платы. Тем не менее, необходимость корпуса в конструкции стенда является дискуссионным вопросом, ответ на который сможет дать только длительная эксплуатация в учебном процессе.

Каждый блок оборудован собственным источником питания типа PS-15-5 производства Mean Well Enterprises (Тайвань). Он преобразует 220 В переменного тока в 5 В постоянного и позволяет питать нагрузку мощностью до 15 Вт. Источник питания обладает защитой от короткого замыкания, перегрузки, перенапряжения и перегрева.

Всего в четырех блоках установки содержится 27 микросхем разных серий отечественного и зарубежного производства. Они, как и прочее используемое оборудование, перечислены в таблице. Кроме того, предусмотрена возможность расширения функционала установки за счет использования дополнительной аппаратуры, например смонтированной на макетной плате.

Перечень оборудования, используемого в установке

Тип	Назначение	Количество
КР1533 ИЕ5	Четырехразрядный двоичный счетчик	2
К155 ИР13	Восьмиразрядный регистр сдвига	2
74HCT08N	Четыре логических элемента 2 И	2
КР1533 ЛН2	Шесть логических элементов НЕ	2
К1564 ЛЛ1	Четыре логических элемента 2 ИЛИ	2
К555 ИД7	Дешифратор/демультиплексор 3×8	3
КР1533 КП7	Восьмиканальный селектор-мультиплексор	1
К555 ТВ9	Два JK-триггера с асинхронными установкой и сбросом	5
КР531 ЛЕ1	Четыре логических элемента 2 ИЛИ-НЕ	2
КР1533 ЛА21	Четыре логических элемента 2 И-НЕ	2
КР1533 ЛА2	Логический элемент 8 И-НЕ	1
КР531 ЛП5	Четыре логических элемента 2XOR	2
К155 ИВ1	Приоритетный шифратор 8×3	1
Тактовая кнопка	Кнопка без «дребезга» контактов для отсчета тактовых импульсов	1
Тумблер		20
Светодиод		20

Для этого на каждом блоке выходы источника питания выведены на корпус. Это позволяет представить для изучения, например, схему управления семисегментным индикатором или схему сопряжения с электромеханическим управляемым объектом.

## 2. Методическое обеспечение лабораторной установки

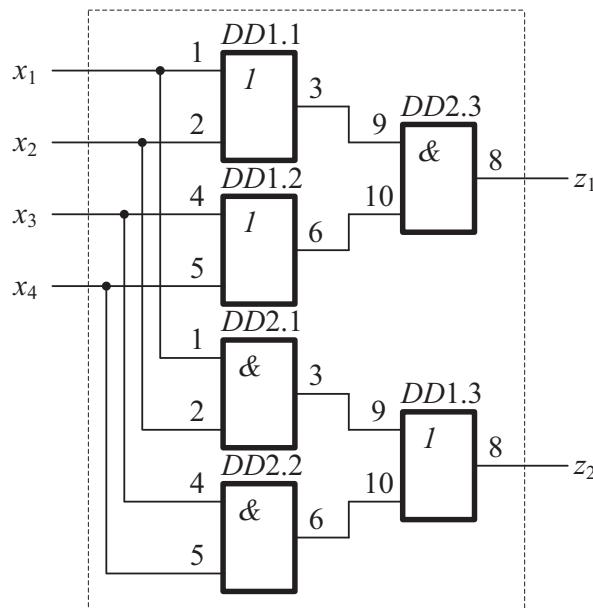
Для работы с установкой студенту предлагается использовать «даташиты» (от англ. datasheet – информационный листок) – техническую документацию на микросхемы, выпускаемую их производителем. Они содержат все необходимые для корректного применения микросхем данные: тип микросхемы, маркировку, типы используемого корпуса и технологии, условия функционирования, логику работы, нумерацию и назначение выводов, значения номинальных токов и напряжений, временные диаграммы (для многотактных устройств) и т. д. Обучение студентов работе с технической документацией на оборудование является одной из основных целей введения данной лабораторной работы.

В учебном пособии описываются технологии изготовления и типы логики микросхем, принципы работы с ними и с технической документацией,

также туда включены контрольные вопросы и задания для студентов. Например, помимо изучения функционирования микросхем во всех режимах предлагаются повысить разрядность счетчика или дешифратора за счет объединения нескольких устройств, составить временную диаграмму работы схемы, синтезировать схему, обладающую определенными свойствами и т. п.

Также в методическом обеспечении раскрываются некоторые неочевидные для неопытного разработчика моменты, которые необходимо учитывать при проектировании цифровых устройств. За основу берутся приемы, примененные при построении самой лабораторной установки. Объясняется необходимость «подтягивания нуля» ко входу микросхемы, раскрывается понятие «дребезга» контактов и указываются способы борьбы с ним с помощью переключателей специальных типов, а также введения схемы на основе триггера, поясняется принцип согласования источников питания разных блоков для использования аппаратуры из них в одной схеме.

Кроме того, в учебном пособии приведены примеры построения функционально законченных логических устройств. Принципиальная схема одного из них показана на рис. 4.



**Рис. 4.** Схема 2/4-СПТ

Это самопроверяемый тестер кода «2 из 4» (2/4-СПТ), на выходах  $z_1$  и  $z_2$  которого появляется парафазный сигнал ( $<01>$  или  $<10>$ ), если сигнал «логическая единица» присутствует ровно на двух из четырех его входов  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  и  $x_4$  [8, 9]. «Физическая» реализация этого устройства показана на рис. 5. Для этого потребовалась одна микросхема К1564 ЛЛ1 (DD1) и одна 74НСТ08Н(DD2) – аналог отечественной К5564ЛИ1, расположенные в одном блоке. На принципиальной схеме демонстрируется принцип нумерации отдельных функциональных элементов и их выводов, а на макете – использование «банановых» разъемов для объединения нескольких соединителей.

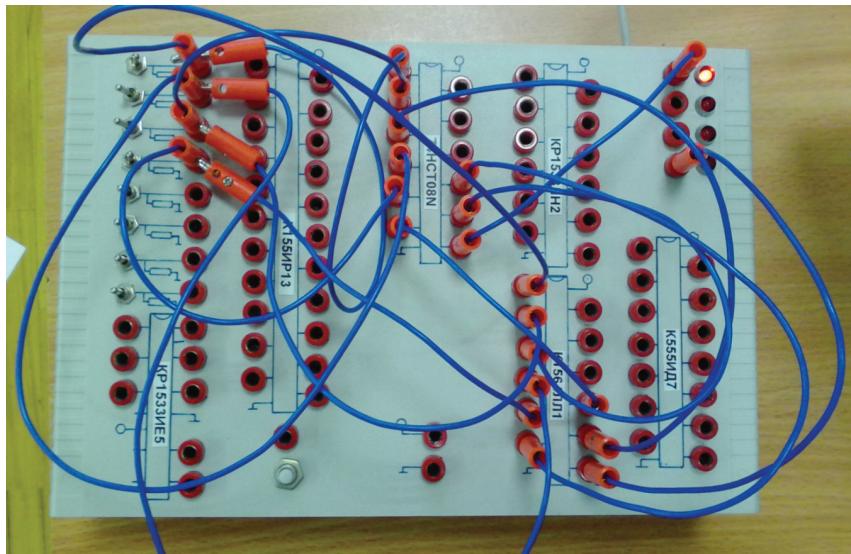


Рис. 5. Реализация 2/4-СПТ на одном из блоков установки

## Выводы

Подготовка специалиста, отвечающего современным требованиям по уровню технических знаний и умений, невозможна без правильной организации учебного процесса. Наряду с квалификацией преподавателей и оптимально распределенной нагрузкой важным аспектом является своевременное обновление материального и методического обеспечения. В работе со студентами важно следовать веянию современных технологий, а также использовать опыт ученых и инженеров не только в области ЖАТ, но и во всех областях промышленности и транспорта, где применяется автоматизация технологических процессов [10].

Введение в учебный процесс описанной лабораторной работы обещает оказать положительное влияние на уровень подготовки специалистов на кафедре «Автоматика и телемеханика на железных дорогах», а также повысить их интерес к учебе и самообразованию. Данный комплекс является первой ласточкой из планируемого большого объема работ по модернизации лабораторной базы кафедры и учебного процесса в целом. Новая лабораторная установка дополняет множество современных средств обучения на кафедре, к которым следует отнести среду моделирования релейно-контактных схем автоматики [11], а также макет участка железной дороги [12–14].

## Библиографический список

1. Сапожников Вл. В. Микропроцессорные системы централизации : учеб. для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта / Вл. В. Сапожников, В. А. Коно-

- нов, С. А. Куренков и др. ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : УМЦ ЖДТ, 2008. – 398 с.
2. Ефанов Д. В. Основы построения и принципы функционирования систем технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : учеб. пособие / Д. В. Ефанов, А. А. Лыков. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2012. – 59 с.
  3. Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения в XX – начале XXI в. / Вал. В. Сапожников, М. Н. Василенко, П. Е. Булавский и др. ; под ред. Вал. В. Сапожникова, Вл. В. Сапожникова. – СПб. : ПГУПС, 2009. – 346 с.
  4. Сапожников Вал. В. Теоретические основы автоматики и телемеханики : учеб. для вузов ж.-д. транспорта / Вал. В. Сапожников, Ю. А. Кравцов, Вл. В. Сапожников ; под ред. В. В. Сапожникова. – М. : УМЦ ЖДТ, 2008. – 394 с.
  5. Гавзов Д. В. Методы обеспечения безопасности дискретных систем / Д. В. Гавзов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 1994. – № 8. – С. 3–50.
  6. Сапожников Вал. В. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Х. А. Христов, Д. В. Гавзов. – М. : Транспорт, 1995. – 272 с.
  7. Ходырев В. В. Синтез безопасных схемных решений на основе схем общего назначения / В. В. Ходырев, А. Г. Вяткин // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1, № 3. – С. 298–310.
  8. Сапожников Вал. В. Самопроверяемые дискретные устройства / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 224 с.
  9. Сапожников Вал. В. Основы технической диагностики / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – М. : Маршрут, 2004. – 316 с.
  10. Никитин А. Б. Развитие научной школы кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I / А. Б. Никитин // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1, № 4. – С. 433–451.
  11. Сапожников Вал. В. Моделирование релейно-контактных схем / Вал. В. Сапожников, А. А. Лыков, А. В. Петров, Г. В. Осадчий // Транспорт Урала. – 2007. – № 3. – С. 46–50.
  12. Лыков А. А. Модели систем ЖАТ и технологии макетирования в процессе обучения / А. А. Лыков, В. А. Кузнецов, Д. В. Ефанов, В. В. Дмитриев // Автоматика, связь, информатика – 2011. – № 9. – С. 32–35.
  13. Лыков А. А. Макет участка железной дороги для учебного процесса / А. А. Лыков, Д. В. Ефанов, А. А. Юдин и др. // Изв. ПГУПС. – 2011. – Вып. 2. – С. 234–243.
  14. Ефанов Д. В. Моделирование систем автоматики для учебного процесса / Д. В. Ефанов, А. А. Лыков, Е. А. Алексеева и др. // Теоретические и практические аспекты развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. трудов ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2012. – С. 105–110.

# **Design of laboratory facility for microelectronic appliances study in the course of „Theoretical base of automatics and remote control“**

Anton A. Blyudov

*„Automation and remote control on railways“ department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

The paper is devoted to the renovation of laboratory base of the course “Theoretical base of automatics and remote control” of “Automation and remote control on railways” department of Petersburg state transport university. Author describe the new laboratory facility; its use allows to teach students to work with microelectronic equipment more effectively. The structure and composition of facility, as well as its technical features are described. Also author adduce the description of tutorial that contains characteristics of equipment used, reception applied in logical devices design and tasks for independent work.

**Keywords:** *railway automation and remote control; educational process; laboratory facility; microelectronic technique; basic logic microcircuits; tutorial; base of electrical engineering.*

## **Сведения об авторе**

**БЛЮДОВ Антон Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* anton.blyudov@gmail.com

© Блюдов А. А., 2017

## АКТИВИЗАЦИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ

**В. В. Денисов**

Приводится перечень основных факторов, которые влияют на качество формирования компетенций в учебном процессе. Даётся анализ основных принципов информационных преобразований. Рассматриваются способы развития когнитивных способностей, позволяющих более эффективно вести учебный процесс.

**Ключевые слова:** информатика; информационная энтропия; сообщение; знак; знаковые системы; знания; артефакт; информационные барьеры; информационная деятельность.

### **Введение**

Основным направлением учебного процесса бакалавров, магистров, специалистов является обучение прикладным (техническим, экономическим) знаниям для развития умений и навыков выполнения определенной предметной деятельности. Необходимое место в этом процессе занимает изучение основ компьютерной обработки данных и, главным образом, освоение современных компьютерных технологий.

В настоящее время наблюдается быстрый рост знаний, при котором каждые два года они возрастают в два раза. Также постоянно развивается, расширяется применение компьютерных технологий. Постоянно внедряются новые технические средства, прикладные программные технологии для формирования, передачи, преобразования, хранения данных. Используются новые понятия, метафоры для обозначения отдельных компонентов деятельности с компьютером, программами, данными. Резко вырос объем разнородной информации, с которой приходится работать и принимать решения при ограниченном ресурсе времени.

Повсеместное использование техники, основанной на применении микропроцессоров, облегчая работу с артефактами, способствует не развитию когнитивных способностей, а их ухудшению, деградации.

В последнее время при формировании учебных планов для бакалавров, магистров, специалистов, а также рабочих программ на основе этих планов делается акцент не на знания, а на формирование, развитие компетенций для определенной профессиональной деятельности. Уделяется внимание развитию общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций.

На всех этапах формирования человека (интеллектуального субъекта) практически отсутствует целенаправленное формирование, развитие основных механизмов когнитивных способностей человека [1–4]. Однако современные научные достижения, например, в области психологии, педагогики, семиотики и других позволяют решить эту задачу. Фактически в современных условиях при быстрых изменениях в области создания и использования новых артефактов необходимы умения и навыки учиться, доучиваться и переучиваться.

Перечисленные обстоятельства, ухудшающие подготовку выпускников профессиональных учебных заведений, можно ликвидировать, используя иной проход к организации учебного процесса. Его суть заключается в смещении акцентов при подаче учебного материала, в учете и использовании природных способностей, механизмов работы человека с информацией. На первом этапе можно ввести специальную дисциплину для развития знаний по информационной деятельности, а затем создать вторую часть дисциплин «информатика» и «информационные технологии».

Рассмотрим основные принципы построения этих дисциплин, которые определяют процесс обучения и достижение в будущем оптимальной информационной деятельности.

## **Основные принципы дисциплины**

В 1995 г. на конгрессе под эгидой ЮНЕСКО решено рассматривать информатику, изучающую все вопросы восприятия, приема, передачи, преобразования и использования информации как фундаментальное научное направление. Фактически оно базируется на большом числе отдельных наук. Информатика включает в себя разделы психологии, семиотики, лингвистики, гносеологии, психолингвистики, логики и др.

Все вопросы, связанные с использованием и работой в компьютерных системах, рассматриваются как использование специального артефакта для работы с данными. Эти устройства не реализуют информационные операции, а лишь облегчают человеку задачу получения новой информации. Данные любой сложности при этом рассматриваются не как источник, а как универсальный носитель информации. Компьютер функционирует с данными по детерминированному алгоритму, реализуя строго определенный, заранее заданный способ материального преобразования данных [1].

С информацией в полном объеме и в чистом виде работает только интеллектуальный субъект [1, 5]. Под интеллектуальным субъектом понимается человек со сформированными когнитивными способностями к восприятию, преобразованию и использованию информации. Эти способности формируются в нервной системе человека и необходимы ему как для управления внутренними процессами, телом, так и для взаимодействия с окружающей

средой. Фактически в полной мере информационной системой является человеческое общество и отдельный человек как интеллектуальный субъект, как член этого общества. Только человеческое общество создает, формирует из каждого ребенка интеллектуального субъекта путем воспитания и образования [3, 4].

Главным требованием при рассмотрении вопросов развития когнитивной способности следует считать правильное толкование понятия «информация» и ее свойств. В основе понятия «информация» лежат многообразие окружающего мира и единство материи, энергии его составляющих. Информация является лишь отражением, описанием этого разнообразия, особенностей, границ, частей материального мира и созданных на этой основе артефактов [4–6].

Главными свойствами информации являются ее абстрактность и идеальность. То есть информация – всегда результат выделения характеристик, свойств, особенностей рассматриваемого предмета и пренебрежения остальными [7]. Этот результат (информация) всегда рассматривается как существующий в отрыве, в отчуждении от предмета, которому он принадлежит. В этом идеальность информации. Любой фрагмент действительности и их взаимодействие, связь, отношение характеризуются большим количеством свойств и признаков.

При абстрагировании можно выделить либо одни свойства, либо другие, в этом кроется другое основное свойство информации – относительность. Фактически формирование информации путем абстрагирования происходит в сверхсложной нервной системе человека, и в этом заключается еще одно свойство информации – ее субъективность, хотя как характеристика чего-то, находящегося вне человека, она обладает свойством объективности. Есть и другие важные свойства информации, которые имеют сложные взаимосвязи, но мы не будем рассматривать их здесь.

С информацией человек сталкивается в ситуации сложного недетерминированного выбора вариантов, т. е. когда попадает в ситуацию неопределенности. Эта ситуация с позиций информатики характеризуется понятием «информационная энтропия», которая всегда связана с множеством и с необходимостью его изменения путем недетерминированного выбора. Выбор, ведущий к изменению множества, связан с получением определенной информации, которая позволяет сделать этот выбор. Другими словами, информация всегда меняет, уменьшает информационную энтропию [8].

Любые взаимодействия в действительном мире материальны, поэтому, учитывая идеальность информации, для работы с ней вводится специальный носитель, «емкость» – знак и знаковые системы. Информация в знак вводится не физически (материально), а лишь по согласию, по договоренности между интеллектуальными субъектами. Вводится понятие первичной информации как характеристики любого материального объекта, необходимой для его

восприятия. Информация, вложенная в знак по договоренности, при этом называется вторичной [9].

Есть множество типов знаков и знаковых систем. Основные из них: образные, языковые, кодовые, записи и системы естественных знаков. Они различаются как по первичной, так и по вторичной информации. Весь учебный процесс осуществляется, главным образом, на знаках и их вторичной информации. Основными процессами при работе со знаками являются их интерпретация и смыслообразование, т. е. процесс понимания. Этот процесс зависит от множества взаимосвязанных факторов.

В процессе обучения информация поступает в виде сообщений из разных, даже разнородных, частей. Эти части имеют сложные вариативные связи между собой и подчиняются законам:

- неаддитивности;
- некоммутативности;
- неассоциативности.

В сообщениях информация в основном передается с помощью знаков и знаковых систем, поэтому при ее обработке необходимо учитывать, что знаки имеют двойственный характер: это носители первичной и вторичной информации.

Все процессы при работе с информацией следует рассматривать как триаду источник – канал связи – приемник (интеллектуальный субъект). Такой подход позволяет правильно оценить свойства информации в каждом конкретном случае. Появляются и новые свойства информации, связанные с сообщениями и названной триадой, например, полнота, релевантность, противоречивость, истинность и др.

Количественная оценка основных свойств информации, учитываемых при ее передаче с помощью сообщений, очень трудна. Нет единиц измерения всех и отдельных свойств информации. Предложена только единица измерения, позволяющая оценить сам процесс выбора без учета его семантики и прагматики [10, 11].

Все операции с идеальной информацией выполняются практически в голове человека, в его нервной системе. Это происходит в результате осознаваемых и бессознательных процессов в полушариях головного мозга. Выделяют следующие ментальные операции: абстрагирование, идеализацию, мысленный эксперимент, анализ, синтез, экстраполяцию, интерполяцию, индукцию, дедукцию, аналогию, ассоциацию, рефлексию, интуицию, объективацию (символизацию, схематизацию, формализацию), обобщение, конкретизацию, моделирование. Особое место при обработке информации занимают неосознаваемые операции, в основном, правого полушария: конденсация, смешение и символическая трансформация [5,12].

На выделение информации, преобразование и использование также влияют способы, принципы рассмотрения источника информации: «черно-

го ящика», «светлого ящика», обратной связи, системный и иерархический подходы [5].

Для решения задач с помощью информации при поиске, получении результата также применяются способы: «разделяй и властвуй», методы последовательных приближений, наискорейшего спуска, поиска с возвратом, обратного прохода, редукций [13].

Сложность действий с информацией и получения результата связана также с наличием искажений, информационных барьеров. Существуют внешние объективные барьеры, определяющие допуск к источнику информации, характер этого допуска, объективные свойства источника. Однако наиболее важны субъективные, внутренние барьеры, связанные с особенностями работы нервной системы интеллектуального субъекта, с его состоянием [14]. Механизмы, определяющие действие этих барьеров, обусловлены стереотипами и психологической защитой. Например, барьеры психологической инерции, суггестивный. На барьеры также влияют особенности использования в сообщениях знаковых систем. Иначе на барьеры влияет синтаксика, семантика, прагматика знаковых систем, когда они используются в сообщениях. Эти барьеры зависят от системы знаний интеллектуального субъекта.

Главным в учебном процессе является информационная деятельность, которая опирается на знания, вторичную информацию. Любые знания приобретаются в результате взаимодействия с информацией [1, 15]. То есть знания – это то, что было информацией, и то, что может способствовать получению информации, стать информацией. В любом случае и при приобретении знаний, и при их использовании выполняется недетерминированный выбор, идет процесс понимания. Знания входят в сложнейшую систему с гигантским числом связей и вне этой системы существовать не могут.

Есть много разных типов знаний. В качестве искусственного внешнего носителя знаний используются знаки, знаковые системы, структуры из них. Эти носители в отсутствие интеллектуального субъекта, способного с их помощью формировать в голове знания, остаются только носителями первичной информации. Знаки и знаковые системы являются внешней и внутренней опорой при работе как с первичной, так и со вторичной информацией.

Информационная деятельность человека всегда состоит из детерминированной и недетерминированной частей. Первую можно реализовать созданным для этой цели артефактом. Вторая часть может быть выполнена человеком. Именно эта часть, содержащая недетерминированный выбор и процесс понимания, превращает всю деятельность в информационную.

## Выводы

Использование в учебном процессе предлагаемой дисциплины и заложенных в нее принципов создает условия для формирования знаний, разви-

вающих креативность, умение работать в ситуациях с неопределенностью. Данная дисциплина может рассматриваться как метакурс, позволяющий успешно проводить информационную деятельность в различных предметных областях.

## **Библиографический список**

1. Фридланд А. Я. Основные ресурсы информатики / А. Я. Фридланд. – М. : ACT ; Профиздат, 2005. – 283 с.
2. Матурана У. Древо познания / У. Матурана, Ф. Варела. – М. : Прогресс-Традиции, 2001. – 224 с.
3. Фрит. К. Мозг и душа : Как нервная система формирует наш внутренний мир / К. Фрит. – М. : ACT ; CORPUS, 2010. – 335 с.
4. Куб. Э. Источник мысли / Э. Куб. – М. : Эксмо, 2011. – 208 с.
5. Денисов В. В. Элементы теории информационных процессов и систем : учеб. пособие / В. В. Денисов. – СПб. : ПГУПС, 2008. – 31 с.
6. Клингберг Т. Перегруженный мозг / Т. Клингберг. – М. : ЛомоносовЪ, 2010. – 208 с.
7. Свердлик А. Г. Как эмоции влияют на абстрактное мышление и почему математика невероятно точна / А. Г. Свердлик. – М. : ЛЕНАНД, 2016. – 256 с.
8. Денисов В. В. Основы энтропийно-информационного анализа : учеб. пособие / В. В. Денисов. – СПб. : ПГУПС, 2004. – 40 с.
9. Соломоник А. Очерк общей семиотики / А. Соломоник. – М. : ЛКИ, 2012. – 192 с.
10. Чернавский Д. С. Синергетика и информация / Д. С. Чернавский. – М. : Наука, 2001. – 244 с.
11. Голицын Г. А. Информация – поведение – творчество / Г. А. Голицын, В. М. Петров. – М. : Наука, 1991. – 224 с.
12. Мэйсон Дж. Математика – это просто 2.0. Думай математически / Дж. Мэйсон, Л. Бёртон, К. Стэйси. – М. : Техносфера, 2015. – 352 с.
13. Зиглер К. Методы проектирования программных систем / К. Зиглер. – М : Мир, 1985. – 328 с.
14. Микалко М. Взламывая стереотипы / М. Микалко. – СПб. : Питер, 2009. – 352 с.
15. Коноваленко М. Ю. Теория коммуникации / М. Ю. Коноваленко, В. А. Коноваленко. – М. : Юрайт, 2012. – 415 с.

## **Development of cognitive activity activization in training process**

Vladimir V. Denisov

,,Information Technology Systems“ department  
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university

The list of major factors, which influence in educational process quality of competences forming is provided. The analysis of the information transformations basic principles is

given. The methods of a cognitive capability development allowing conducting more effectively educational process are considered.

**Keywords:** *informatics; information entropy; message; sign; sign systems; knowledge; artifact; information barriers; information activities.*

## Сведения об авторе

*ДЕНИСОВ Владимир Владимирович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные и вычислительные системы» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* Den-Vlad38 @mail.ru

© Денисов В. В., 2017

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

**В. В. Гарбарук, В. К. Котов, В. И. Родин**

Необходимость коррекции структуры преподавания курса математики при его сокращении обусловлена стремлением сформировать у студентов электротехнических специальностей устойчивые навыки решения практических задач. С этой целью разработаны специальный курс «Математические основы теории систем автоматического управления» и курсовая работа.

**Ключевые слова:** обучение математике; спецкурс; курсовая работа.

### **Введение**

Значительное сокращение курса высшей математики в системе высшего технического образования выдвинуло дополнительные требования к содержанию и постановке курса. Требуется максимально возможное сближение структуры курса высшей математики с математическим аппаратом будущей специальности студента. При этом возникает определенное противоречие, так как развитие логического мышления требует увеличения строгости и доказательности изложения материала, в то время как формирование навыков практического применения математического аппарата предполагает освоение алгоритмов его использования. Насыщение курса прикладными примерами оказывается недостаточным, поскольку при контроле усвоения материала студентами основное внимание уделяется базовым понятиям и умениям, что вполне естественно и оправдано.

Устранением этого противоречия может стать коррекция структуры преподавания курса математики, состоящая в вынесении отдельных разделов в параллельно читаемые спецкурсы с элементами первичных понятий общетехнических дисциплин.

Значительно усилит значение спецкурса использование курсовой работы для контроля усвоения материала студентом. Целью курсовых работ является формирование у студентов навыков приложения знаний, полученных в процессе изучения курса высшей математики к решению технических задач по специальности.

## **1. Структура курса**

Указанный проект был реализован в течение трех лет для ряда специализаций факультета «Автоматизация и интеллектуальные технологии». Основные изменения в программе по математике проведены в третьем семестре, что обеспечило необходимый уровень восприятия и усвоения материала. Было учтено также, что на втором и третьем курсах студенты начинают изучать общетехнические дисциплины: теоретические основы электротехники, теорию линейных электрических цепей, теорию передачи сигналов, при освоении которых студентам необходимо активно использовать накопленный математический аппарат.

Курс высшей математики в третьем семестре был составлен из двух циклов: «Математика» (обязательная дисциплина) и «Математические основы теории систем автоматического управления» (дисциплина по выбору). При этом была снижена трудоемкость типовых расчетов, но в учебный план включена курсовая работа.

Для спецкурса был разработан опорный конспект, на его основе, в свою очередь, – четыре учебных пособия «Математические основы теории систем автоматического управления», состоящие из частей «Операционное исчисление», «Ряды. Ряды Фурье. Преобразование Фурье», «Обыкновенные дифференциальные уравнения», «Теория устойчивости» [1–4]. Пособия построены по традиционной схеме: справочный материал и основные определения по теме, иллюстрация практического применения теории по каждому разделу пособия, примеры решения задач, задачи для самостоятельного решения. Приведены доказательства отдельных теорем и выводы важнейших формул. Пособия дополнены разделами «Передаточные функции систем автоматического управления», «Типовые динамические звенья», «Временные характеристики динамических звеньев», «Частотные характеристики динамических звеньев», «Устойчивость систем автоматического управления».

## **2. Структура курсовой работы**

Обобщение указанных разделов курса математики, обеспечивающее его синтетическое восприятие студентами, происходит путем включения в учебный план курсовой работы. Оптимальной, на наш взгляд, темой курсовой работы явилось исследование типового звена системы автоматического управления, в качестве которого выбрана разветвленная электрическая цепь с одним реактивным элементом. Для успешного выполнения курсовой работы изданы методические указания, содержащие некоторые первичные понятия электротехники и теории основ систем автоматического управления. Варианты курсовой работы «Построение и исследование математической модели

линейного динамического звена» [5] составлены преподавателями кафедр «Высшая математика» и «Электрическая связь».

Исследование динамического звена требует знания соответствующих разделов курса высшей математики: линейные дифференциальные уравнения, операционное исчисление, тригонометрические ряды Фурье, теория устойчивости. Курсовая работа состоит из четырех частей и предполагает выполнение 12 заданий.

1. Построение математической модели. Переходные процессы и установившийся режим работы цепи.

1.1. Составление дифференциального уравнения, отображающего связь сигналов на входе и выходе линейного динамического звена ( $RC$ - или  $RL$ -контур).

1.2. Нахождение напряжения на выходе звена ( $u_{\text{вых}}$ ) при подаче на вход постоянного напряжения  $u_0$ . Построение графиков изменения напряжения  $u_{\text{вых}}(t)$  и тока  $i(t)$ .

1.3. Нахождение напряжения на выходе звена при отключении входного сигнала. Построение графиков изменения  $u_{\text{вых}}(t)$  и тока  $i(t)$ .

1.4. Определение установившегося сигнала на выходе при подаче на вход гармонического сигнала  $u_{\text{вх}}(t) = u_0 \sin(\omega t + \delta)$ . Построение графиков зависимостей  $u_{\text{вх}}$  и  $u_{\text{вых}}(t)$ .

2. Операционный метод решения линейных дифференциальных уравнений.

2.1. Составление операционного уравнения, отображающего связь сигналов на выходе и входе контура.

2.2. Нахождение напряжения на выходе при подаче на вход единичного импульса напряжения.

3. Передаточная функция динамического звена.

3.1. Нахождение передаточной функции звена.

3.2. Нахождение импульсной  $w(t)$  и переходной  $h(t)$  характеристик звена.

Построение графиков  $w(t)$ ,  $h(t)$ .

4. Частотные характеристики динамического звена. Преобразование периодического сигнала.

4.1. Построение амплитудно-фазовой (АФЧХ), амплитудно-частотной (АЧХ) и фазо-частотной (ФЧХ) характеристик звена.

4.2. Представление периодического входного сигнала тригонометрическим рядом Фурье.

4.3. Построение амплитудных и фазовых спектров входного и выходного сигналов.

4.4. Нахождение амплитуды и фазы трех первых гармоник выходного сигнала и его приближенное представление третьей частичной суммой тригонометрического ряда.

В методических указаниях к курсовой работе подробно разобран пример выполнения работы и приведены краткие теоретические сведения, до-

статочные для ее выполнения. Изложение в указаниях некоторых первичных понятий электротехники и теории систем автоматического управления обеспечивает осмысленное выполнение студентами курсовой работы.

## **Выводы**

В настоящее время представляется корректным оценить эффективность предложенной схемы построения курса по освоению студентами таких дисциплин, как «Теория линейных электрических цепей», «Теория передачи сигналов» и по выполнению ими курсовых проектов, в которых полученные знания и навыки являются базовыми.

С уверенностью можно отметить, что студенты легче и быстрее усваивают материал этих дисциплин, лучше понимают содержание задачи, поставленной перед ними в курсовом проекте, быстрее и качественнее с ней справляются. Это позволяет преподавателям эффективнее использовать аудиторные занятия, что в среднем на 15 % повышает успеваемость студентов по этим дисциплинам. В дальнейшем предполагается оценить эффективность новой схемы преподавания по результатам освоения студентами курса «Теория автоматического управления» и ряда специальных дисциплин.

## **Библиографический список**

1. Гарбарук В. В. Математические основы теории систем автоматического управления. Ч. 1. Операционное исчисление : учеб. пособие / В. В. Гарбарук, В. К. Котов, В. И. Родин, В. Н. Фоменко. – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. – 52 с.
2. Гарбарук В. В. Математические основы теории систем автоматического управления. Ч. 2. Ряды. Ряды Фурье. Преобразование Фурье : учеб. пособие / В. В. Гарбарук, В. К. Котов, В. И. Родин, В. Н. Фоменко. – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. – 59 с.
3. Гарбарук В. В. Математические основы теории систем автоматического управления. Ч. 3. Обыкновенные дифференциальные уравнения : учеб. пособие / В. В. Гарбарук, В. К. Котов, В. И. Родин, В. Н. Фоменко. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – 62 с.
4. Гарбарук В. В. Математические основы теории систем автоматического управления. Ч. 4. Теория устойчивости : учеб. пособие / В. В. Гарбарук, В. К. Котов, В. И. Родин, В. Н. Фоменко. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – 64 с.
5. Построение и исследование математической модели линейного динамического звена : метод. указания к выполнению курсовой работы / сост. В. В. Гарбарук, В. К. Котов, В. И. Родин, В. Н. Фоменко. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – 48 с.

## **Math training of electrical engineering students**

Victor V. Garbaruk, Vladimir I. Rodin

„Higher mathematics“ department

*Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

Vladimir K. Kotov

„Electrical communication“ department

*Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university*

Necessity of math course teaching structure correctness in the conditions of its reduction is caused by the aspiration to make electrical engineering students to have sustainable skills in solving practical problems. The special course “Mathematical base of control theory” and course work were developed.

**Keywords:** math learning; special course; course work.

### **Сведения об авторах**

**ГАРБАРУК Виктор Владимирович** – кандидат технических наук, профессор кафедры «Высшая математика» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* vmkaf@pgups.ru

**КОТОВ Владимир Кириллович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрическая связь» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* vkkotov@yandex.ru

**РОДИН Владимир Иванович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Высшая математика» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I;  
*e-mail:* vmkaf@pgups.ru

© Гарбарук В. В., Котов В. К., Родин В. И., 2017

## **АВТОРЫ**

- Аблялимов О. С. 150  
Белоусов С. В. 101  
Блюдов А. А. 293  
Богданов Н. А. 278  
Бочкарев С. В. 101  
Бураков Д. П. 209  
Василенко М. Н. 247  
Василенко П. А. 247  
Власенко С. В. 169  
Волынская А. В. 40  
Гарбарук В. В. 309  
Гончарова Н. А. 131  
Горбачев А. М. 74  
Гордон М. А. 261  
Горшков И. С. 255  
Грошев В. А. 176  
Давыдов Ю. В. 59  
Даглдиян Г. Д. 59  
Денисов В. В. 302  
Ефанов Д. В. 11, 19  
Зозуля А. Р. 110  
Зуев Д. В. 101, 247, 255  
Иванов С. Н. 138  
Кацюба О. А. 81  
Ким К. К. 138  
Ковалев Р. А. 261  
Кожомбердиева Г. И. 209  
Константинова Т. Ю. 49  
Котов В. К. 309  
Кудашев И. Э. 169  
Кушпиль И. В. 181  
Леушин В. Б. 81  
Лыков А. А. 49  
Максаков В. Е. 201  
Манаков А. Д. 162  
Марков Д. С. 49  
Матушев А. А. 269  
Никитин А. Б. 181  
Никитин Д. А. 32  
Никитчин А. А. 278  
Пантелеев Р. А. 116  
Пашаев Ю. М. 162  
Просянников Б. Н. 87  
Родин В. И. 309  
Романов Н. Н. 116  
Смирнов Н. О. 221  
Смирнова Е. О. 221  
Сапожников Вал. В. 11  
Сапожников Вл. В. 11  
Седых Д. В. 247, 255, 261, 269  
Селезнёва М. К. 101  
Сугоровский А. В. 124  
Сугоровский Ан. В. 124  
Соколов В. Б. 48  
Сукиязов А. Г. 87  
Ушаков И. С. 269  
Хорошев В. В. 285  
Хушбоков Б. Х. 227, 240  
Черезов Г. А. 81  
Шарова В. О. 67  
Швалов Д. В. 59  
Щагина В. А. 19  
Эшкувватов У. А. 240  
Яицкий И. А. 189  
Яшин М. Г. 116, 194

# **ТРАНСПОРТНЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ**

Сборник материалов I международной  
научно-практической конференции  
«Транспортные интеллектуальные технологии – 2017»  
(TIS-2017),  
Санкт-Петербург, 16–17 февраля 2017 г.

Под ред. Вал. В. Сапожникова, Д. В. Ефанова

Редактор, корректор *С. А. Зинченко*  
Компьютерная верстка *А. А. Стукановой*  
Дизайн обложки *А. М. Скурут*

Подписано в печать с оригинал-макета 16.02.2017.  
Формат 60×84/9,5. Бумага для множ. апп. Печать ризография.  
Усл. печ. л. 19,625. Тираж 500 экз. Заказ

ФГБОУ ВО ПГУПС. 190031, СПб., Московский пр., 9.  
Типография ФГБОУ ВО ПГУПС. 190031, СПб., Московский пр., 9.